A photograph of a large industrial facility, likely a refinery or gas processing plant, at night. The facility is illuminated by numerous bright lights, creating a high-contrast scene against a dark, cloudy sky. The structure is complex, with many tall towers, pipes, and scaffolding. In the foreground, there is a fenced-in area with some equipment.

Выбор материалов для трубопроводов эксплуатируемых в сероводородной среде

С.Т. Адаир

Коррозия в нефтегазовой промышленности

5-7 декабря 2016

Самара

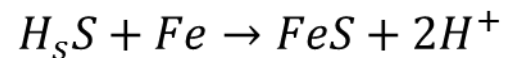


ПОВЕСТКА дня

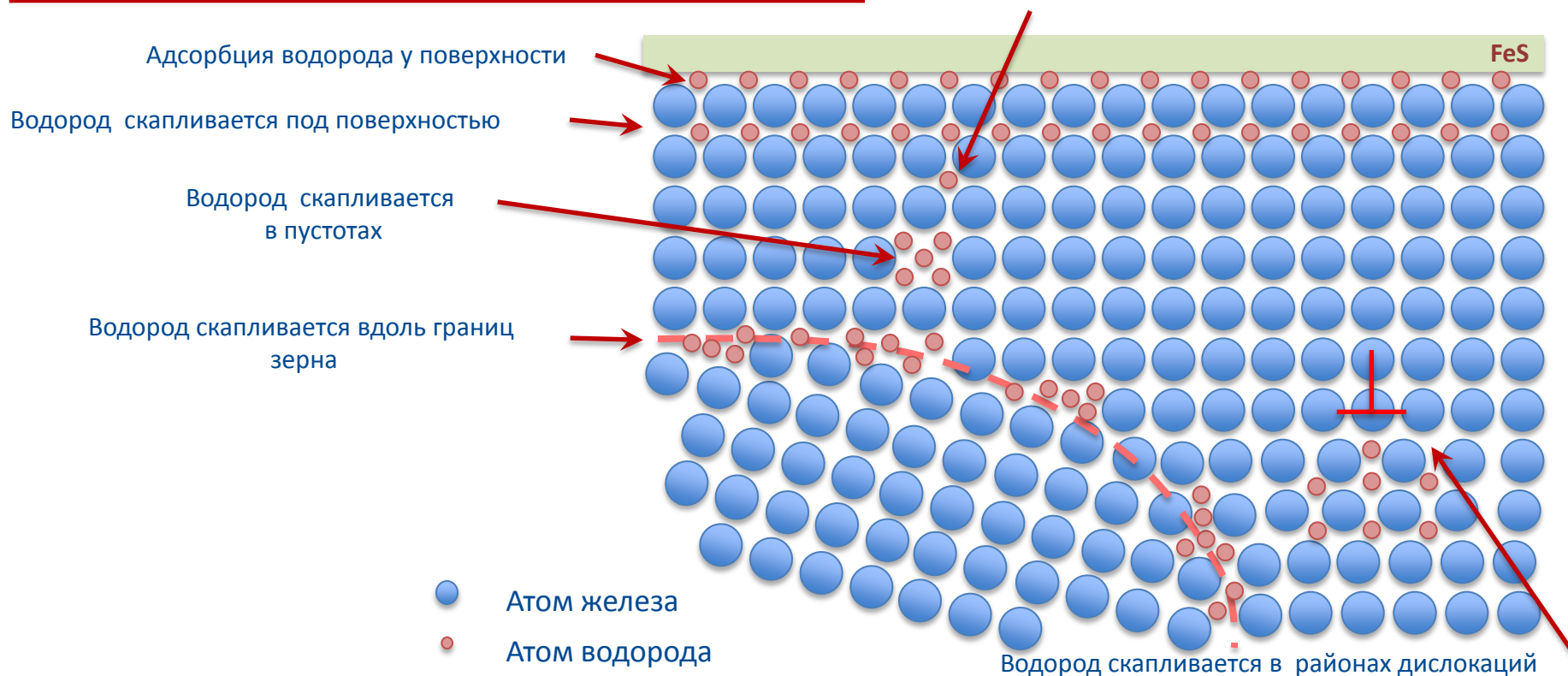
- 1) Обзор механизмов повреждений под воздействием H₂S
- 2) Международный передовой опыт
- 3) Требования к свойствам материалов – Углеродистые стали
- 4) Опыт эксплуатации

КОРРОЗИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СЕРОВОДОРОДА

Повреждаются те области, в которых накапливается водород: **Водородное охрупчивание** (потеря трещиностойкости)



Водород занимает пустые пространства в решётке

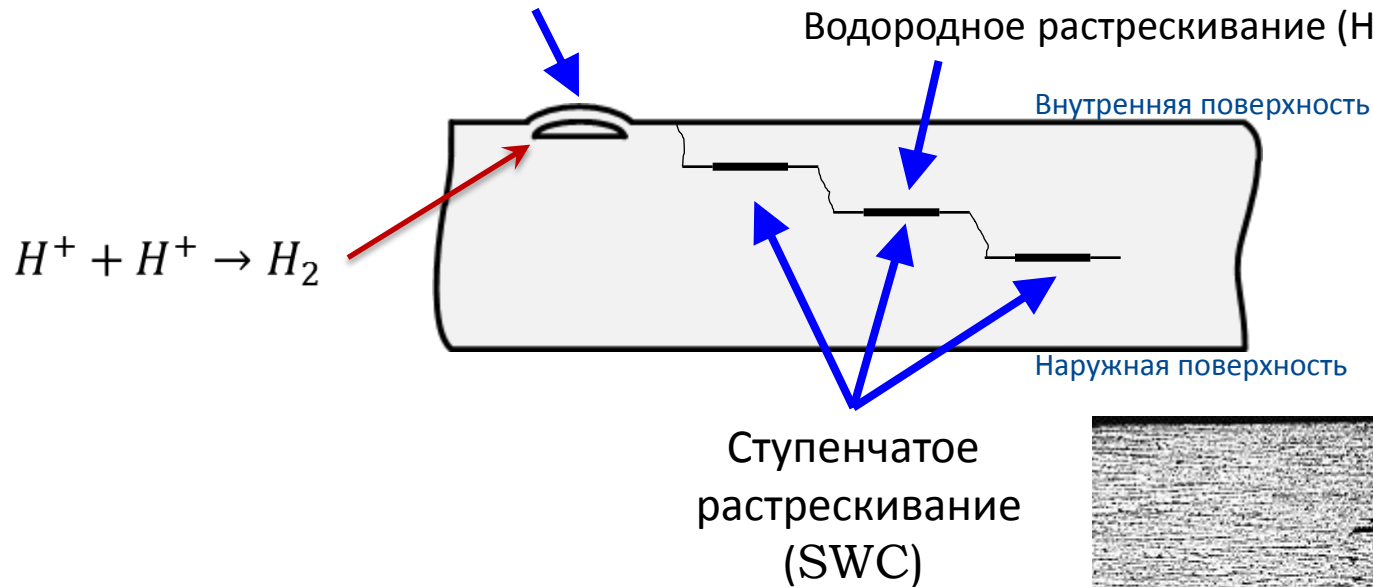




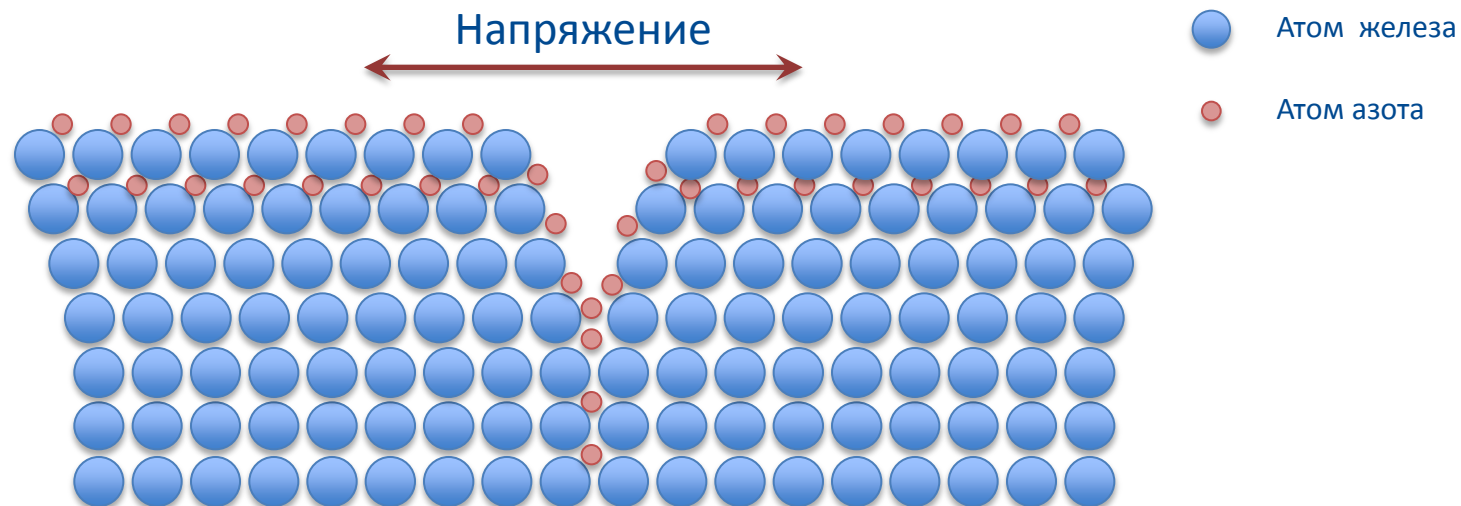
Водородное вздутие



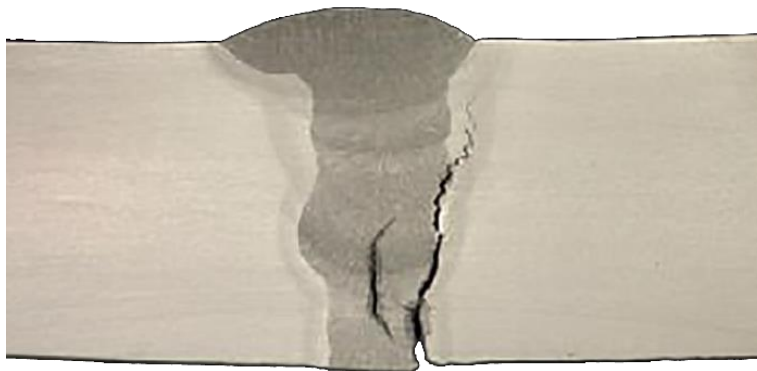
Водородное растрескивание (HIC)



ПОВРЕЖДЕНИЯ СВЯЗАННЫЕ С НАПРЯЖЕНИЕМ



Сероводородное растрескивание под напряжением (SSC)



ПОВРЕЖДЕНИЯ СВЯЗАННЫЕ С НАПРЯЖЕНИЕМ

Растрескивание мягкой зоны (SZC) обычно связано со сварными соединениями, особенно в зоне термического влияния.

Данный участок обычно включает в себя разные типы микроструктур, при этом некоторые участки тверже и прочнее, а другие – мягче и хрупче.

В таких случаях мягкие зоны могут подвергнуться напряжению, превышающему предел текучести.



Водородное растрескивание, ориентированное по напряжению (SONIC) похожа на **Ступенчатое растрескивание (SWC)** но обычно происходит в зоне термического влияния сварных швов, и часто связано с растрескиванием мягких зон.

ВЫВОДЫ

- 1) Существует несколько различных типов повреждений, которые могут произойти в сероводородной среде;
- 2) Следующие типы повреждений не зависят от напряжения или от твердости:
 - *Водородное охрупчивание*
 - *Водородное растрескивание(HIC)*
 - *Ступенчатое растрескивание (SWC)*
- 3) Следующие типы повреждений зависят от напряжения и твердости:
 - *Сероводородное растрескивание под напряжением SSC*
- 4) Следующие механизмы зависят от напряжения, но не зависят от твердости:
 - *Мягкая зона растрескивания (SZC)*
 - *Водородное растрескивание ориентированное по напряжению SOHIC*

NACE MR 0175

- Впервые опубликованы в 1975
- В настоящее время заменены на ISO 15156



EFC 16: Указания по требованиям к материалам для углеродистых и низколегированных сталей для эксплуатации в средах с содержанием H₂S в нефтегазовой добыче

- Впервые опубликованы в 1995
- 3-е издание опубликовано в 2009



ISO 15156

- Впервые опубликованы в 2001
- 2-е издание опубликовано 2009



	NACE MR 0175	EFC 16	ISO 15156
Водородное вспучивание	X	○	○
Водородное растрескивание (HIC)	X	○	○
Ступенчатое растрескивание (SWC)	X	○	○
Водородное охрупчивание	X	X	X
Сероводородное растрескивание под напряжением(SSC)	●	●	●
Растрескивание мягкой зоны (PM3)	X	○	○
Водородное растрескивание ориентированное по напряжению (SOHIC)	X	○	○

X — не упомянуто в данном документе

○ — только общие (не специфические) указания

● — даются специфические указания

- 1) Максимально допустимая твердость = 22 HRC (твёрдость по шкале С Роквелла)
- 2) Режим Термообработки (горячая прокатка, нормализация, закалка и отпуск)
- 3) Учёт результатов испытаний на Водородное Растрескивание

Примечания:

- Операторы трубопроводов признают, что простое соответствие стандартам ISO 15156 не гарантирует максимальной стойкости к повреждениям от H₂S.
- Оператор Компании используют подобные, но не идентичные дополнительные меры , такие как контроль химического состава, вакуумную дегазацию, ультразвуковой контроль и тестирования на H₂S (водородное растрескивание, сероводородное растрескивание под напряжением).

ВЫВОДЫ

- 1) Международные нормы и рекомендованные методы предусматривают специальные требования к сероводородному растрескиванию под напряжением (SSC), но для всех других повреждений вызванных сероводородом, предусмотрены только общие руководства.
- 2) Так как конкретные требования отсутствуют, соблюдение лучших международных стандартов не может обеспечить надёжной гарантии устойчивости к :
 - Водородное охрупчивание
 - Водородное растрескивание HIC
 - Ступенчатое растрескивание SWC
 - Водородному растрескиванию ориентированное по напряжению SOHIC
 - Растрескивание мягкой зоны SZC
- 3) Международный передовой опыт не может гарантировать устойчивость к сероводородному растрескиванию под напряжению; (в стандартах содержится специальная статья, в которой сказано, что соответствие стандарту повышает стойкость, но не гарантирует защиту)
- 4) Соблюдение лучшей международной практики не может исключить необходимость в подходящей программы инспектирования.

ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ
СТОЙКОСТЬ К ВОДОРОДНОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ, СТУПЕНЧАТОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ, СЕРОВОДОРОДНОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ И ВОДОРОДНОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ ОРИЕНТИРОВАННОМУ ПО НАПРЯЖЕНИЮ – ТРЕБОВАНИЯ УСТАНОВЛЕННЫЕ В КПО

1. Ограничения по химсоставу:

Элемент	Ограничение
Углерод (C)	0.16
Марганец(Mn)	1.40
Фосфор (P)	0.020
Сера (S)	0.008
Кремний(Si)	0.350
Никель(Ni)	0.200
Хром (Cr)	0.200
Молибден(Mo)	0.200
Медь (Cu)	0.350
Алюминий(Al)	0.015 – 0.050
Кальций(Ca)	0.006
Азот(N)	0.012
Ниобий(Nb)	0.040
Титан(Ti)	0.025
Ванадий(V)	0.015 – 0.050
Бор (B)	0.0005
Nb + V	0.015 – 0.060
углеродный эквивалент(CE _{IIW})	0.38
углеродный эквивалент(CE _{PCM})	0.19

$$C.E.= C + \frac{M_n}{6} + \frac{C_r + M_o + V}{5} + \frac{N_i + C_u}{15}$$

$$P_{cm} = C + \frac{Si}{6} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

- 2. Вакуумная дегазация
- 3. Максимальная твёрдость = 230 Нv
- 4. Минимальная температура отпуска = 720°С
- 5. Выполнить испытание растрескивания под воздействием водорода
- 6. “Z” Качественная сталь
- 7. Ультразвуковое инспекция(пластины и трубы)

Примечания:

Оптимизировать стойкость к водородному растрескиванию
Оптимизировать устойчивость к сероводородному растрескиванию под напряжением
Оптимизировать устойчивость как к водородному растрескиванию так и к сероводородному растрескиванию под напряжением.



ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ

УСТОЙЧИВОСТЬ К СЕРОВОДОРОДНОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ, ВОДОРОДНОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ ОРИЕНТИРОВАННОМУ ПО НАПРЯЖЕНИЮ И РАСТРЕСКИВАНИЮ МЯГКИХ ЗОН– ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ В КПО

Устойчивость к сероводородному растрескиванию под напряжением :

1. **Ограничение твердости** (ферритные стали – не выше 230 Hv./сварные соединения не выше 248 Hv.)
2. Контроль термообработки (минимальная температура отпуска 700°C)
3. Термообработка после сварки при 650°C
4. Испытания на закаливаемость
5. Испытания на свариваемость

Устойчивость к водородному растрескиванию ориентированному по напряжению и РАСТРЕСКИВАНИЮ МЯГКИХ ЗОН

1. Термообработка после сварки при 650°C

Примечание: **требование ISO 15156** ; Требование КПО

Выводы

1. Передовые Международные стандарты и практика предусматривают только основные принципы **обработки материалов** (обычно ограничиваясь только методами определения твёрдости и общей термообработки).
2. Следовательно, не достаточно строго следовать требованиям международных стандартов по химической обработке и **технологии производства**, чтобы обеспечить сопротивление всем видам сероводородного повреждения
3. Требуются дополнительные технические данные материала, чтобы обеспечить технологичность трубопровода и целостность трубопровода на протяжении «всего срока эксплуатации».