



Рис. 5. Прототип разработанной модели окклюдера

Таким образом, в настоящей работе продемонстрированы возможности 3D-печати окклюдера, модель которого выполнена с учетом имеющегося опыта подобных разработок. Благодаря использованию современных технологий и материалов, предложенный вариант дизайна и конструкции окклюдера способен обеспечивать полную изоляцию глаза от света, прочно крепится на лице пациента и обладает, по мнению авторов работы, эстетичным внешним видом.

Литература

1. Путеводитель по 3D-печати в медицине. – Режим доступа: <https://vektor.us/blog/3d-tehnologii-v-medicine.html#3d-modelirovanie-v-medicine>. – Дата доступа: 10.08.2023.
2. Бирич, Т. Офтальмология : учебник / Т. Бирич, Л. Марченко, А. Чекина. – Минск : Новое знание, 2021. – 496 с.
3. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении : пособие для инженеров / М. А. Зленко, М. В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – М. : НАМИ, 2015. – 220 с.
4. Поздняков, Е. П. Материалы аддитивного синтеза : пособие / Е. П. Поздняков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – 283 с.

НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ ДЛЯ УСЛОВИЙ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА, ОСЛОЖНЕННЫХ УГЛЕКИСЛОТНОЙ КОРРОЗИЕЙ

Ю. И. Попкова

*Белорусский научно-исследовательский и проектный институт нефти
Республиканское унитарное предприятие «Производственное
объединение «Белоруснефть», г. Гомель*

Научный руководитель А. Я. Григорьев

*Государственное научное учреждение «Институт механики
металлополимерных систем имени В. А. Белого
Национальной академии наук Беларуси», г. Гомель*

Представлены результаты коррозионных испытаний сталей насосно-компрессорных труб, отличающихся по составу и структуре, марок 32Г1А N80 (Q), 30X L80 (I), 32ХГ Р110, 30ХГМА-1 С90, 13Cr, изготовленных в соответствии со стандартом APISpecification 5CT, 37Г2Ф Е, 18ХЗМФБ Е, 15Х5МФБ Е, изготовленных в соответствии с ГОСТ 633, 25ХГБ К72 ГОСТ 31446, а также насосно-компрессорных труб с внутренним эпоксидно-фенольным полимерным покрытием. Исследования проведены для условий нефтяных месторождений Припятского прогиба, попутно добываемая вода которых представляет собой крепкие рассолы хлоридно-кальциевого типа, содержащие углекислый газ. Выявленные закономерности влия-

ния характеристик трубных сталей и эксплуатационных факторов легли в основу разработанных научных принципов выбора материалов насосно-компрессорных труб. Разработанные принципы применяются в условиях нефтяных месторождений Беларуси, что позволило исключить преждевременные подъемы погружного оборудования по причине коррозии насосно-компрессорных труб.

Ключевые слова: коррозия, скважина, нефтяное месторождение, трубная сталь, элементный состав, микроструктура, выбор материалов.

В настоящее время экономически целесообразным является эксплуатация нефтяных месторождений Припятского прогиба, находящихся на поздней стадии разработки, которая характеризуется высокой обводненностью добываемой продукции. Однако в таких условиях возникает проблема коррозии нефтепромыслового оборудования. Потери нефти и рост затрат на добычу становятся причиной повышенного спроса на оборудование с более длительным сроком службы. Особенно актуальным является повышение эксплуатационной наработки насосно-компрессорных труб (НКТ) в условиях углекислотной коррозии, на долю которых приходится основное количество преждевременных подъемов по причине коррозии в условиях нефтяных месторождений Беларуси. В последние годы производители трубной продукции осваивают выпуск сталей НКТ с содержанием хрома 1, 3 и 5 % (здесь и далее – масс.), позиционируемых как трубные стали с повышенной коррозионной стойкостью. Широкое распространение находят НКТ с внутренним полимерным покрытием. Выпускаемые трубные стали различаются по составу и структуре при одинаковом содержании хрома, что может оказывать значительное влияние на их коррозионную стойкость. Немаловажным фактором являются условия эксплуатации. Проведенный анализ отечественных и зарубежных литературных источников и результатов выполненных научно-исследовательских работ позволяет сделать заключение о недостаточной изученности ряда вопросов и необходимости разработки научных принципов выбора марок трубных сталей для нефтяных месторождений Припятского прогиба [1–4].

Цель работы – разработка научных принципов выбора НКТ для условий углекислотной коррозии нефтяных месторождений Припятского прогиба.

Методика проведения испытаний. Из патрубков НКТ, предоставленных заводами-производителями, изготавливались образцы-свидетели коррозии (ОСК). Испытания проводились на установке для моделирования скважинных условий «АА-КОНКОР», представляющей собой замкнутый циркуляционный контур с вертикальным участком для установки ОСК.

Испытания проводились в реальных скважинных средах, представляющих собой крепкие рассолы хлоридно-кальциевого типа, содержащие растворенный углекислый газ: рН 5,7–6,3, минерализация 196–284 г/л, содержание растворенного углекислого газа 20–38 мг/л при отсутствии сероводорода. Давление рабочей среды составляло 15 МПа, температура +55, +70 °С, скорость потока 0,2–0,6 м/с, что соответствует условиям эксплуатации добывающих скважин месторождений Беларуси, осложненных коррозией. Исследования элементного состава, микроструктуры и морфологии поверхности ОСК проводились в соответствии со стандартными методиками в ГНУ «Институт порошковой металлургии имени О. В. Романа». Оценку характеристик внутреннего полимерного покрытия проводили в ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси» в соответствии с требованиями соответствующих ГОСТов.

Объекты исследований: трубные стали, применяемые при изготовлении НКТ – среднеуглеродистые марганцовистые стали марок 32Г1А N80 (Q), 30X L80 (1), 32ХГ P110, 30ХГМА-1 С90, 13Cr, изготовленных в соответствии со стандартом APISpecification 5CT, 37Г2Ф Е, 18Х3МФБ Е, 15Х5МФБ Е, изготовленных в соответствии с ГОСТ 633, 25ХГБ К72 ГОСТ 31446; НКТ с внутренним полимерным покрытием марки MPLAG17 производства «Majorpack» (РФ). В качестве базы сравнения выбрана промышленно применяемая среднеуглеродистая марганцовистая сталь марки 32Г1А N80 (Q).

Результаты и обсуждение. На основании проведенных исследований установлено, что в условиях углекислотной коррозии, кроме содержания хрома существенное влияние на коррозионную стойкость трубных сталей оказывает содержание марганца и структура трубных сталей, что необходимо учитывать при выборе материалов НКТ [5].

Установлено, что в условиях нефтяных месторождений Припятского прогиба применение среднеуглеродистой марганцовистой стали марки 32Г1А N80 (Q) допускается в условиях слабо- и среднеагрессивных сред: при дебите жидкости менее 30 м³/сут, объемной обводненности добываемой продукции менее 50 %, температуре скважинной жидкости менее +55 °С, объемном содержании углекислого газа в попутно добываемом газе менее 0,28 % при отсутствии сероводорода. При достижении граничных показателей требуется применение НКТ с повышенной коррозионной стойкостью.

На основании результатов лабораторных и натурных испытаний разработаны требования к трубным сталям НКТ для обеспечения требуемой коррозионной стойкости в условиях нефтяных месторождений Беларуси, попутно добываемая вода которых представляет собой крепкие рассолы хлоридно-кальциевого типа: минимальным является содержание хрома 0,3 % при условии ее микролегирования кальцием и бором 0,0019–0,0024 и 0,0001–0,0004 % соответственно, обеспечивающим получение зерна на уровне 12 балла по ГОСТ 5639 после закалки с высоким отпуском при содержании марганца до 1,5 % (трубная сталь марки 30Г2 группы прочности N80 (Q)/ L80 (1)). При отсутствии микролегирования минимальное содержание хрома должно составлять 1 % при условии содержания марганца до 0,8 % после закалки с высоким отпуском при размере действительного зерна не крупнее 10 балла по ГОСТ 5639 (трубная сталь марки 30X группы прочности L80 (1)). Кроме указанных требований к данным сталям установлены требования в отношении серы и фосфора (не более 0,03 % каждого элемента), неметаллических включений (сульфидов – не более 1 балла, остальных – не более 2 балла по ГОСТ 1778), полосчатости – не более 3 балла по ГОСТ 5640. Повышение коррозионной стойкости хромсодержащих сталей обусловлено образованием аморфного слоя Cr(OH)₃, который является связкой между кристаллами карбоната железа и защищает последние от растворения скважинной средой. Измельчение структурных составляющих и их равномерное распределение в металле выравнивает потенциал поверхности, уменьшает ток микропар и снижает скорость коррозии. Установлено, что основным фактором, ограничивающим применение трубных сталей с содержанием хрома до 1 %, является содержание хлорид-ионов, снижающих защитные свойства продуктов коррозии – более 150 г/л при общей минерализации более 260 г/л. Коррозионная стойкость трубных сталей в этом случае проявляется при содержании в них хрома 3 % и более.

Применение низколегированных сталей, в частности, 30X L80 (1) является не только технологически, но и экономически выгодной технологией в сравнении с промышленно применяемой ингибиторной защитой от коррозии методом постоян-

ного дозирования реагента в затрубное пространство скважины. Применение трубной стали с содержанием хрома 3% и более экономически нецелесообразно несмотря на технологический эффект. В таком случае альтернативной, экономически более выгодной технологией становится применение НКТ с внутренним полимерным покрытием. На основании натуральных испытаний доказана коррозионная стойкость двухслойного эпоксидно-фенольного полимерного покрытия внутренней поверхности НКТ при толщине покрытия не менее 150 мкм, при шероховатости поверхности менее 15 мкм, термостойкости не менее +150 °С, адгезии не менее 10 МПа в отношении локальной язвенной коррозии в условиях добывающих скважин, попутно добываемая вода которых представлена крепкими рассолами хлоридно-кальциевого типа, содержащими углекислый газ, при температуре до +90 °С и давлении до 27 МПа при скорости потока до 0,4 м/с. Однако обнаружено, что полимерное покрытие MPLAG17 не обладает стойкостью в отношении эрозионной коррозии, для защиты от которой требуется применение специального защитного устройства [6].

Практическая значимость. Разработаны принципы выбора материалов НКТ для условий нефтяных месторождений Беларуси, определены требования к НКТ с повышенной коррозионной стойкостью и условия их применения. На основании разработанных подходов проводится закупка НКТ для промышленного внедрения в условиях нефтяных месторождений Припятского прогиба, осложненных углекислотной коррозией.

Литература

1. Schmitt, G. Fundamental aspects of CO₂ metal loss corrosion – Part II: Influence of different parameters on CO₂ corrosion mechanism / G. Schmitt, M. Horstemeier // Mechanism CO₂ and H₂S metal loss corrosion: 10-year review / ed. Y. Gunaltum. – Houston, 2017. – P. 31–56.
2. Effect of microstructure on corrosion of steels in aqueous solutions containing carbon dioxide / S. Al-Hasan [et al.] // Mechanism of CO₂ corrosion. – Houston, 2017. – Vol. 2. – P. 47–58.
3. Борисенкова, Е. А. Механизм образования защитного слоя продуктов углекислотной коррозии на низколегированных сталях с 1% хрома / Е. А. Борисенкова, М. К. Ионов // Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Серия техн. науки. – 2015. – № 3 (47). – С. 195–200.
4. Особенности коррозионного разрушения нефтегазопроводных труб в условиях эксплуатации Коми и Западной Сибири / А. В. Иоффе [и др.] // Вектор науки ТГУ. – 2010. – № 4 (14). – С. 50–53.
5. Попкова, Ю. И. Влияние состава стали на коррозионную стойкость насосно-компрессорных труб в условиях углекислотной коррозии / Ю. И. Попкова // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2024. – № 1. – С. 48–62.
6. Попкова, Ю. И. Определение условий применения насосно-компрессорных труб из различных материалов при эксплуатации нефтяных месторождений, находящихся на поздней стадии разработки / Ю. И. Попкова, А. Я. Григорьев // Инженер. практика. – 2023. – № 11/12. – С. 38–47.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СОВРЕМЕННЫХ УПАКОВОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А. Д. Гладышева

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель И. Ю. Ухарцева

Представлены результаты исследования физико-механических и усадочных свойств современных многослойных газоселективных полимерных упаковочных материалов, полученных методами раздува «двойного пузыря» и соэструзии. Полученные данные свиде-