

А.И. Цыбин, технический директор ООО «Техновацинк», e-mail: tsybin.a@tnzinc.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ПОКРЫТИЯ MAJORPASC MPAG96 В ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИНАХ С ЯРКО ВЫРАЖЕННОЙ ВНУТРИТРУБНОЙ И НАРУЖНОЙ КОРРОЗИЕЙ НА ПРИМЕРЕ СКВАЖИН ЗАПАДНОГО ТЕХАСА



Многофакторное защитное покрытие majorpasc MPAG96, сочетающее барьерные и протекторные свойства для сохранности погружного оборудования, по результатам промышленных испытаний хорошо зарекомендовало себя на месторождениях Западного Техаса в осложненных условиях эксплуатации труб. Испытания, в частности, подтвердили эффективность применения дуплексных систем для защиты от сероводородной и бактериальной коррозии.

Добыча нефти зачастую осуществляется в осложненных условиях эксплуатации подземного оборудования, к которым, в частности, относится коррозия насосно-компрессорных труб (НКТ). Применение дополнительной к термодиффузионному цинковому покрытию системы защиты позволяет повысить эффективность эксплуатации скважин добывающего фонда.

ОСОБЕННОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ДУПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ

Под дуплексной системой защиты подразумевается комплексная защита стали цинкованием с последующей окраской. В ос-

нове дуплексных систем защиты от коррозии majorpasc MPAG лежит синергия стали, слоя термодиффузионного цинка (ТДЦ) и полимера. Слой ТДЦ обеспечивает протекторную и барьерную защиту стали, полимер – барьерную защиту цинка (рис. 1).

Отличительная особенность технологии заключается в нанесении слоя ТДЦ, представляющего собой монолитный интерметаллид высокой степени микротвердости, до 2,5 раза превышающей микротвердость стали (3400–4400 МПа), что обеспечивает высокую устойчивость защитной системы к истиранию (рис. 2). К преимуществам термодиффузионного цинкового

покрытия также относится высокий уровень адгезии.

В результате синергии слоев дуплексной системы возникает эффект закупоривания повреждений полимерного покрытия, образующихся в процессе эксплуатации, что позволяет замедлить коррозионные процессы и исключить появление подпленочной коррозии.

МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ КОРРОЗИИ

Вследствие повреждения полимерного слоя покрытия на поверхности металла образуются сульфиды и карбонаты железа. Данный процесс сопровождается выделением водорода.

Сульфиды и карбонаты железа не растворяются в воде и в момент образования под воздействием температуры менее 120–130 °С представляют собой аморфную кристаллическую массу, подверженную воздействию газов, содержащихся в транспортируемом флюиде. Взаимодействие продуктов коррозии с компонентами флюида приводит к образованию высокорстворимых веществ.

Таким образом, продукты коррозии выходят из зоны образования первого коррозионного участка, и коррозия развивается вплоть до полного разрушения слоя металла. При протекании коррозионного процесса в присутствии сероводорода происходит формирование рыхлого слоя сульфида железа и образуется подлежащий слой хлорида железа, препятствующий контакту сульфида железа со стальной поверхностью. В результате происходит вымывание сульфидов и хлоридов железа, что ведет к дальнейшему распространению коррозионного процесса.

Коррозия, протекающая в присутствии анаэробных микроорганизмов, относящихся к сульфатвосстанавливающим (сульфатредуцирующим) бактериям (СВБ), может развиваться даже в средах, не содержащих сероводород. Появление в среде СВБ приводит к интенсификации коррозионного процесса. На границе колонии СВБ формируется рыхлый слой карбонатов, сульфидов и хлоридов железа, внутри которого растет концентрация сероводорода, в результате чего сульфиды и хлориды железа в присутствии кислорода превращаются в гидроксид железа (III) $Fe(OH)_3$, что также ведет к дальнейшему развитию коррозии.

MAJORPASC MPAG ЗАМЕДЛЯЕТ КОРРОЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Замедление развития коррозии, наблюдаемое в результате применения дуплексной системы majorpasc MPAG, основано на хи-

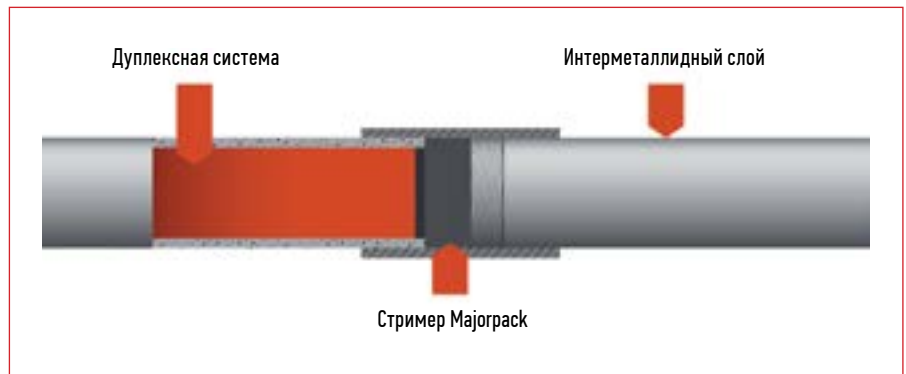


Рис. 1. Обеспечение противокоррозионной защиты с помощью применения дуплексных систем majorpasc MPAG

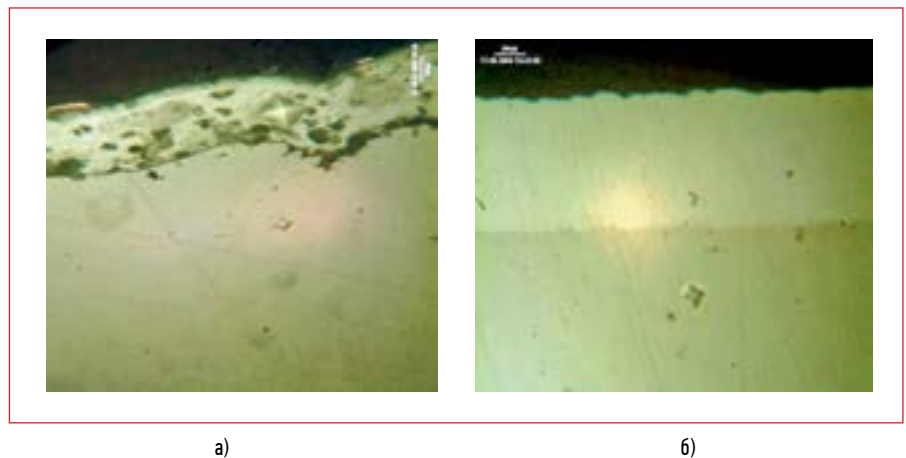


Рис. 2. Результаты испытаний покрытия на микротвердость: а) термодиффузионное покрытие; б) горячеоцинкованная сталь



Рис. 3. Механизм замедления развития коррозии в присутствии дуплексной системы majorpasc MPAG

мическом процессе образования сульфида и карбоната цинка. Эти соли нерастворимы в воде и при повреждении покрытия образуют плотную кристаллическую

массу, труднопроницаемую для газов, что препятствует дальнейшему распространению коррозии либо сильно замедляет процесс разрастания очага поражения на на-

сосно-компрессорных трубах. При этом сульфиды и карбонаты цинка инертны, не взаимодействуют с газами и компонентами флюида и могут реагировать только с концентрированными кислотами (рис. 3).

Химические основы механизма замедления развития коррозии в присутствии дуплексной системы *majorpack* MPAG можно выразить с помощью следующих формул:

- 1) $Zn + H_2S \rightarrow ZnS \downarrow + H_2 \uparrow$,
- 2) $Zn + H_2CO_3 \rightarrow ZnCO_3 \downarrow + H_2 \uparrow$.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДУПЛЕКСНОЙ ЗАЩИТНОЙ СИСТЕМЫ

В целях изучения механизма защиты дуплексной защитной системы были проведены испытания в независимой аналитической лаборатории *Stress Engineering Services Inc.* (США). В ходе тестирования покрытие с предварительно нанесенными X-образными надрезами в течение 5 сут выдерживалось в морской воде, насыщенной N_2 и CO_2 в соотношении 9:1, при атмосферном давлении и температуре $82^\circ C$ с добавлением Na_2S (рН = 5,5 в присутствии H_2S) и без добавления Na_2S (рН = 5,5).

Кроме того, в ООО «ИТ Сервис» (Самара) в 2020 г. были проведены испытания на устойчивость системы к бактериальной коррозии. Тестирование в среде, зараженной СВБ, показало, что поверхности стальных образцов с ТДЦ и полимерными покрытиями *majorpack* MPAG96 и Delta5+ не благоприятствуют колонизации и жизнедеятельности бактерий: после 40 ч исследования СВБ не обнаружены. Такой же результат был достигнут в ходе испытания образцов в среде, зараженной бактериями нефтяного биоценоза: по истечении 95 сут бактерии не были обнаружены (рис. 4).

Во всех случаях тестирования дуплексной системы защиты при повреждении слоя полимера наблюдалось взаимодействие цинкового покрытия с компонен-



Рис. 4. Вид испытательных емкостей в момент перед извлечением образцов (время выдержки – 95 сут): емкость № 1 – образец без покрытия; емкость № 2 – образец с ТДЦ; емкость № 3 – образец с *majorpack* MPAG96

тами среды. После образования продуктов взаимодействия цинка со средой процесс коррозии значительно замедлялся. Также в ходе тестов было установлено, что цинковое покрытие лучше работает, если в коррозионной среде одновременно присутствуют сероводород и углекислый газ, по сравнению со средами, в которых содержится лишь один из этих компонентов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫСЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ТРУБ С ПОКРЫТИЕМ MAJORPACK MPAG96 В ЗАПАДНОМ ТЕХАСЕ

Трубы с покрытием *majorpack* MPAG96 были испытаны на двух месторождениях в Западном Техасе (США). Для обоих месторождений характерны сероводородная коррозия и эрозия. Месторождение к северо-западу от Барнхарта в основном эксплуатируется с помощью горизонтальных скважин, на которых применяются трубы, изготовленные из стали марок J-55, L-80 и L-80 (1 % Cr). На месторождении неподалеку от американской Одессы распространены вертикальные скважины, на которых применяются трубы из стали марок J-55 и L-80. На обоих объек-

тах часто фиксируется разрушение НКТ с торцов и ниппельных частей: на месторождении близ Барнхарта – через 200–250 сут, на месторождении около Одессы – спустя 150–200 сут.

В рамках опытно-промышленных испытаний (ОПИ) труб с покрытием *Majorpack* в скважину на месторождении к северо-западу от Барнхарта установили подвеску, выполненную из *majorpack* MPAG96. Межниппельное пространство было защищено стримерами *Streamer Majorpack*. Срок безаварийной эксплуатации подвески составил 215 сут. После ее подъема был проведен контроль потери толщины стенки трубы методом вихретоковой дефектоскопии. Исследование показало, что в среднем потери толщины стенок труб составляли 10 %. При этом более чем у половины труб данный показатель не превышал 10 % (рис. 5а). Коррозия на торцах и в межниппельном пространстве не обнаружена. По ряду показателей по результатам ОПИ трубы с покрытием *majorpack* MPAG96 показали большую стойкость в процессе эксплуатации по сравнению с трубами, выполненными из стали марок J-55, L-80 и L-80 (Cr 1 %).



Рис. 5. Результаты вихретоковой дефектоскопии подвески:

а) подвеска полностью состоит из труб с покрытием мажорпак МРАG96 (продолжительность ОПИ – 215 сут, месторождение к северо-западу от Барнхарта; б) подвеска на 1/3 состоит из труб с покрытием мажорпак МРАG96, на оставшиеся 2/3 – из труб из стали L-80 (продолжительность ОПИ – 240 сут, месторождение близ Одессы)

Испытания на месторождении неподалеку от Одессы длились 240 сут. Установленная в скважину подвеска на треть, начиная от насоса, состояла из труб с покрытием мажорпак МРАG96, на оставшиеся две трети – из труб из стали L-80. Межниппельное пространство, как и в первом случае, было защищено стримерами Streamer Majorpack. После подъема подвески выполнен контроль потери толщины стенки трубы методом вихретоковой дефектоскопии. Результаты тестирования подтверждают, что потери толщины стенок труб с покрытием мажорпак МРАG96 в среднем составили 5%. Только на двух трубах с мажорпак МРАG96 доля потери толщины стенки достигла 25%. При этом потери толщины стенок труб, изготовленных из стали L-80, за это же время составили порядка 60% (рис. 5б). На части подвески, выполненной из труб с покрытием мажорпак МРАG96, коррозия на торцах и в межниппельном пространстве не обнаружена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе лабораторных и опытно-промышленных испытаний было установлено, что многофакторное защитное покрытие мажорпак МРАG96 обеспечивает повышенный уровень защиты от сероводородной коррозии в условиях сильноагрессивных коррозионных сред и полную защиту от СВБ-индуцированной сероводородной коррозии.

Тестирование, в частности, продемонстрировало, что наибольшая эффективность достигается в случае, когда трубы с покрытием мажорпак МРАG96 составляют минимум четверть подвески. На данном этапе разработчик не рекомендует ставить одну-две НКТ с покрытием мажорпак МРАG96. Несмотря на то что скорость коррозии таких труб ниже аналогичного показателя для стальных труб без покрытия, она тем не менее превышает скорость коррозии, наблюдающуюся в случаях, когда в подвеске установлено боль-

шее количество НКТ с покрытием мажорпак МРАG96. Различия механизмов развития коррозии в зависимости от доли труб с покрытием мажорпак МРАG96 в колонне НКТ изучаются.

В целом дуплексные системы защиты от коррозии мажорпак МРАG по сравнению с обычными полимерными покрытиями характеризуются большей надежностью. Разница наиболее ощутима при эксплуатации НКТ в условиях агрессивных коррозионных сред с повышенным содержанием сероводорода.

majorpack®

АО «Торговый Дом НПО»
123022, РФ, г. Москва,
ул. Рочдельская, д. 15,
стр. 19-20, эт. 2, пом. III, комн. 1
Тел.: +7 (495) 644-34-67
e-mail: office@tdnpo.ru
<https://majorpack.ru>

на правах рекламы