ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

# Риски применения высокопрочных материалов для внутрискважинного оборудования в коррозионно-активных средах

Докладчик:
Инженер отдела исследований металлопродукции
Костин Дмитрий Владимирович

# Цель и объекты исследования

**Цель работы:**
Выявление зависимости преждевременного разрушения внутрискважинного оборудования от свойств материалов и коррозионной активности эксплуатационных сред.

**Задачи:**
- Определение физико-механических свойств материалов внутрискважинного оборудования;
- Определение коррозионной активности эксплуатационных сред;
- Определение влияния коррозионно-активных сред на материалы с высокими прочностными характеристиками.

# Муфта НКТ Ø73мм гр. пр. Д по ГОСТ 633-80 после эксплуатации на Волго-Уральских месторождениях

### Общий вид объекта исследования






### Результаты химического анализа металла муфты

| Массовая доля элементов, % | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | Al | P | S |
| 0,30 | 0,26 | 0,96 | 0,92 | 0,045 | 0,40 | 0,013 | 0,0079 | 0,004 |
| Сталь 32ХГМА по ГОСТ 4543-2016 | | | | | | | | |
| 0,31 - 0,34 | 0,30 – 0,45 | 0,75 – 0,95 | 0,95 - 1,10 | - | 0,30 - 0,40 | 0,01 - 0,045 | ≤0,035 | ≤ 0,035 |

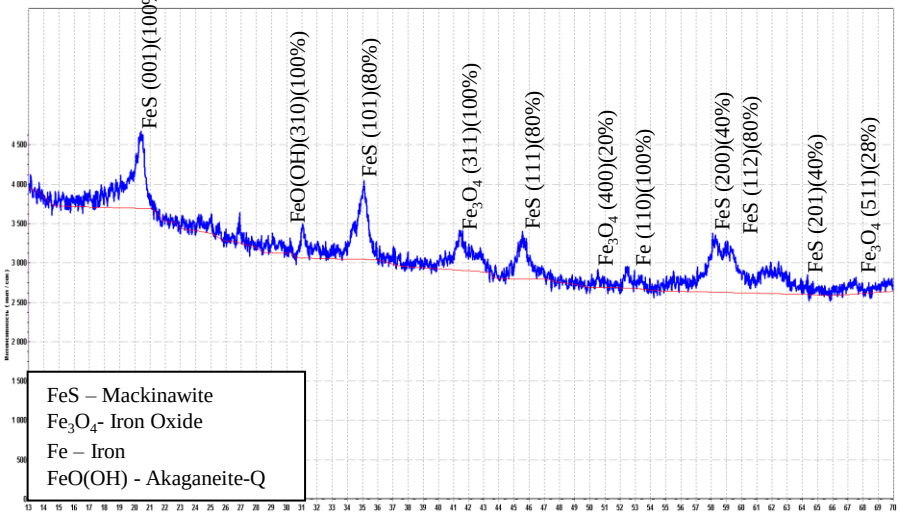
### Прочностные свойства объекта исследования

| Твердость по ГОСТ 9013, HRC | | | Одноосное растяжение по ГОСТ 1497 Цилиндрические образцы | | |
|---|---|---|---|---|---|
| наруж. | центр. | внутр. | σв, МПа | σт, МПа | δ, % |
| 37 | 36,9 | 36,9 | 1105 | 1025 | 15,3 |

### Результаты энергодисперсионного анализа продуктов коррозии

| Точка измерения | Содержание химических элементов, вес. % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | Si | O | Mn | Cr | Fe | S |
| 1 | 5.02 | - | 6.15 | 0.85 | 1.09 | Ост. | 19.52 |
| 2 | 7.51 | 0.32 | 5.22 | 6.54 | 1.07 | Ост. | 15.43 |

### Результаты рентгенофазового анализа продуктов коррозии



# Подвесной патрубок 73Вх73В гр. пр. Е по ГОСТ 633-80 после эксплуатации на Волго-Уральских месторождениях

**Вид излома объекта исследования**




**Результаты химического анализа**

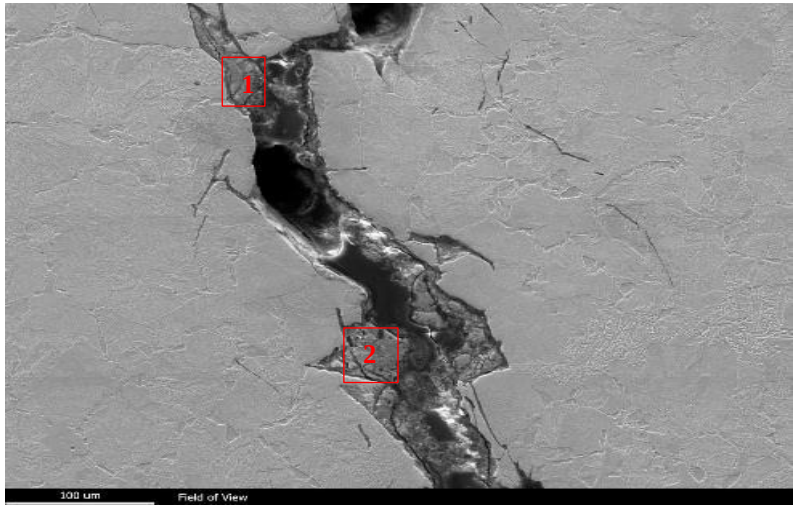
| Массовая доля элементов, % | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | P | S |
| 0,33 | 0,46 | 1,40 | 0,23 | 0,26 | 0,04 | 0,005 | 0,009 |
| Сталь 35Г2 по ГОСТ 1050-2013 | | | | | | | |
| 0,31 – 0,39 | 0,17 – 0,37 | 1,40 – 1,80 | ≤0,3 | ≤0,3 | ≤0,15 | ≤0,030 | ≤0,035 |

**Прочностные свойства объекта исследования**

| Твердость по ГОСТ 9013, HRC | | | Одноосное растяжение по ГОСТ 1497 Цилиндрические образцы | | |
|---|---|---|---|---|---|
| наруж. | центр. | внутр. | σв, МПа | σт, МПа | δ, % |
| 27,9 | 28,1 | 27,8 | 985 | 685 | 16 |

**Результаты энергодисперсионного анализа продуктов коррозии**

| Точка измерения | Содержание элементов, вес. % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | C | O | S | Mn | Fe |
| 1 | 21,20 | 11,90 | 17,43 | 0,60 | Ост. |
| 2 | 10,75 | 25,13 | 7,71 | 0,61 | Ост. |



# НКТ Ø114х9,65 мм, гр. пр. С90 тип 1 по API Spec 5CT после эксплуатации на месторождениях Республики Узбекистан

**Вид излома объекта исследования**




**Результаты химического анализа**

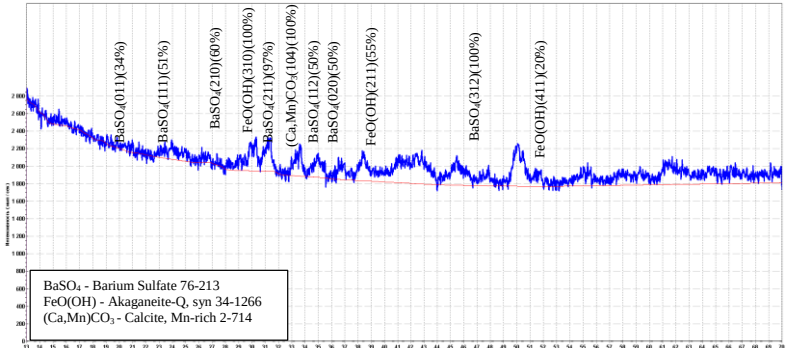
| Массовая доля элементов, % | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | P | S |
| 0,31 | 0,23 | 0,81 | 0,97 | 0,15 | 0,29 | 0,008 | 0,002 |
| Требования API Spec 5CT к группе прочности С90 тип 1 | | | | | | | |
| ≤0,35 | - | ≤1,20 | ≤1,50 | ≤ 0,99 | ≤ 0,85 | ≤ 0,02 | ≤ 0,01 |

**Прочностные свойства объекта исследования**

| Твердость по ГОСТ 9013, HRC | | | Одноосное растяжение по ГОСТ 1497 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| наруж. | центр. | внутр. | σв, МПа | σт, МПа | δ, % |
| 34,3 | 34,9 | 34,4 | 1100 | 1020 | 15,5 |

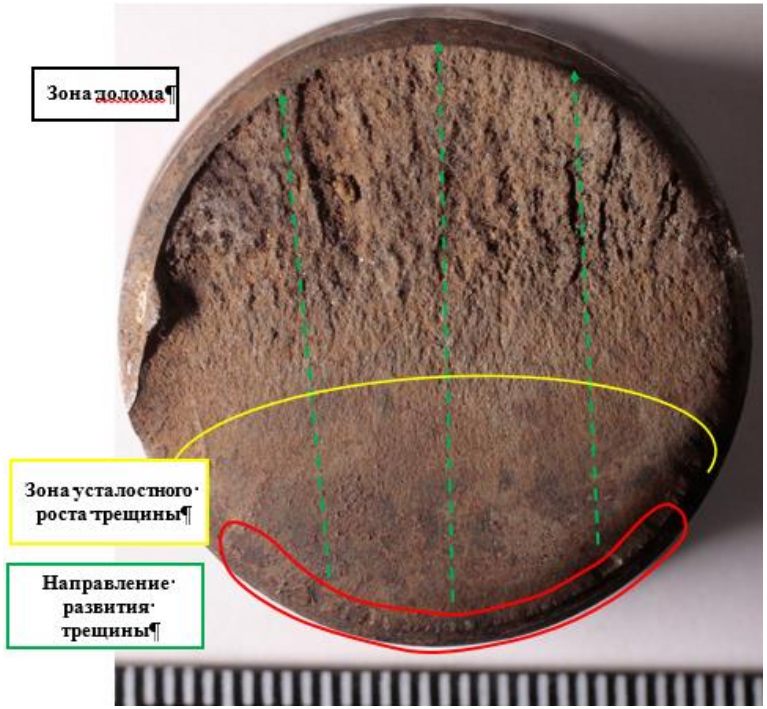
**Результаты энергодисперсионного анализа продуктов коррозии**

| Точка измерения | Содержание химических элементов, вес. % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | Si | O | Cl | Fe | S | Mn |
| 1 | 8.49 | 4.28 | 26.96 | 0.74 | Ост. | 8.32 | - |
| 2 | 7.91 | 1.10 | 25.36 | - | Ост. | 11.60 | 4.06 |
| 3 | - | - | - | - | Ост. | 38.67 | - |
| 4 | 4.82 | - | 25.98 | 0.59 | Ост. | 8.22 | 0.49 |



# Устьевой шток ШСУ-31-22-8000 гр. пр. Д по ТУ 28.99.39.190-12058648-2019 после эксплуатации на месторождениях Волго-Уральских месторождениях

**Вид излома объекта исследования**

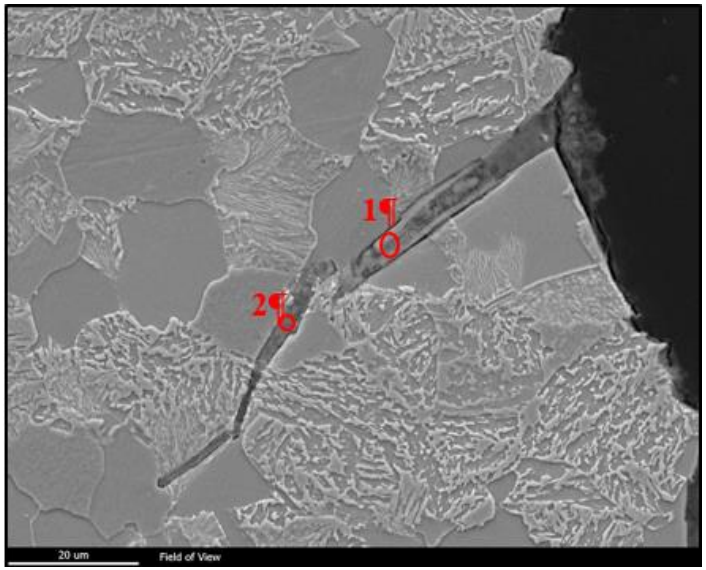



**Результаты химического анализа**

| Массовая доля элементов, % | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | P | S | V | Cu |
| 0,4 | 0,3 | 0,5 | 1,4 | 0,15 | 0,18 | 0,005 | 0,017 | 0,005 | 0,22 |
| Требования ГОСТ 4543-2016 к изделиям из стали марки 30ХМА | | | | | | | | | |
| 0,26 – 0,33 | 0,17 – 0,37 | 0,40 – 0,70 | 0,80 – 1,10 | ≤0,30 | 0,15 – 0,25 | ≤0,025 | ≤0,025 | ≤0,05 | ≤0,30 |

**Прочностные свойства объекта исследования**

| Твердость по ГОСТ 9013, HRC | | Одноосное растяжение по ГОСТ 1497 | | |
|---|---|---|---|---|
| Сечение 1 | Сечение 2 | σв, МПа | σт, МПа | δ, % |
| 28,8 | 28,6 | 925 | 670 | 21,8 |

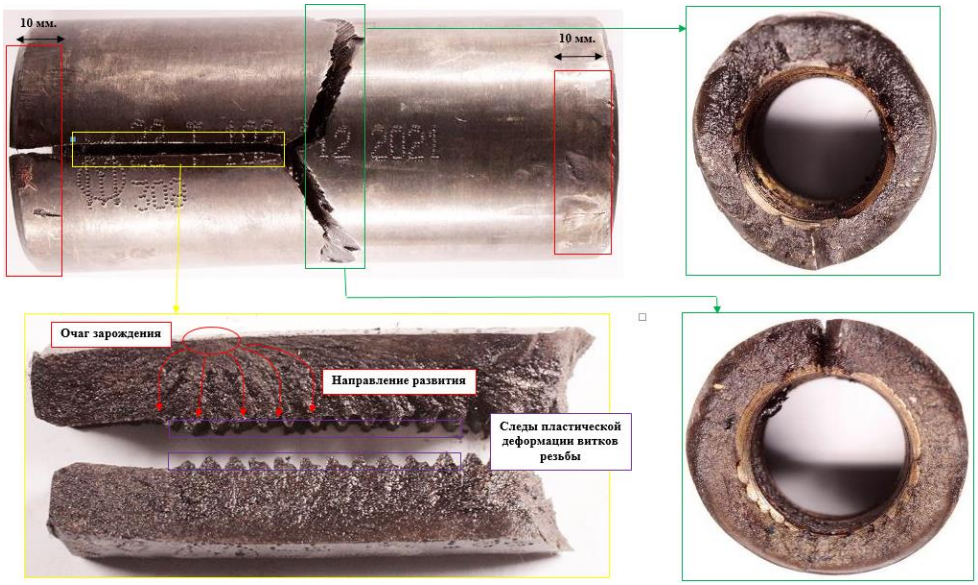



**Результаты энергодисперсионного анализа продуктов коррозии**

| Точка измерения | Содержание элементов, вес. % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | C | O | S | Cr | Fe |
| 1 | 06.93 | 05.04 | 30.45 | - | Ост. |
| 2 | 38.31 | 03.12 | 15.45 | 00.75 | Ост. |

# Соединительная муфта МШ22 класс пр. Д по ГОСТ 31825-2012 после эксплуатации на Волго-Уральских месторождениях

### Вид излома объекта исследования




### Результаты химического анализа

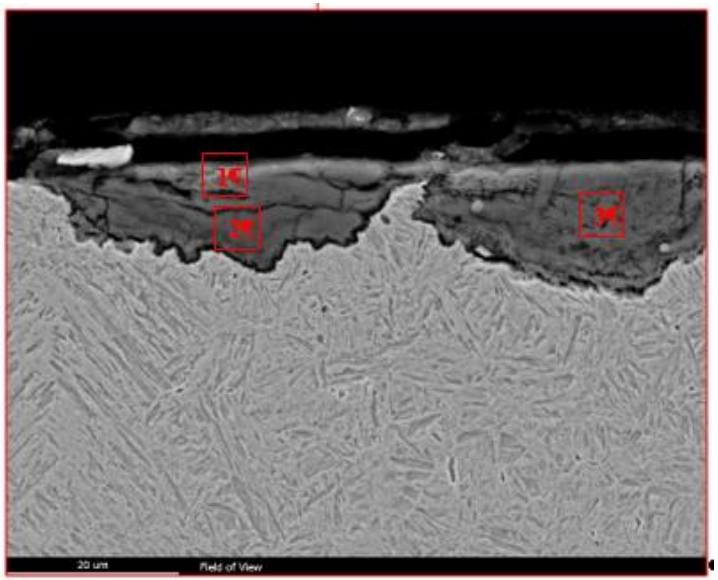
| Массовая доля элементов, % | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | Si | Mn | Cr | Ni | Cu | P | S |
| 0,48 | 0,21 | 0,60 | 0,26 | 0,07 | 0,02 | 0,005 | 0,017 |
| Требования ГОСТ 1050-2013 к стали 45 | | | | | | | |
| 0,42-0,05 | 0,17-0,37 | 0,5-0,8 | ≤0,25 | ≤0,3 | ≤0,3 | ≤0,03 | ≤0,035 |

### Прочностные свойства объекта исследования

| Твердость по ГОСТ 9013, HRC | | | Одноосное растяжение по ГОСТ 1497 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| наруж | центр | внутр | σв, МПа | σт, МПа | δ, % |
| 60,4 | 47,9 | 25,6 | 750 | 377,5 | 13,4 |

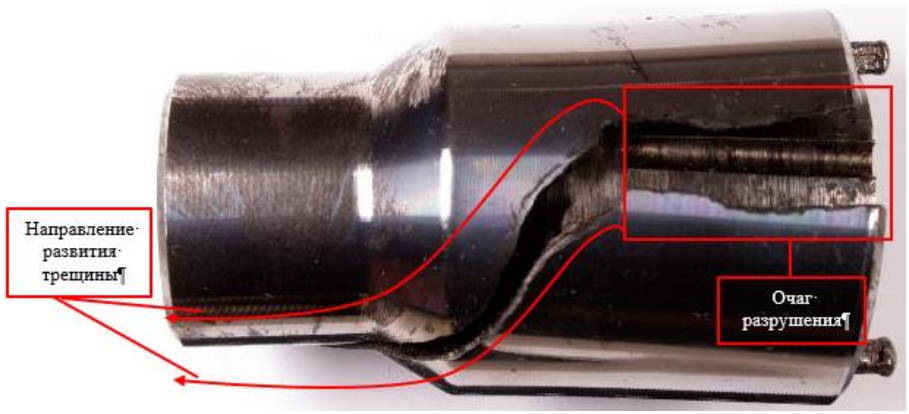
### Результаты энергодисперсионного анализа продуктов коррозии

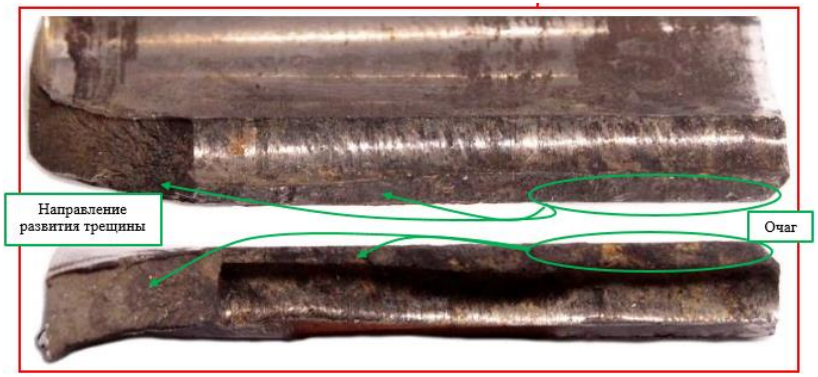
| Точка измерения | Содержание элементов, вес. % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | O | S | Cr | Fe | Si | Cl |
| 1 | 6.06 | 28.18 | 1.30 | - | Ост. | - | 5.96 |
| 2 | 6.98 | 22.83 | 1.81 | 0.84 | Ост. | 0.57 | 5.35 |
| 3 | 5.61 | 26.71 | 1.15 | 0.42 | Ост. | 0.35 | 7.26 |



# Шлицевая муфта 223х253-72к после эксплуатации на Волго-Уральских месторождениях

### Вид излома объекта исследования



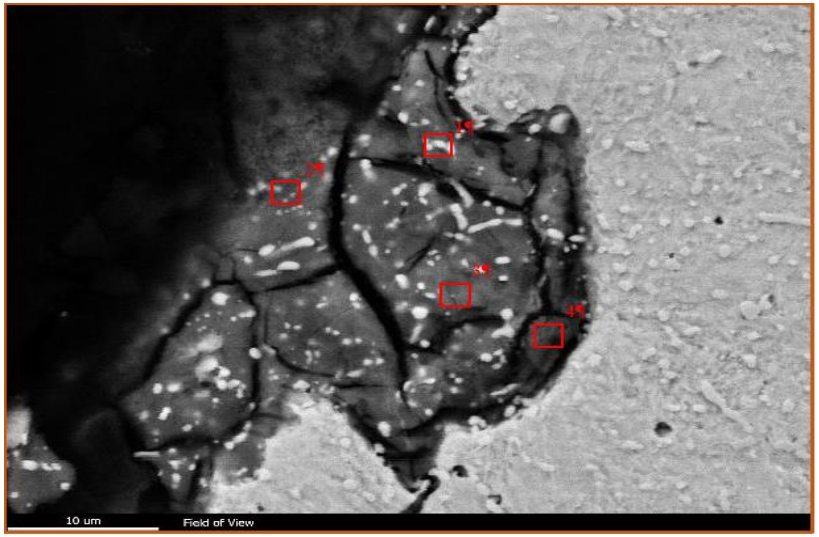




### Результаты химического анализа

| Массовая доля элементов, % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| C | Si | Mn | Cr | P | S |
| 0,48 | 0,21 | 0,60 | 12,69 | 0,005 | 0,017 |
| Требования ГОСТ 5632-2014 к стали марки 40Х13 | | | | | |
| 0,36 – 0,45 | ≤0,80 | ≤0,80 | 12,0 – 14,0 | ≤0,030 | ≤0,025 |

### Прочностные свойства объекта исследования

| Твердость по ГОСТ 9013, HRC | | |
|---|---|---|
| наруж | центр | внутр |
| 36,3 | 35,6 | 34,7 |




### Результаты энергодисперсионного анализа продуктов коррозии

| Точка измерения | Содержание химических элементов, вес. % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | O | S | Si | Cl | Cr | Fe |
| 1 | 5,71 | 18,66 | 1,23 | 0,63 | 2,17 | 43,47 | Ост. |
| 2 | 15,31 | 13,74 | 5,93 | 1,23 | 1,12 | 33,05 | Ост. |
| 3 | 4,05 | 24,92 | 1,36 | 0,52 | 1,74 | 43,31 | Ост. |
| 4 | 21,93 | 21,67 | 4,16 | 0,41 | 3,00 | 27,36 | Ост. |

# Вал УЭЦН Ø 16 мм после эксплуатации на месторождениях Волго-Уральских месторождениях

### Вид излома объекта исследования

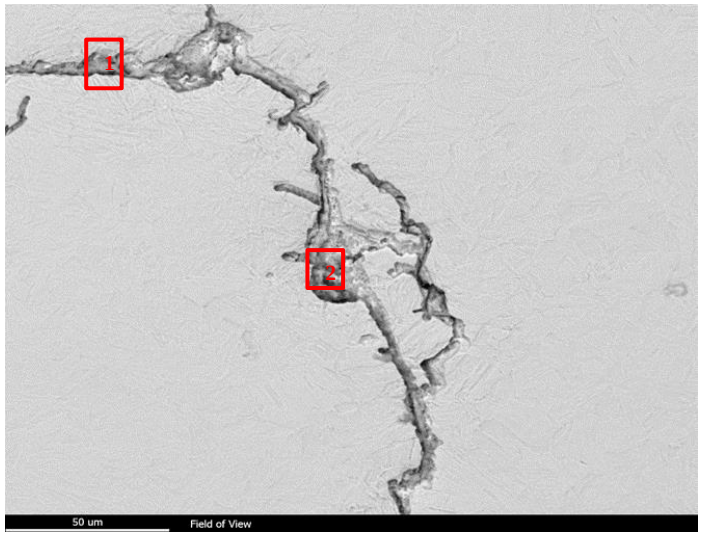



### Результаты химического анализа

| Массовая доля элементов, % | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C | Si | Mn | Cr | Ni | Mo | P | S | Cu | Nb |
| 0,02 | 0,25 | 0,3 | 15,5 | 4,6 | 0,06 | 0,003 | 0,007 | 2,5 | 0,19 |
| Требования к химическому составу стали 05Х16Н4Д2Б | | | | | | | | | |
| <0,07 | <0,8 | <1,8 | 15,0-17,5 | 2,0-5,0 | - | <0,03 | <0,03 | 1,5-3,0 | 0,05-0,5 |

### Прочностные свойства объекта исследования

| Твердость по ГОСТ 9013, HRC | Одноосное растяжение по ГОСТ 1497 | | |
|---|---|---|---|
| | σв, МПа | σт, МПа | δ, % |
| 45 | 1500 | 1475 | 12,3 |




### Результаты энергодисперсионного анализа продуктов коррозии

| Точка измерения | Содержание элементов, вес. % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C | O | S | Cl | Cr | Cu | Fe |
| 1 | 17.11 | 9.45 | 6.65 | 1.53 | 9.61 | 15.21 | Ост. |
| 2 | 8.62 | 3.40 | 9.83 | 1.92 | 8.43 | 38.79 | Ост. |

# ВЫВОДЫ

- Для всех вышеприведенных случаев разрушения оборудования характерна следующая закономерность: высокие прочностные свойства (твердость, временное сопротивление, предел текучести) и эксплуатация в кислых средах в присутствии сероводорода;
- Разрушение представленного оборудование однотипно и проходило по механизму сульфидного коррозионного растрескивания под напряжением, что подтверждается хрупким характером разрушения, вторичными трещинами в области разрушения и наличием сульфидов железа в продуктах коррозии;
- Использование высокопрочных материалов ( твердость более 22 HRC) в коррозионно-активных средах недопустимо и как правило приводит к увеличению числа аварий.
- При выборе материала исполнения оборудования, работа которого предполагается в коррозионно-активных средах с сероводородом ($P_{H2S}$ более 0,3кПа) необходимо руководствоваться рекомендациями приведенными в ГОСТ Р 53679-2009 (ИСО 15156-1:2020) «Нефтяная и газовая промышленность. Материалы для применения в средах, содержащих сероводород, при добыче нефти и газа. Часть 1. Общие принципы выбора материалов, стойких к растрескиванию»; ГОСТ Р 53678-2009, ISO 15156-2:2020 «Нефтяная и газовая промышленность. Материалы для применения в средах, содержащих сероводород, при добыче нефти и газа. Часть 2. Углеродистые и низко-легированные стали, стойкие к растрескиванию, и применение чугунов».

# Спасибо за внимание !

kostin@its-samara.com

its-samara.com