

УДК 621.651.694

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ СВОЙСТВ
ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ РОТОРА
ВИНТОВОГО ЗАБОЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

**EXPERIMENTAL STUDY OF SURFACE PROPERTIES OF GAS-THERMAL
COATINGS OF THE ROTOR OF DOWNHOLE DRILLING MOTOR**

С. А. Фролов, В. Н. Светашов, Д. Д. Водорезов, Д. С. Леонтьев, О. М. Столбова
S. A. Frolov, V. N. Svetashov, D. D. Vodorezov, D. S. Leontiev, O. M. Stolbova

Экспериментальный завод буровой техники Тюменского индустриального университета, г. Тюмень

Ключевые слова: защитные покрытия; газотермическое напыление; лазерное оплавление
Key words: protective coatings; gas-thermal spraying; laser melting

В настоящее время винтовые забойные двигатели (ВЗД) являются одной из основ современной технологии бурения нефтяных и газовых скважин и таковыми они останутся в обозримом будущем. Винтовые забойные двигатели применяются как в традиционных компоновках, так и в компоновках роторных управляемых систем, являясь безальтернативным источником крутящего момента и скорости вращения долота. Поэтому вопросы, связанные с продлением срока службы двигателей, являются актуальными для нефтегазовой отрасли. К таким вопросам, в частности, относится проблема повышения срока службы силовой секции двигателя, представленной роторно-статорной парой.

Как отмечено в работе [1], одной из главных причин выхода ВЗД из строя являются дефекты стального ротора из-за механического износа. В работе [2] предложен подход к продлению срока службы ротора ВЗД упрочнением поверхностного слоя роторов газотермическими покрытиями. В настоящей статье рассмотрены результаты экспериментальных исследований поверхностных свойств нанесенных покрытий, в частности, коррозионной стойкости и адгезии покрытия и металла ротора.

Испытания на коррозионную стойкость. На коррозионную стойкость покрытий, наносимых для защиты различных изделий от разрушения, а также для придания товарного вида в соответствии с требованиями технической эстетики, влияет значительное число факторов.

Таковыми факторами, прежде всего, являются природа и состояние покрытия и основного металла, сцепление между ними, равномерность распределения покрытия на поверхности и его пористость, неметаллические включения, внутренние напряжения, существующие в осадке.

Скорость коррозии зависит от влажности и температуры воздуха, длительности увлажнения поверхности, загрязнения атмосферы (газами, парами кислот, частицами солей).

ГОСТ 9.039-74 установлены параметры коррозионной агрессивности атмосферы и методы их определения. Коррозионная агрессивность атмосферы, загрязненной сернистым газом или хлоридами, оценивают на основании расчета коррозионных потерь по ГОСТ 9.040-74, которые являются характеристикой коррозионной агрессивности атмосферы для данного металла или покрытия.

Существуют качественные и количественные методы оценки коррозионного процесса. Методы качественной оценки играют вспомогательную, хотя и существенную роль, позволяя получить представление о характере и интенсивности процесса. Сущность качественной оценки сводится к определению степени равномерности коррозии, характера продуктов коррозии и прочности сцепления их с металлом; наблюдение за появлением продуктов коррозии в виде осадка, мути и др. в растворе с погруженным образцом; анализ изменения цвета индикаторных растворов.

Наиболее распространенными являются методы количественной оценки коррозии (весовой и объемный), а также метод, учитывающий изменение механических или физических свойств корродирующего образца. Если коррозия является общей и равномерной, то глубина коррозии прямо пропорциональна изменению веса испытуемого образца. Эта зависимость лежит в основе весового метода.

Когда продукты коррозии имеют слабое сцепление с металлом и осыпаются (или могут быть удалены каким-либо способом), скорость коррозии определяется по убыли массы образца. Удаление продуктов коррозии производят механически или химически растворением образовавшихся соединений.

Если продукты коррозии достаточно прочно держатся на поверхности, то определяется привес образца. Зная химический состав продуктов коррозии, можно рассчитать количество прокорродировавшего металла.

Скорость коррозии в этих случаях выражается весовым показателем, который определяет изменение веса образца, отнесенное к единице площади поверхности за единицу времени. Весовой показатель чаще всего измеряют в $\text{г/м}^2 \cdot \text{час}$ или $\text{мг/см}^2 \cdot \text{сут.}$

Для испытаний коррозионной стойкости в качестве основы выбрана сталь 20Х13 с нанесенными на нее методом лазерной наплавки защитными покрытиями с применением порошков на никелевой основе. Количество заготовок, используемых при испытаниях, указано в таблице 1.

Таблица 1

Количество образцов подвергнутых коррозионным испытаниям

Наименование стали	Наименование порошка, используемого для нанесения защитного покрытия	Количество, шт.
20Х13	Deloroalloy 56M	5
	Плакарт-03.98.-Р	5
	Hoganas 74M60	5



Рис. 1. Образец для испытания на коррозию из стали 20Х13 с покрытием, полученным методом лазерной наплавки

Среда для проведения испытаний — морская вода (3 % NaCl) с добавлением уксусной ледяной кислоты (0,7 %). Образцы до испытания были надежно защищены синтетической смолой. В качестве подложки была выбрана коррозионно-стойкая сталь 20Х13. Непосредственно перед помещением образцов в раствор, покрытие было аккуратно очищено от смолы. Размер пятна контакта равен 1,5х1,5 мм, площадь контакта — 2,25 мм^2 (коррозионно-активная среда контактировала только с покрытием). Время испытания составило 144 часа. Скорость коррозии определяли весовым методом по убыли массы. Перед взвешиванием образцы промывали в этиловом спирте и сушили при 303 °К в течение 24 часов. На рисунке 1 представлен образец, защищенный эпоксидной смолой. Результаты испытаний по ГОСТ 13819-68 представлены (табл. 2).

Таблица 2

Результаты коррозионных испытаний покрытий, полученных методом лазерной наплавки

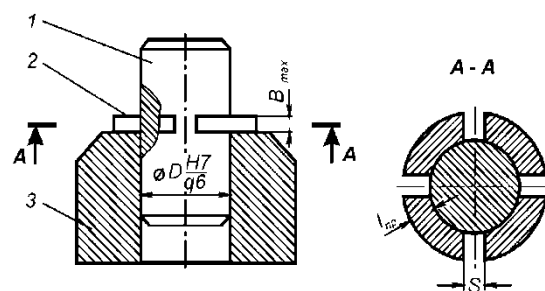
Наименование стали	Наименование порошка, используемого для нанесения защитного покрытия	Коррозионная среда	Изменение массы, г	Потери от коррозии	Скорость коррозии	Коррозионная стойкость
20х13	Deloroalloy 56M	3 %-ный р-р NaCl с добавлением C2H4O2 (0,7 %)	3,2*10-9	8,5*10-8	0,003	Балл 2
	Плакарт-03.98.-Р		2,7*10-9	7,2*10-8	0,0025	Балл 2
	Hoganas 74M60		2,9*10-9	7,73*10-9	0,0027	Балл 2

Определение адгезионной прочности. Адгезионная прочность является одним из главных факторов, характеризующих возможность применения наносимых покрытий.

Для оценки адгезии на практике используют так называемые качественные и количественные методы.

Количественные методы определения прочности сцепления в отличие от качественных, позволяют получать абсолютные данные, характеризующие адгезию. Прочность сцепления определяется как отношение усилия к площади отделяемого покрытия. В зависимости от направления действия усилия при испытаниях покрытий на адгезионную прочность возникают нормальные, касательные или эквивалентные (когда усилие отрыва направлено под некоторым углом к переходной зоне) напряжения. Соответственно количественные методы определения прочности сцепления покрытий с основой подразделяются на методы отрыва, сдвига и отслаивания.

Методы сдвига (отрыва). При испытании методом среза покрытие наносят на центральную часть боковой поверхности цилиндрического пуансона, который может перемещаться относительно матрицы с минимальной силой трения (рис. 2).



Формирование поясков осуществлялось методом лазерной наплавки. Минимальная высота пояска ограничена 1,0 мм, поскольку с уменьшением высоты пояска возрастает погрешность.

При проведении испытаний методом сдвига соблюдались следующие требования:

- пуансон изготавливается из того же материала и с такой же структурой, что и изделие, на которое планируется наносить покрытие;

Рис. 2. Приспособление для определения прочности сцепления методом сдвига:
1 — пуансон; 2 — кольцевой пояска покрытия;
3 — матрица

- матрица должна иметь твердость не ниже HRC 60;
- исходная шероховатость поверхности перед электроосаждением должна соответствовать Ra (0,08–0,02) мкм;
- на одном пуансоне следует изготавливать не менее трех поясков;
- при проведении испытаний необходима строгая соосность пуансона и матрицы, а также совпадение их оси с осью приложения нагрузки.

Метод среза наиболее эффективен при определении прочности сцепления в однородных контактирующих материалах. Толщина наплавленных покрытий менее 300 мкм. На рисунке 3 изображен образец для испытаний с нанесенным покрытием методом лазерной наплавки.

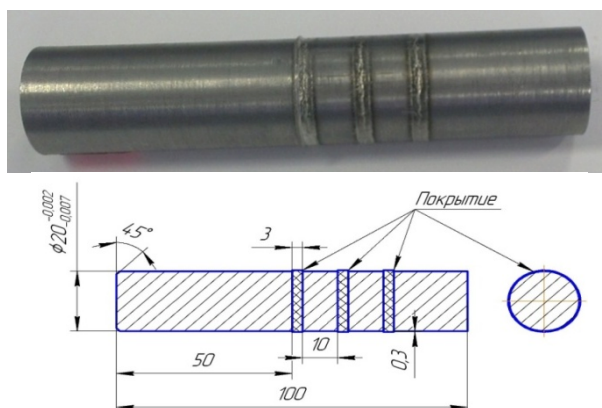


Рис. 3. Образец с покрытием, полученным лазерной наплавкой

Испытания проводилось на разрывной машине И1147М, позволяющей фиксировать максимальную нагрузку, при которой произойдет срез покрытия.

Усредненные результаты метода сдвига представлены в таблице 3. Срез происходил по покрытию, что свидетельствует о том, что адгезия основы с покрытием выше предела прочности самого покрытия.

Таблица 3

Результаты измерения адгезии покрытий, полученных лазерной наплавкой

Наименование стали	Наименование порошка используемого для нанесения защитного покрытия	Количество заготовок подвергнутых испытаниям, шт.	Максимальная нагрузка сдвига, Н	Адгезия, МПа
40х	Deloroalloy 56M	5	86000	457
	Плакарт-03.98.-Р	5	61000	324
	Hoganas 74M60	5	74000	394
20х13	Deloroalloy 56M	5	83000	441
	Плакарт-03.98.-Р	5	52000	277
	Hoganas 74M60	5	71000	378
20	Deloroalloy 56M	5	93000	495
	Плакарт-03.98.-Р	5	63000	335
	Hoganas 74M60	5	75000	399

Выводы

- Экспериментально установлено, что материал подложки исследуемых сталей почти не влияет на адгезию покрытия. При испытании срез происходил по покрытию, что свидетельствует о том, что адгезия основы с покрытием выше предела прочности самого покрытия. По сравнению с газотермическим методом нанесения защитных покрытий метод лазерной наплавки обеспечивает увеличение адгезии основы с покрытием минимум в 3 раза. В условиях эксплуатации это позволит избежать сколов и отслоений покрытия с поверхностей деталей.
- Проведенные испытания показали, что покрытие, полученное лазерной наплавкой с применением порошка Плакарт-03.98.-Р обладает высокой коррозионной стойкостью.

Работа выполнена совместно Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Тюменский государственный нефтегазовый университет» и ООО «Производственная фирма Сокол» по комплексному проекту создания высокотехнологичного производства «Разработка, проектирование, изготовление и монтаж линии по нанесению защитных покрытий» шифр 2014-218-05-128. Проект реализуется за счет субсидии на государственную поддержку кооперации российских высших учебных заведений, государственных научных учреждений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 218.

Список литературы

1. Двойников М. В., Ковенский И. М., Ошибков А. В., Фролов С. А. Анализ результатов исследований износостойкости ротора винтового забойного двигателя // Известия вузов. Нефть и газ. – 2014. – № 5. – С. 86-88.
2. Ковенский И. М., Ошибков А. В., Фролов С. А., Двойников М. В. Упрочнение поверхностного слоя роторов винтовых забойных двигателей газотермическими покрытиями // Известия вузов. Нефть и газ. – 2014. – № 5. – С. 89-92
3. Ошибков А. В., Двойников М. В., Фролов С. А., Свешашов В. Н., Паньков В. Н., Хлопотов Р. А. Контроль параметров рабочих органов винтовых забойных двигателей // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2015. – № 3. – С. 2-4.

Сведения об авторах

Фролов Сергей Андреевич, директор Экспериментального завода буровой техники, Тюменский индустриальный университет, тел. +79068203000, e-mail: frolov_72@inbox.ru

Светашов Владимир Николаевич, начальник конструкторского отдела Экспериментального завода

Information about the authors

Frolov S. A., Director of Experimental plant of drilling technique, Industrial University of Tyumen, tel. +79068203000, e-mail: frolov_72@inbox.ru

Svetashov V. N., head of the designing department of Experimental plant of drilling technique, Industrial University of Tyumen

буровой техники, Тюменский индустриальный университет, тел. +792204444764, e-mail: svetashov@mai.ru

Водорезов Дмитрий Дмитриевич, инженер Экспериментального завода буровой техники, Тюменский индустриальный университет, тел. +79068203000, e-mail: vodorezov@gmail.com

Леонтьев Дмитрий Сергеевич, ассистент кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин» ТИУ, г. Тюмень, тел. +79323202656, e-mail: leonfob@mail.ru

Столбова Ольга Михайловна, магистрант, Тюменский индустриальный университет, тел. 89829113082, e-mail: olga.stolbowa2013@yandex.ru

ty of Tyumen, tel. +792204444764, e-mail: svetashov@mai.ru

Vodorezov D. D., engineer of Experimental plant of drilling technique, Industrial University of Tyumen, tel. +79068203000, e-mail: vodorezov@gmail.com

Leontiev D. S., assistant of the chair «Drilling of oil and gas wells», Industrial University of Tyumen, phone: +79323202656, e-mail: leonfob@mail.ru

Stolbova O. M., postgraduate of Industrial University of Tyumen, tel. +79829113082, olga.stolbowa2013 @yandex.ru