Новые методы испытаний на стойкость к коррозионному растрескиванию материалов для нефтегазовой отрасли

М.С. Блажнов
генеральный директор

М.С. Рыхлевская
к.т.н., заместитель генерального директора по научной работе
valmarm@mail.ru

А.В. Новосельцев
главный инженер
AVNovosel@yandex.ru

ООО НИПП «Вальма», Самара, Россия

Эксплуатация оборудования в средах, насыщенных сероводородом, имеет ряд особенностей, обусловленных различными видами коррозионных проявлений влажного сероводорода. Данная статья посвящена описанию применения метода четырехточечного изгиба для испытания стойкости к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением образцов труб. Показано, что данный метод является перспективным, так как воспроизводит условия фактических нагрузок.

Ключевые слова
метод четырехточечного изгиба, коррозионное растрескивание, водородное растрескивание, трубы, трубы большого диаметра (ТБД), сероводород

Контакт металла с сероводородсодержащими средами сопровождается общей и локальной коррозией, а также его наводораживанием, причем данное явление, по сравнению с собственно коррозионным процессом, является более опасным, т.к. инициирует процессы растрескивания металла. Речь идет о следующих процессах:

- SSC (sulphide stress cracking) — сульфидное коррозионное растрескивание под напряжением;
- HIC (hydrogen-induced cracking) — водородное растрескивание;
- SOHIC (stress orientated hydrogen induced cracking) — водородные трещины, ориентированные под воздействием напряжений;
- SWC (step-wise cracking) — ступенчатое растрескивание [1].

При одновременном воздействии агрессивных сред и растягивающих нагрузок проявляется локальное самопроизвольное разрушение материала — коррозионное растрескивание под напряжением (далее SSC).

На стадии производства стойкость металла труб к SSC подвергается лабораторному контролю путем испытаний методами, создающими условия возникновения трещин за относительно короткий период воздействия сероводородсодержащей среды и определенного уровня нагрузки. Данные методы представляют собой испытания по NACE (A — стандартное испытание на растяжение, B — стандартное испытание балки на изгиб, C — стандартный метод испытания C-образного кольца, D — испытание двухконсольной балки), изложены в [2] и широко используются в практике ООО НИПП «Вальма». Как любые методы испытаний, они имеют ограничения по применению, достоинства и недостатки. Однако в рамках данной статьи эти аспекты не обсуждаются. Отметим главное – данные методы не позволяют при испытаниях учитывать влияние внутренних напряжений в готовом изделии на коррозионный процесс.

Для оценки стойкости к SSC стандарты NACE TM0316-2016 [3] и ASTM G39-99 рекомендуют метод четырехточечного изгиба [4]. Сущность метода состоит в моделировании фактических нагрузок, возникающих при эксплуатации трубопроводной системы: поверхность образца, подвергаемого воздействию модельной среды, испытывается растягивающим напряжением, а противоположная поверхность — сжимающим напряжением, что является основным преимуществом метода. В лаборатории испытание длится 720 ч, при этом образец удерживается при заданном постоянном смещении посредством нагрузочных устройств, компактность которых позволяет одновременно производить испытания нескольких образцов в одной емкости, что является немаловажным фактором сокращения сроков испытаний серийной продукции для нефтегазовой отрасли.

По сравнению с другими методами испытаний на SSC, метод четырехточечного изгиба обладает дополнительным рядом преимуществ, а именно:

- меньшая степень трудоемкости при изготовлении образцов;
- испытание одновременно значительного количества образцов стандартных размеров в одной испытательной емкости;
- более полная оценка отказа: первоначальный визуальный осмотр образца при 10-кратном увеличении, магнитопорошковая дефектоскопия проблемных участков, последующее исследование на металлографических шлифах.

Следует отметить, что данный метод пока не получил широко применения из-за отсутствия его в требованиях отечественных НД (ТУ).

Однако при производстве труб для проекта «Южный поток» для оценки стойкости к SSC труб для эксплуатации в акватории Черного моря был применен именно метод четырехточечного изгиба. Испытания проходили в ООО НИПП «Вальма» на стандартных образцах в искусственной морской воде, насыщенной сероводородом, в соответствии с требованиями Европейского стандарта EFC-16 (3 изд.) [5].

Отечественные трубные заводы, проходящие квалификационные испытания процедуры производства труб для проектов «Северный поток», «Северный поток 2», прогнозируемый срок службы которых 50 лет, поставили лаборатории ООО НИПП «Вальма» более сложную задачу. Дело в том, что спецификации на производство труб для проектов содержат требования к испытаниям полнотолщинных образцов со сварным и ремонтным швами на стойкость к SSC методом четырехточечного изгиба. Если стандартный образец имеет размеры 115x10x15 мм, то полнотолщинный представляет собой некую дугу (в зависимости от диаметра трубы) размером 260x25xt мм, где t — толщина стенки (рис. 1). Создание нагрузки на образец величиной 90% от фактического предела текучести стали потребовало разработки специальной оснастки-приспособления из стали той

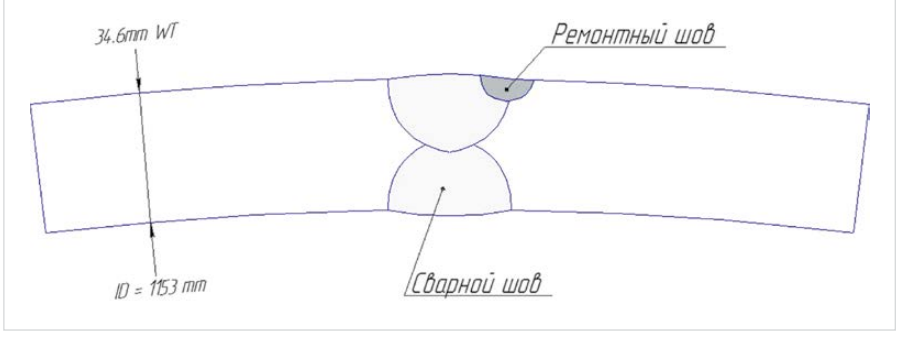


Рис. 1 — Полнотолщинный образец с моделированным участком ремонта сварного шва для испытаний методом четырехточечного изгиба

же группы прочности, что и испытываемые образцы. Такая оснастка была разработана и изготовлена нашим предприятием, на изобретение получены патенты: №2582231 [6] и № 2582229 [7]. Вид образца в оснастке и нагружающее устройство приведены на рис. 2. Испытаниям подвергались трубы внутренними диаметрами 1153, 1220 мм с толщиной стенки 30,9, 34,6, 41,0 мм. Образцы выдерживались в специальных испытательных емкостях объемом 150 л (рис. 3).

Опыт применения метода четырехточечного изгиба для оценки стойкости к SSC труб большого диаметра (ТБД) на полнотолщинных образцах позволяет рекомендовать его для широкого применения при лабораторных испытаниях электросварных ТБД, т.к. метод дает возможность в едином цикле испытаний реализовать оценку коррозионной стойкости основного металла и сварного соединения. Данный метод перспективен для контроля листового проката без ограничения по толщине раската.

Без натурных испытаний невозможно прогнозирование эксплуатационной надежности трубопроводов. Как показывает практика, в лаборатории весьма проблематично воспроизвести многофакторные условия эксплуатации. Поэтому методы испытаний, приближенные к промысловым, обоснованно вызывают практический интерес. Таким методом является испытание полного кольца для определения стойкости к растрескиванию трубных сталей (OTI 95 635) [8], составляющий основу стандарта Великобритании BS 8701:2016 [9].

Натурное испытание полного кольцевого образца исключает трудности по выбору типа образца для испытаний (методы A, B, C, D стандарта NACE TM0177), релаксации остаточных напряжений, воздействия коррозионных сред на многогранную поверхность и позволяет в одном цикле испытаний оценить стойкость тестируемого объекта (труба бесшовная, электросварная, спиральношовная, отвод, фланец, фитинг, включая все сопутствующие сварные швы) к растрескиванию — SSC, HIC, SWC, SOHIC, SZC (растрескивание в мягкой зоне).

В настоящее время в практику лаборатории внедряется методика натурного испытания кольцевых полномасштабных образцов труб под напряжением в сероводородсодержащей среде.

На рис. 4 приведен эскиз кольцевого полномасштабного образца трубы с нагружающей оснасткой (стяжная муфта).

Кольцо нагружается механически с помощью установки стяжной муфты до заданного уровня нагрузки. Следует отметить, что значительная поверхность образца позволяет применять высокоточный метод тензометрии для оценки напряженного состояния. Образец герметизируется, изнутри заполняется испытательным раствором, опрессовывается и выдерживается 30 суток.

После выдержки образец контролируется методами ультразвуковой и магнитопорошковой дефектоскопии.

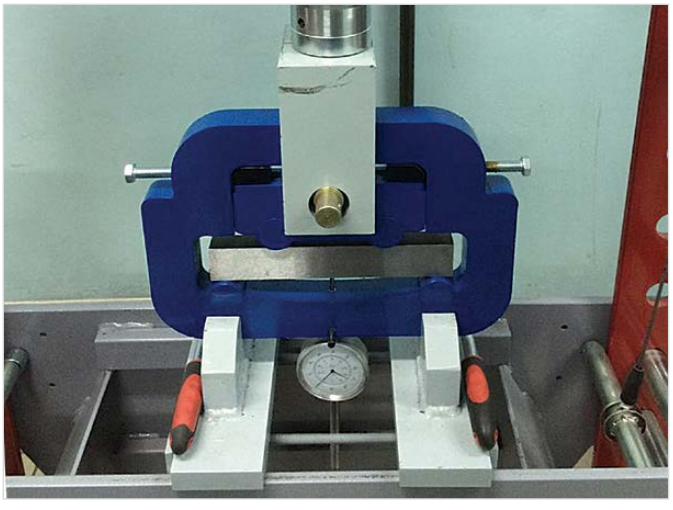


Рис. 2 — Процесс нагружения полнотолщинного образца в оснастке



Рис. 3 — Полнотолщинные образцы в испытательной емкости

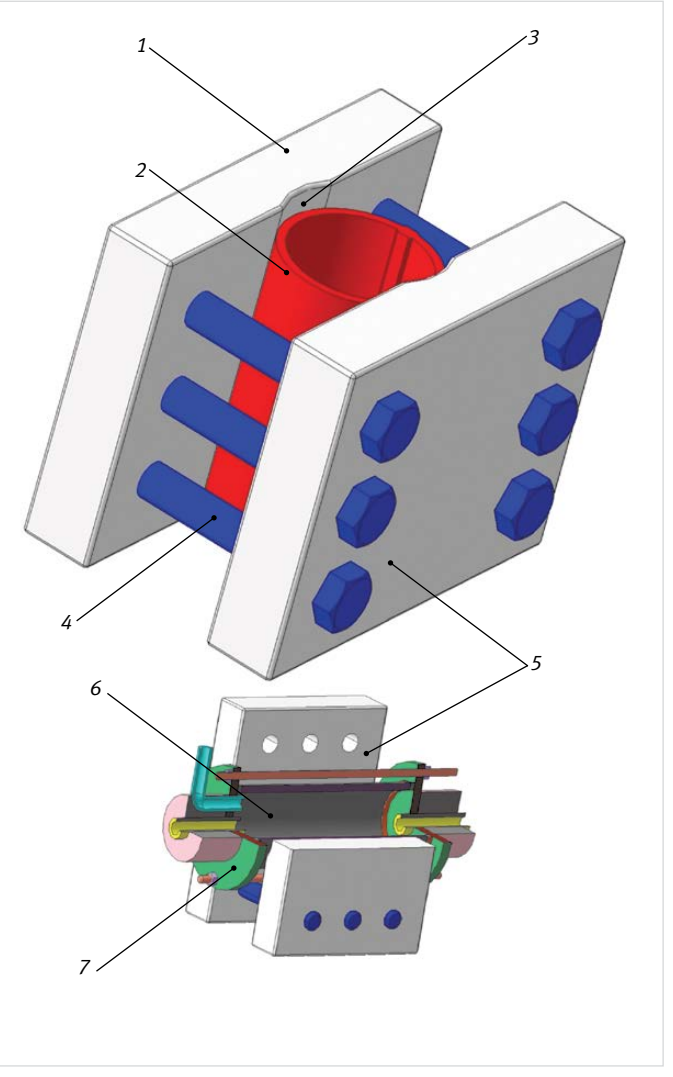
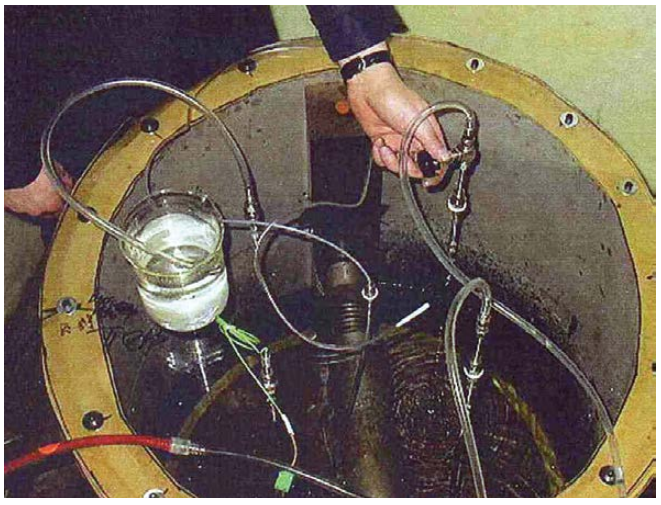
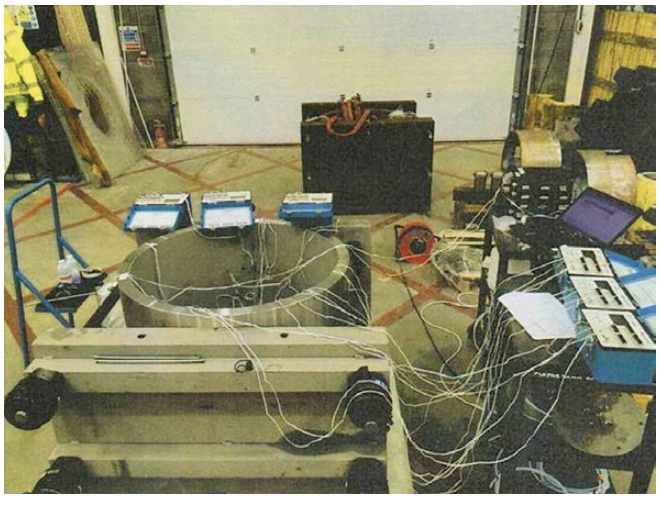


Рис. 4 — Эскиз образца с оснасткой для натурных испытаний кольца по методу Capcis HSE OTI 95-635: 1 — блок нагружения с резьбовыми отверстиями; 2 — испытываемый образец; 3 — продольный паз на внутренней поверхности двух блоков нагружения с радиусом на 1, 2 больше предполагаемого диаметра кольца для нагрузки; 4 — болты, завинченные на всю длину, с резьбой под отверстия; 5 — блок нагружения и отверстия с гарантированными зазорами под установку болтов; 6 — испытываемый образец; 7 — заглушка с технологическими отверстиями

а)



б)



в)

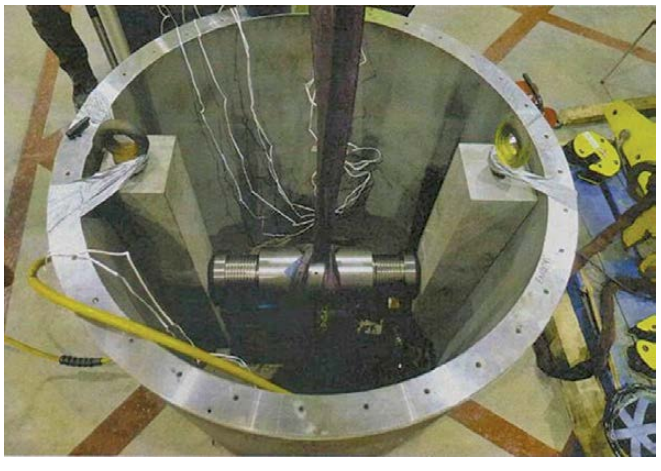


Рис. 5 — Этапы испытаний полномасштабного кольцевого образца:
а) превращение полномасштабного образца в испытательную ячейку;
б) приложение внешней нагрузки на образец;
в) приложение внутренней нагрузки на образец

В завершении проводится металлографическое исследование несовершенств, выявленных при дефектоскопии для классификации любых дефектов, в том числе и трещин растрескивания.

Для оценки воздействия коррозионных сред на внешнюю поверхность трубы, приведенная выше процедура испытаний может быть реализована полным погружением опрессованной секции в испытательный раствор. Этапы испытаний полномасштабного кольцевого образца иллюстрирует рис. 5.

Данный вариант применим для испытаний магистральных труб, ТБД, а также секций труб со стыковой сваркой, в том числе для аттестации процедуры сварки. Программа коррозионных испытаний, изложенная в спецификации «Северный поток», регламентирует испытания полного кольцевого образца со стыковой сваркой. Заказчиком испытаний должен выступать подрядчик, выполняющий прокладку трубопровода. Актуальность проведения таких испытаний в отечественной лаборатории очевидна, т.к. аналогичные испытания проводились ранее лишь за рубежом.

Выводы

1. Для испытаний на стойкость к SSC труб для нефтегазовой отрасли предложен метод четырехточечного изгиба по стандартам NACE TM0316-2016, ASTM G39-99, внедренный в практику ИЛ ООО НИПП «Вальма».
2. Метод четырехточечного изгиба на полнотолщинных образцах является перспективным для испытаний на стойкость к SSC ТБД, листового проката.
3. Натурные испытания кольцевых полномасштабных образцов (труба бесшовная, электросварная, спиральношовная, отвод, фланец, фитинг, включая все сопутствующие сварные швы) — наиболее эффективный и информативный метод оценки стойкости к любым видам растрескивания в условиях, моделирующих фактические эксплуатационные негативные факторы.

Научно-исследовательское производственное предприятие «ВАЛЬМА»
443013, РФ., Самара,
ул. Киевская, д. 13
тел./факс: +7 (846) 247-77-73 (74)
office@valma63.ru
www.valma63.ru

Список литературы

1. Стандарт NACE MR 0175/ISO 15156-2 Нефтегазовая промышленность – Материалы, применяемые в сероводородсодержащей среде в нефтегазовой промышленности.
2. Стандарт ANSI/ NACE TM0177-2016 Лабораторные испытания металлов на сопротивление сульфидному растрескиванию под напряжением и коррозионному растрескиванию под напряжением в H_2S-содержащих средах.
3. Стандарт NACE TM0316-2016 Испытания на четырехточечный изгиб материалов для нефтегазовой промышленности.
4. Стандарт ASTM G39-99 (2016) Стандартное практическое руководство по приготовлению и использованию образцов для испытаний на коррозию под напряжением изогнутых балок.
5. Стандарт EFC-16 (3 изд.) Требования, предъявляемые к материалам из углеродистой и низколегированной стали, применяемым в H_2S-содержащей среде в нефтегазовой промышленности.
6. Патент №2582231 Способ испытания на сульфидное растрескивание металла электросварных и бесшовных труб.
7. Патент №2582229 Установка для испытаний образцов металла сварных и бесшовных труб.
8. OTI 95 635 Capcis Ltd A Test method to determine to cracking the susceptibility of linepipe steels in sours service.
9. BS 8701:2016 Full ring ovalization test for determining the susceptibility to cracking of linepipe steels in sours service-Test method.