

УДК 621.793.79

DOI: 10.35211/1990-5297-2024-6-289-66-70

*М. С. Морозова¹, М. Ю. Чубуков¹, Д. В. Руцкий², А. В. Дроздов², А. В. Сысоев²***ПРИМЕНЕНИЕ ФОСФАТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
РЕСУРСА СБОРКИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОБСАДНЫХ ТРУБ**¹ АО «Волжский трубный завод»² Волгоградский государственный технический университет

e-mail: drutskii@vstu.ru

В статье изложен опыт применения фосфатных покрытий для повышения эксплуатационных свойств резьбовых соединений обсадных труб. В ходе работы были проведены лабораторные, опытно-промышленные испытания. С использованием инструментов методологии «Лин 6-сигм» на лабораторном этапе выбраны лучшие варианты, определен оптимальный компонентный состав раствора фосфатирования для производства, который обеспечивает получение покрытия с наилучшими противозадирными свойствами. По результатам работы достигнут уровень свойств фосфатных покрытий, который позволяет осуществлять многократную сборку резьбовых соединений обсадных труб с сохранением технических характеристик. Многократная сборка подтверждена при производственных испытаниях в заводских условиях.

Ключевые слова: фосфатирование, фосфатные покрытия, резьбовое соединение, обсадная труба, сборка соединений, противозадирные свойства

*M. S. Morozova¹, M. Yu. Chubukov¹, D. V. Rutskiy², A. V. Drozdov², S. V. Sysoev²***THE USE OF PHOSPHATE COATINGS TO INCREASE
THE ASSEMBLY LIFE OF THREADED CONNECTIONS OF CASING PIPES**¹ JSC "Volzhsky Pipe Plant"² Volgograd State Technical University

The article describes the experience of using phosphate coatings to improve the performance properties of threaded connections of casing pipes. In the course of the work, laboratory and pilot tests were carried out. Using the tools of the Lin 6-sigma methodology, the best options were selected at the laboratory stage, the optimal component composition of the phosphating solution for production was determined, which ensures the production of a coating with the best extreme pressure properties. According to the results of the work, a level of properties of phosphate coatings has been achieved, which allows for repeated assembly of threaded connections of casing pipes while maintaining technical characteristics. Repeated assembly has been confirmed during production tests in the factory.

Keywords: phosphating, phosphate coatings, threaded connection, casing pipe, connection assembly, extreme pressure properties

В настоящее время качественная подготовка резьбовой поверхности обсадных труб и элементов их соединения (муфт) становится все более важным аспектом для производителей труб.

Нефтедобывающая промышленность предъявляет требования к поставке труб с соединениями многократного использования без заеданий. Повышение надежности резьбовых соединений является актуальной задачей [1]. Согласно действующим требованиям резьбовое соединение обсадных труб должно выдерживать испытание на трехкратную сборку/разборку с сохранением технических характеристик [2].

Нанесение антифрикционных покрытий на поверхности резьбовых, уплотнительных и упорных элементов резьбовых соединений труб и муфт является одним из способов, способствующих улучшению эксплуатационных

свойств резьбовых соединений. Зачастую резьбовые обсадные трубы и муфты из углеродистых сталей подвергаются фосфатированию. Данное покрытие по сравнению с альтернативными способами (меднение, цинкование и др.) отличается меньшими затратами. При этом обладает противозадирными свойствами и при определенном сочетании с консервационными составами обеспечивает коррозионную защиту.

Целью проводимой работы является изучение влияния свойств фосфатных покрытий на сборку/разборку резьбовых соединений обсадных труб и разработка технологии получения фосфатного покрытия, способного обеспечивать установленные требования к ресурсу резьбовых соединений.

Для достижения поставленной цели были проведены лабораторные исследования различ-

ных фосфатирующих материалов и технологий их применения, разработка метода и оценка свойств фосфатных покрытий, совершенствование технологии фосфатирования в ходе промышленных испытаний и проведение сравнительных испытаний на трехкратную сборку/разборку резьбовых соединений обсадных труб.

Фосфатный слой обладает рядом свойств, которые определяют область применения фосфатирования: слой устойчив к атмосферным воздействиям, к смазочным составам, к органическим растворителям, к термическому воздействию повышенных температур (до 300 °С). Фосфатный слой обладает высокой адгезионной способностью и противозадирными свойствами [4]. Противозадирные свойства покрытия характеризуются его стойкостью к истиранию при сборке соединений, что в свою очередь защищает резьбу от повреждений [5].

Однако, анализ текущей ситуации показывает, что получаемого уровня качества фосфатного покрытия недостаточно для обеспечения необходимого ресурса сборки резьбовых соединений обсадных труб. Износ покрытия происходит уже при первом цикле сборки/разборки соединения, а при втором-третьем цикле – образуются задиры на резьбовой поверхности.

Известно, что именно наружный слой, кристаллического строения, обуславливает эксплуатационные свойства фосфатного покрытия. Кристаллический слой образуется на первичном, прилегающем к металлу, слое, и растет

в различных направлениях по эпитаксиальным ориентациям, в частности, по поверхностной структуре металлической подложки [6]. В результате создается многомерная сетка, переплетением которой между твердыми фазами объясняются силы сцепления, соединяющие фосфатное покрытие с металлом основы [7]. Соответственно, фосфатное покрытие, предназначенное для обеспечения противозадирных свойств при сборке резьбовых соединений обсадных труб, напротив, должно иметь достаточно развитую кристаллическую структуру, что в свою очередь приводит к повышению удельной массы и толщины покрытия и, как следствие, увеличению его маслостойкости и шероховатости.

В рамках проведения лабораторного этапа были исследованы различные фосфатирующие составы. На каждом составе опробованы различные режимы фосфатирования: изменение компонентного состава растворов, изменение температурного режима и длительности обработки. Нанесение фосфатного покрытия производилось на образцы-сегменты размером 50x50 с оригинальной резьбовой поверхностью, из марок сталей и групп прочности, характерных для производства.

По результатам испытаний оценивалось качество полученных фосфатных покрытий по установленным показателям и по авторской методике рассчитывался комплексный показатель качества покрытий (рис. 1).



Рис. 1. Результат оценки комплексного показателя качества фосфатных покрытий

По итогам анализа результатов видно, что покрытие, получаемое в текущем производстве, обладает наименьшим комплексным показателем качества, чем и обусловлены возникающие

проблемы при многократной сборке резьбовых соединений.

С целью более углубленного анализа полученных результатов лабораторного этапа были

использованы инструменты методологии «Лин 6-сигм». Проведенный корреляционно-регрессионный анализ позволил выявить критические зависимости износостойкости фосфатного покрытия от его качественных показателей и определить наилучшие варианты для дальнейших производственных испытаний. В данном исследовании за параметр оптимизации была выбрана износостойкость полученного покрытия.

При анализе выявлено, что наибольшее влияние на износостойкость оказывают показатели толщина и удельная масса покрытия, при этом с чрезмерным увеличением шероховатости и маслосъемкости покрытия – износостойкость снижается. На основании проведенной оптимизации параметра износостойкости покрытия для дальнейших производственных испытаний был выбран вариант № 1 (рис. 2).

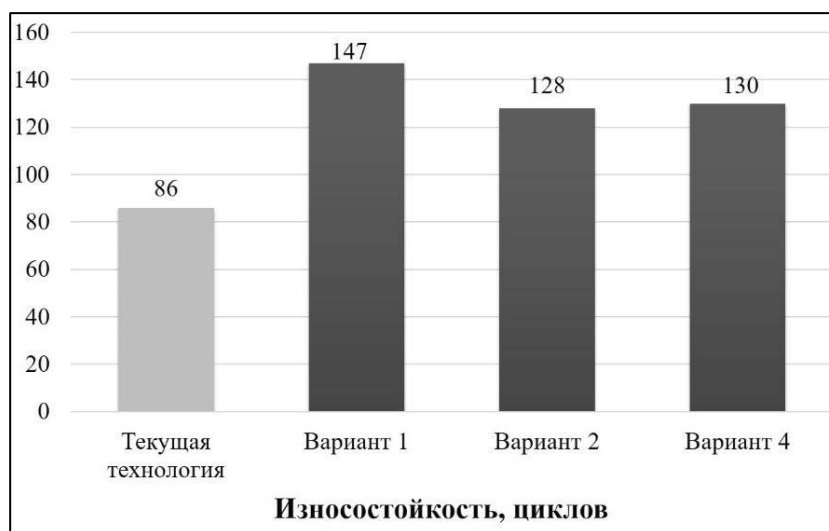


Рис. 2. Результат оценки износостойкости покрытий

В рамках промышленных испытаний проводилось совершенствование технологии фосфатирования с учетом возможностей оборудования и марок сталей, применяемых на производстве. При проведении производственных испытаний оптимизировались технологические параметры процесса фосфатирования (улучшены режимы, полученные при лабораторных испытаниях), оценивались стабильность и расход материалов.

Результаты ранее проведенных лабораторных испытаний показали, что наличие в растворе фосфатирования железа двухвалентного приводит к улучшению качества покрытия.

Проведенные исследования показали, что при увеличении содержания железа двухвалентного одни свойства покрытия улучшаются, при этом другие, проходя через максимум, в определенный момент начинают снижаться. В связи с чем важным этапом в совершенствовании технологии фосфатирования являлся подбор оптимального состава раствора фосфатирования.

Подбор оптимального состава раствора проводился с помощью инструмента «Анализ сме-

сей». В соответствии с разработанным планом полнофакторного эксперимента была проведена серия испытаний на 16 вариантах составов (таблица). При испытаниях также учитывался и временной фактор – длительность процесса фосфатирования, которая составляла 8, 10 и 15 минут.

В ходе каждого эксперимента проводили оценку толщины и износостойкости полученного покрытия. Результаты представлены в таблице.

Далее, используя предиктивную аналитику, был определен оптимальный компонентный состав раствора фосфатирования и оптимальная длительность процесса для получения покрытия с наилучшими противозадирными свойствами. Результаты оптимизации показали, что максимальное значение износостойкости покрытия достигается при использовании раствора, содержащего 1,0–1,5 % добавки и 15–20 % концентрата, оптимальная длительность фосфатирования составляет 11–12 минут. При этом значения толщины получаемого покрытия в среднем составляют 17 мкм

Результаты полнофакторного эксперимента

№ эксперимента	Компонентный состав раствора фосфатирования, %			Длительность, мин	Толщина, мкм	Износостойкость, циклов
1	18,0	79,00	3,00	8	24	94
2	16,4	81,90	1,70	15	20	124
3	20,0	79,00	1,00	15	22	145
4	20,0	79,0	1,00	10	21	147
5	20,0	79,00	1,00	8	18	130
6	12,0	87,25	0,75	15	13	115
7	16,4	81,90	1,70	10	18	120
8	12,0	85,00	3,00	15	26	86
9	18,0	79,00	3,00	15	28	87
10	20,0	79,25	0,75	8	14	108
11	20,0	79,25	0,75	15	16	114
12	12,0	87,25	0,75	10	12	100
13	12,0	87,25	0,75	8	11	95
14	12,0	85,00	3,00	8	20	84
15	12,0	85,0	3,00	10	25	86
16	16,4	81,90	1,70	8	17	108

По результатам были проведены сравнительные исследования свойств покрытий, полученных по штатной и улучшенной технологиям. В ходе исследований установлено, что показатели толщины, массы покрытия, шероховатости покрытия, полученного по улучшенной

технологии, превышают значения покрытия по текущей технологии в 1,5–2 раза. Фосфатное покрытие обладает выраженной кристаллической структурой и высокой плотностью упаковки кристаллов (рис. 3).

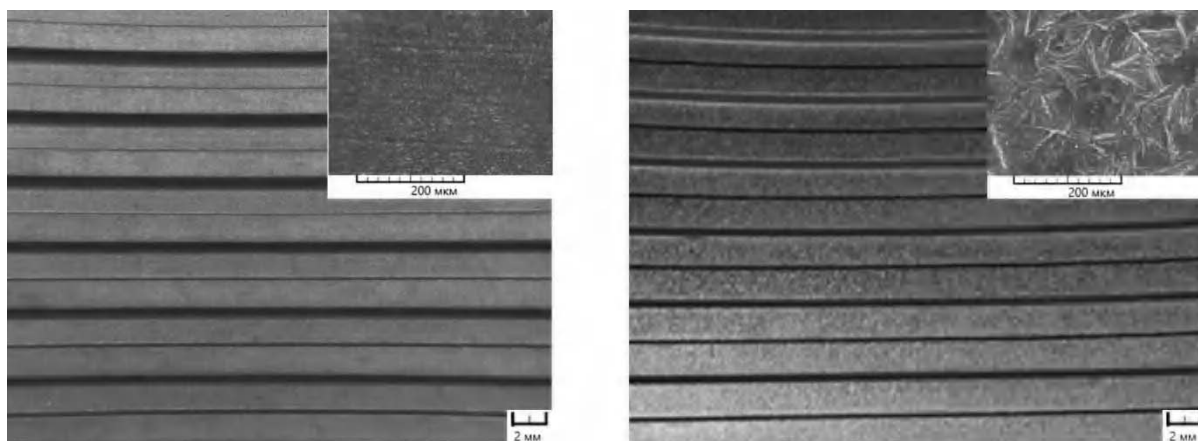


Рис. 3. Внешний вид фосфатного покрытия до и после улучшений

Проведенный сравнительный спектральный анализ структуры фосфатного покрытия до и после улучшений позволил выявить увеличение содержания в структуре покрытия кристаллов, содержащих соединения железа, что обуславливает наличие развитой слоистой кристаллической структуры фосфата [7; 8].

С целью оценки эффективности применения фосфатных покрытий улучшенного качества для обеспечения требуемого ресурса резьбовых соединений обсадных труб был проведен ряд испытаний. В качестве сравнительных были проведены испытания на трехкратную сборку/разборку резьбовых соединений обсадных

труб. Для испытаний были выбраны трубы разных типоразмеров с различными типами резьбового соединения. Испытания проводились на производственном оборудовании в заводских условиях.

Проведенные испытания показали, что полученное фосфатное покрытие с улучшенными свойствами позволяет осуществлять трехкратную сборку резьбового соединения без повреждений резьбы.

Выводы

С целью обеспечения требуемого ресурса сборки/разборки резьбовых соединений обсадных труб проведены исследования влияния свойств наносимого антифрикционного фосфатного покрытия. В ходе исследований проведены лабораторные испытания, на основании результатов которых технология фосфатирования была совершенствована. Показано влияние качества фосфатного покрытия на стойкость резьбовых соединений к истиранию.

По результатам проведенных испытаний на многократность сборки подтверждено, что применение фосфатного покрытия с улучшенными свойствами позволяет осуществлять трехкратную сборку/разборку резьбового соединения обсадных труб без повреждений резьбы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Емельянов, А. В. Новое решение проблемы герметичности резьбовых соединений обсадных колонн с использованием «Технологии чистого свинчивания» / А. В. Емельянов, А. В. Токарев // Бурение и нефть. – 2012. – № 2. – С. 46–48.
2. ГОСТ Р ИСО 13679–2016. Трубы стальные обсадные и насосно-компрессорные для нефтяной и газовой промышленности. Методы испытаний резьбовых соединений : национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2016-02-26 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – Москва : Стандартиформ, 2016. – 128 с.
3. Григорян, Н. С. Фосфатирование : учеб. пособие / Н. С. Григорян, Е. Ф. Акимов, Т. А. Ваграмян. – М. : Глобус, 2008. – 144 с.
4. Грилихес, С. Я. Защита металлов окисными и фосфатными пленками / С. Я. Грилихес. – 2-е изд. – Москва : Ленинград: Машгиз, 1961. – 80 с.
5. Чурикова, Т. Н. Определение влияния антифрикционных компонентов на трибологические свойства резьбовых покрытий / Т. Н. Чурикова, Н. П. Самкова, Р. А. Саврай // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2020. – № 3. – С. 46–52.
6. Sathyanandham B., Balakrishnan K. A Critical Survey of Phosphating Processes // Metal Finish. 1967. V. 65. No. 8. P. 48-52.
7. Крутиков, А. Ф. Результаты электрохимических, минералогических и потенциокинетических исследований механизма пленкообразования в фосфатирующих растворах / А. Ф. Крутиков, С. А. Крутиков. – М. : ВИНТИ. – № 4077/76. – 1978. – 34 с.
8. Бек, Р. Ю. Исследование состава цинкофосфатных растворов фосфатирования / Р. Ю. Бек, З. М. Мельникова, Л. И. Бородихина // Изв. сиб. отд. АН СССР: Серия хим. наук. – 1980. – Вып. 5, № 12. – С. 142–146.