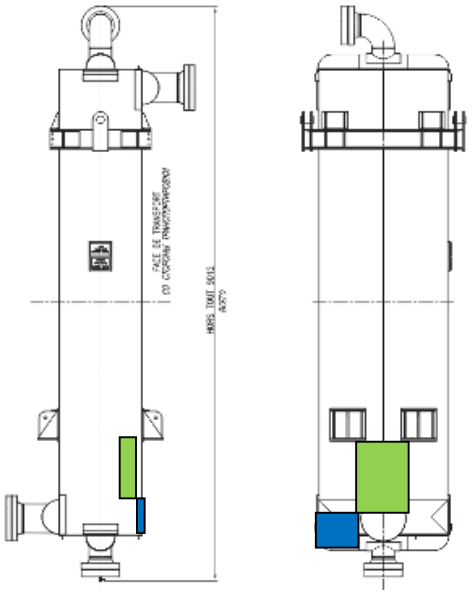
ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

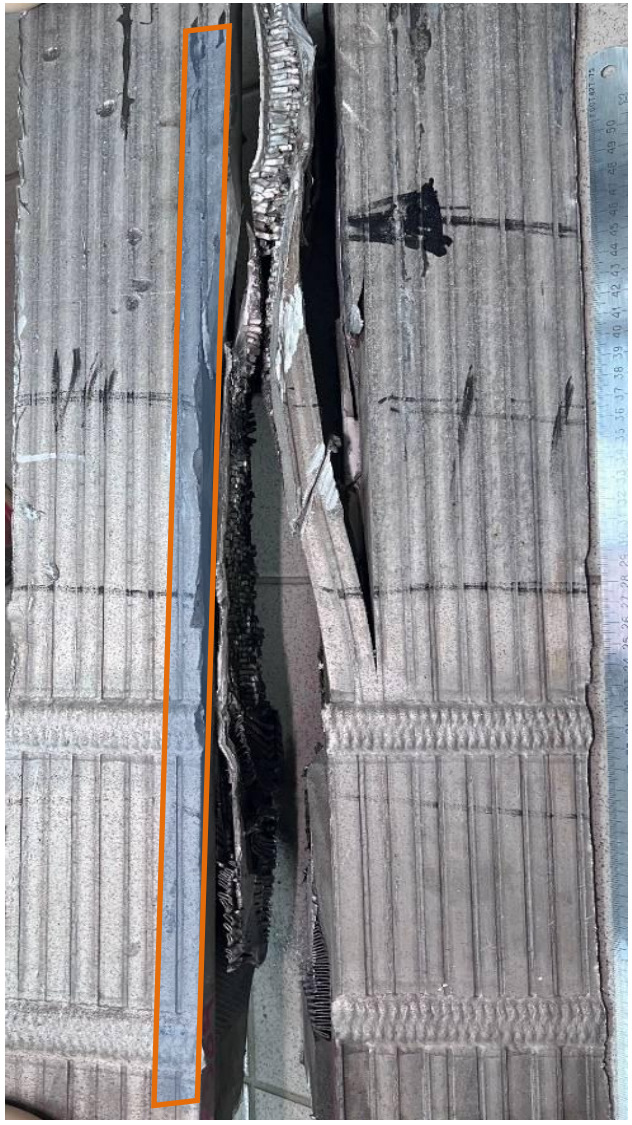
Коррозионно-механическое разрушение алюминиевого пластинчатого теплообменного аппарата

Докладчик:
Руководитель ДСМ ООО «ИТ-Сервис», к.т.н.
Чистопольцева Елена Александровна

Очаг разрушения алюминиевого пластинчатого теплообменного аппарата









Место вырезки образцов для исследования

Химический состав и механические характеристики элементов теплообменного аппарата

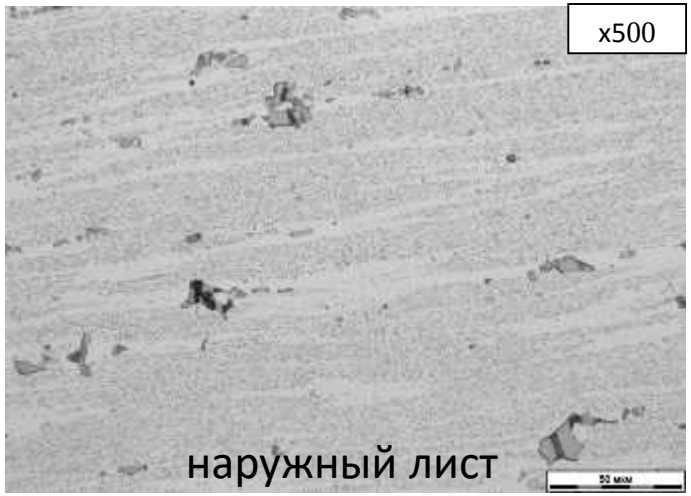
Химический состав

Маркировка	Al	Si	Fe	Mn	Cu
наружный лист	Осн.	0,15	0,3	0,8	0,06
разделительный лист	Осн.	0,16	0,4	0,8	0,08
Требования к материалу из паспорта объекта Сплав АМц (3003)	Осн.	не более 0,2	-	не более 1,1	Не более 0,06

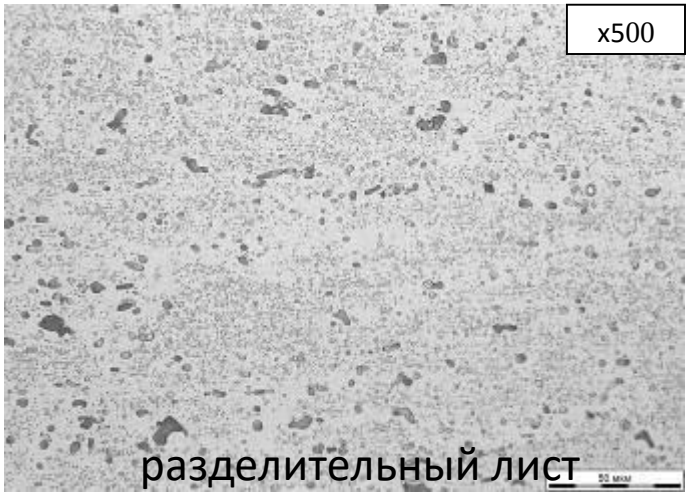
Механические свойства

Маркировка образца	Предел прочности, $\sigma_в$, МПа	Предел текучести, $\sigma_т$ МПа	Относительное удлинение, δ, %
наружный лист	319,3	-	17,9
разделительный лист	113,3	-	29,4
Требования к материалу из паспорта объекта*	От 103-323	24-203	17-54

Микроструктура



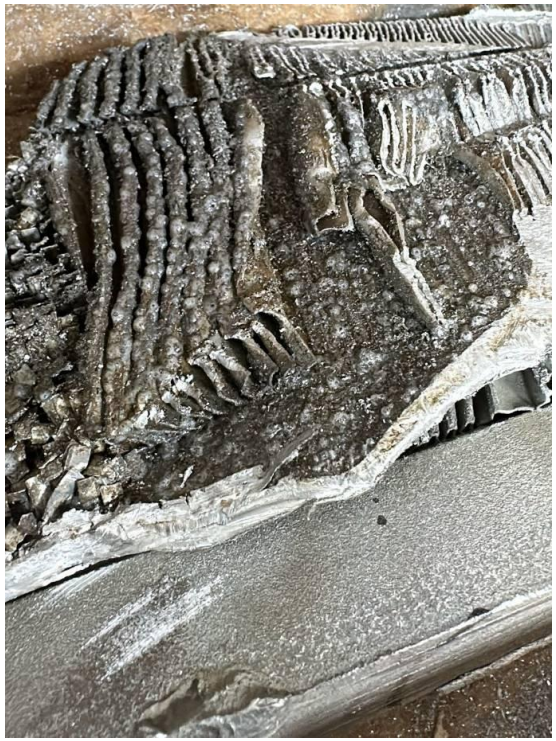
наружный лист



разделительный лист

Поверхность разрушения теплообменного аппарата

Поверхность с каплями жидкости



Поверхность разрушения после высыхания



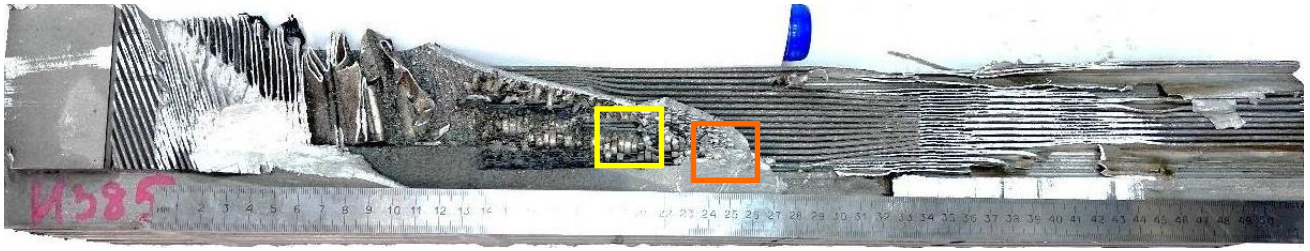
Загрязнения в промежуточных слоях

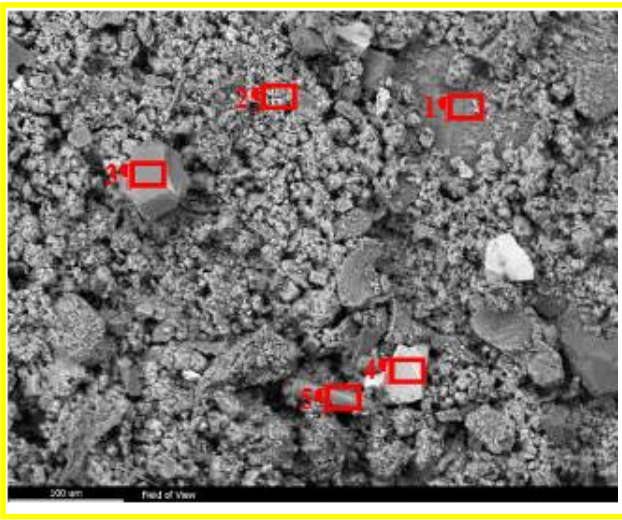


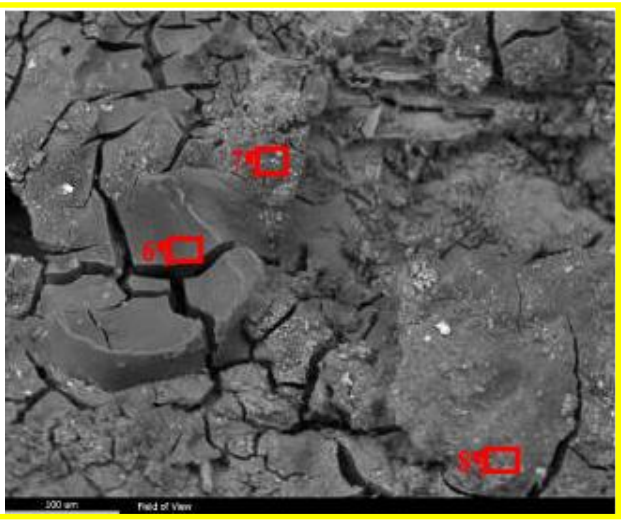


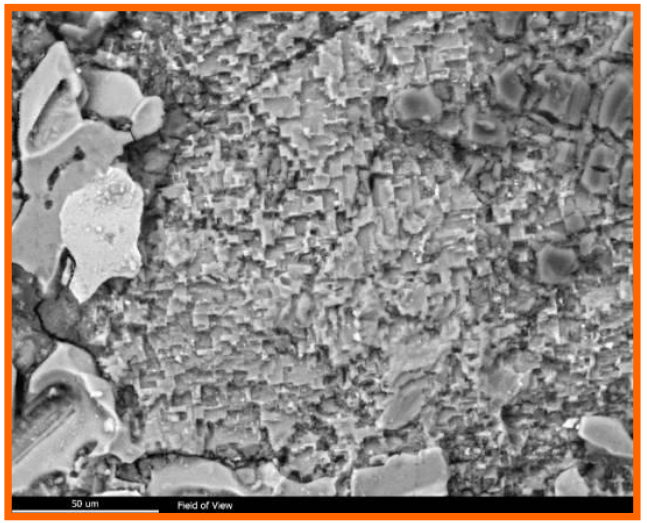
Результаты оценки pH

Продукты коррозии на поверхности разрушения теплообменного аппарата



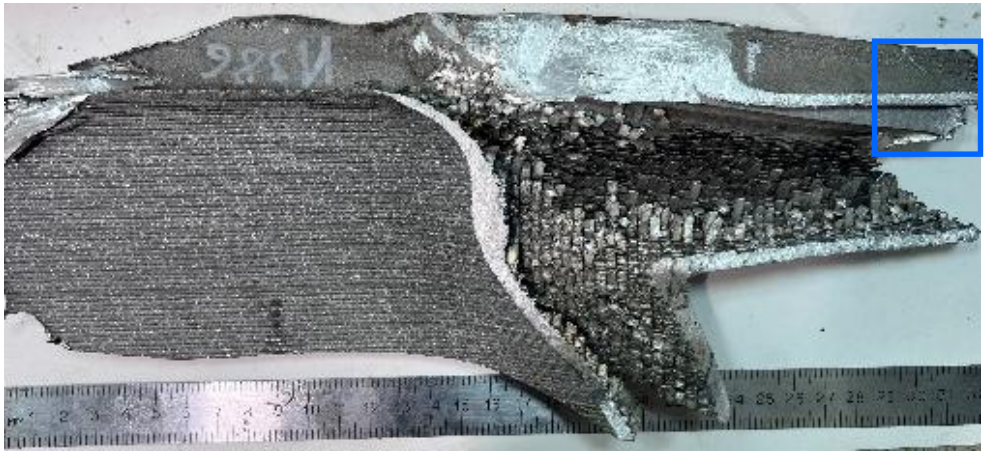


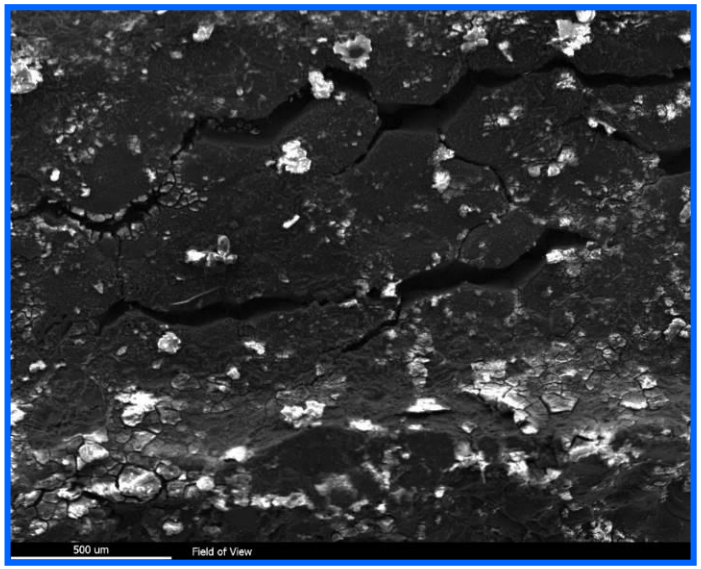


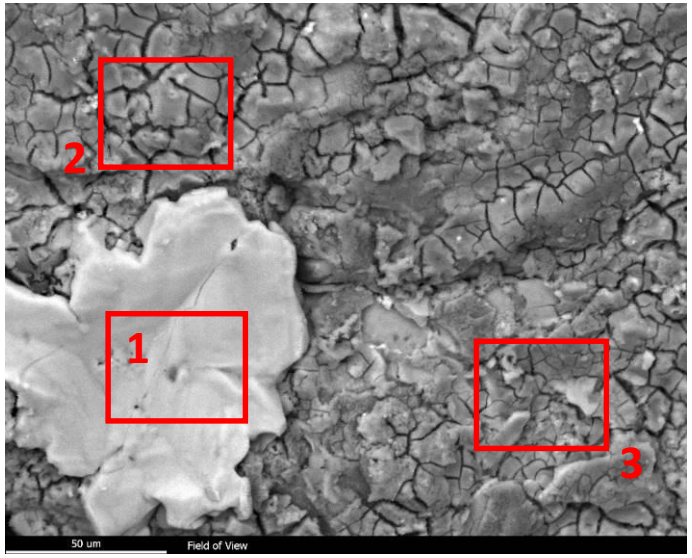


№п/п	C	O	Na	Al	Mg	Si	S	Cl	K	Ca	Fe
1	0	09,31	0	80,66	0	0	0	07,11	0	02,93	0
2	10,14	13,39	08,98	07,78	02,29	01,06	0	39,69	01,55	13,01	02,11
3	0	40,96	0	59,04	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	01,25	0	0	53,29	0	0	0	45,47
5	16,18	30,62	04,79	07,56	01,46	12,27	0	15,94	00,62	09,26	01,30
6	13,59	35,31	0	12,67	0	0	0	26,79	0	02,31	09,33
7	09,40	36,86	00,96	15,92	00,94	0	01,25	09,69	0	03,04	21,95
8	15,30	43,22	01,12	16,22	00,88	0	00,76	09,98	0	03,35	09,16

Продукты коррозии на поверхности разрушения теплообменного аппарата



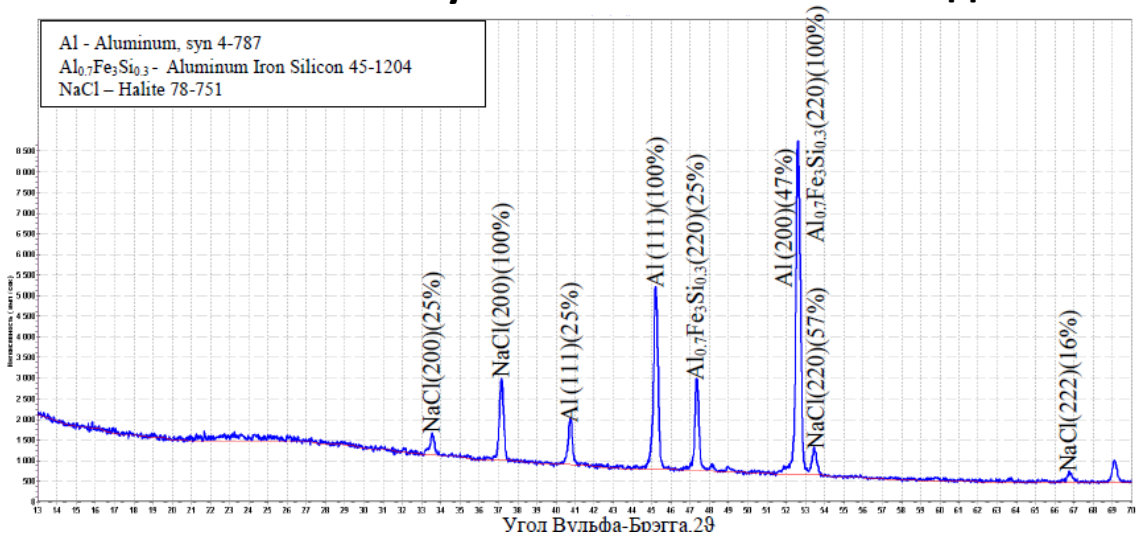




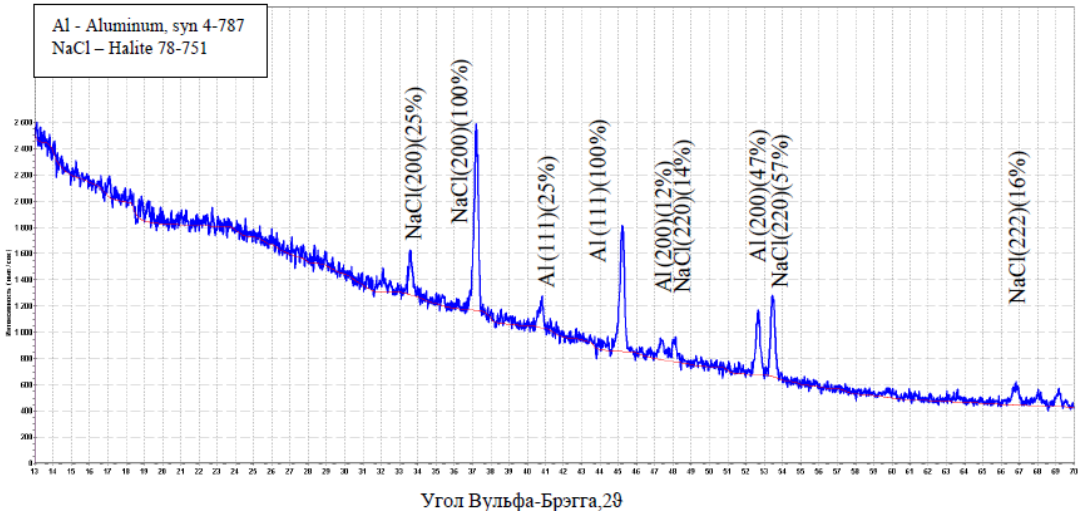
№п/п	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe
1	0	0	37,09	0	0	0	62,91	0	0	0
2	06,55	29,57	01,11	04,90	27,67	01,90	11,14	00,98	12,87	03,31
3	06,78	24,93	0	01,39	22,42	34,55	05,08	0	04,85	0

Продукты коррозии на поверхности разрушения теплообменного аппарата

Фазовый состав сухого остатка капель жидкости

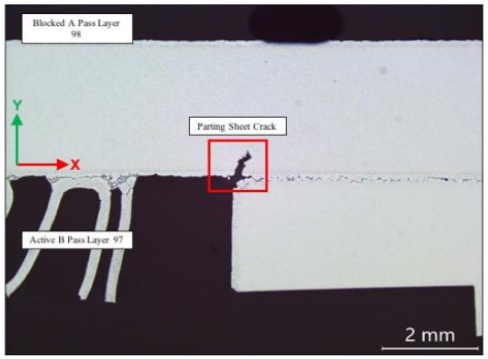


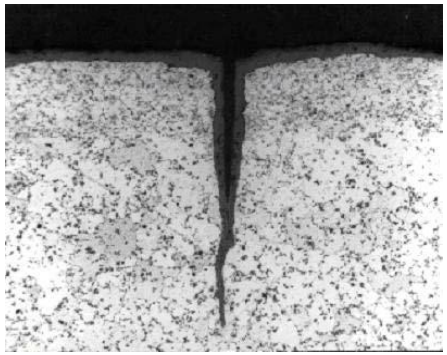
Фазовый состав с поверхности ламелей

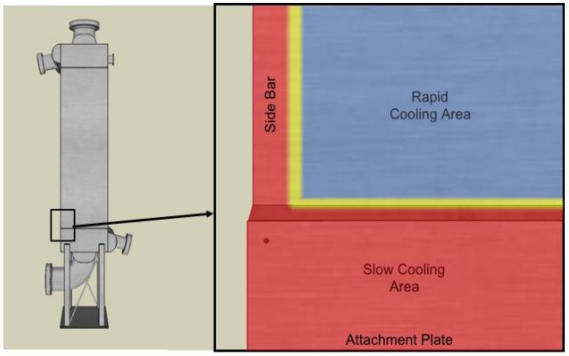


Гипотеза о термическом ударе как основной причине разгерметизации

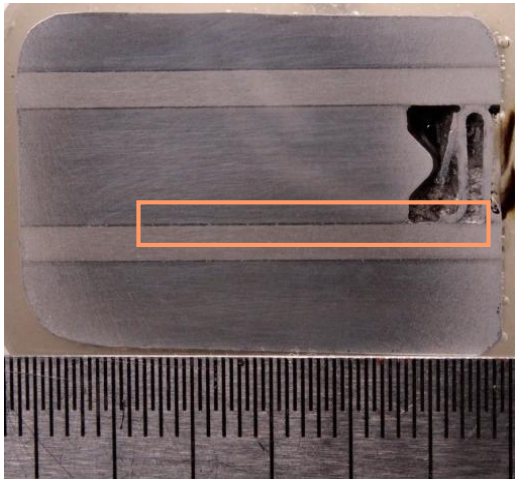
Примеры трещин термической усталости

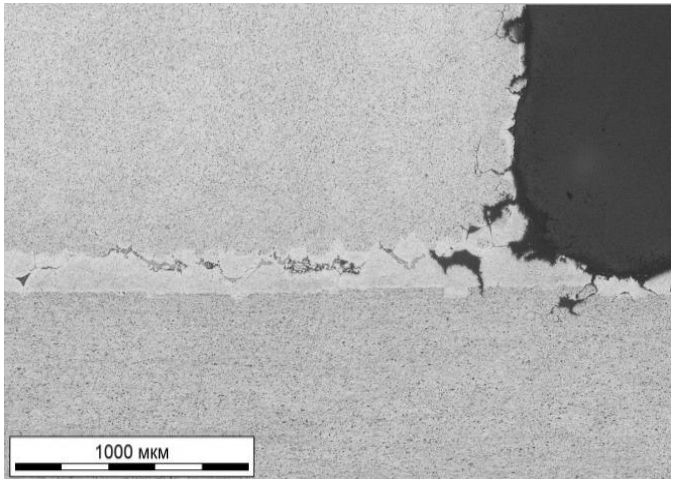


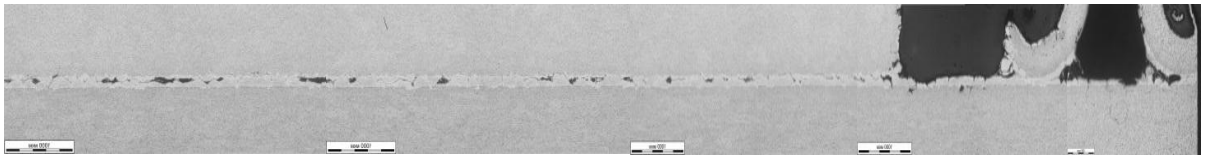


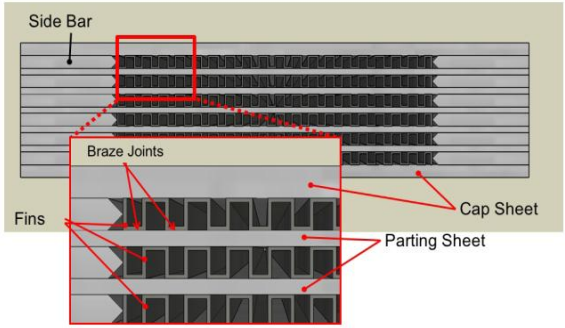


Выявленные трещины в зоне паяных соединений





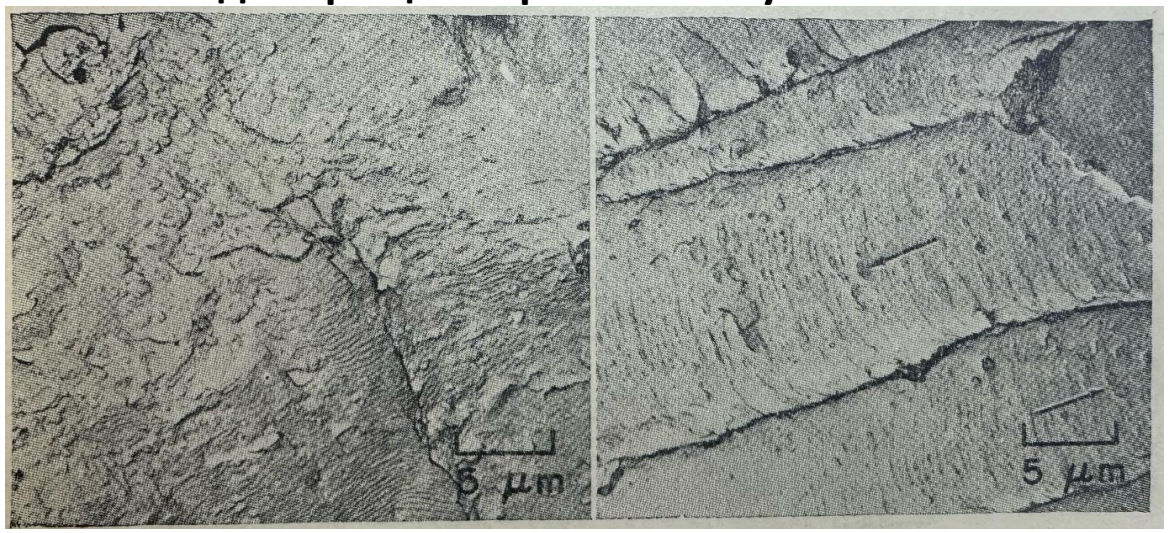




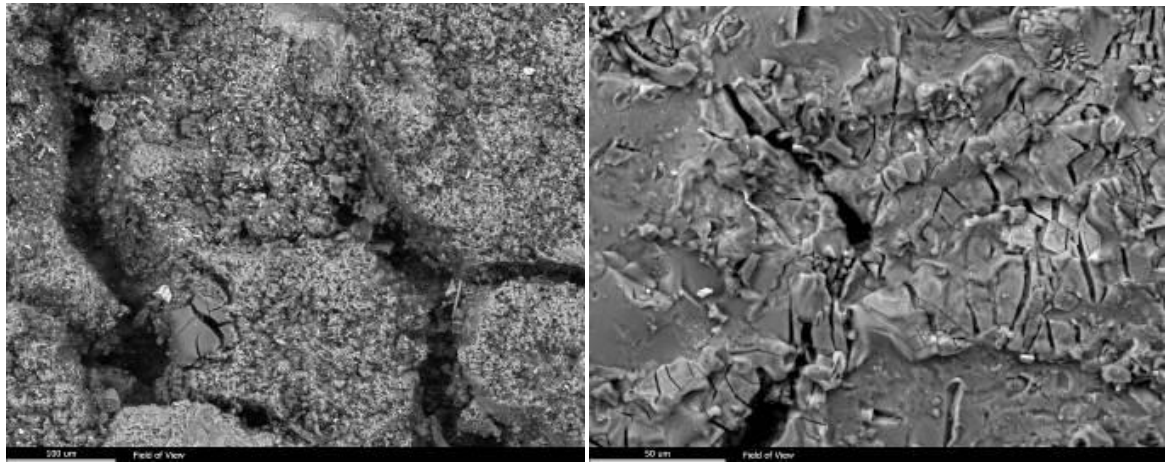
Разделительный лист с максимальной разностью по температуре

Гипотеза о термическом ударе как основной причине разгерметизации

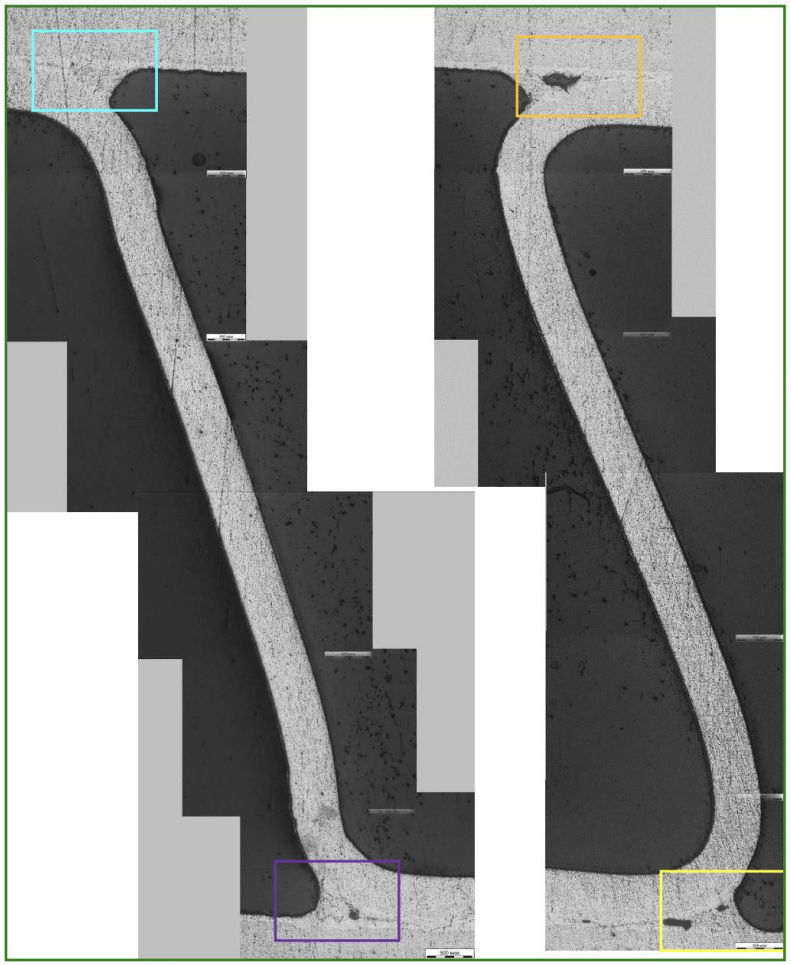
Поверхности разрушения с бороздками, характерные для трещин термической усталости

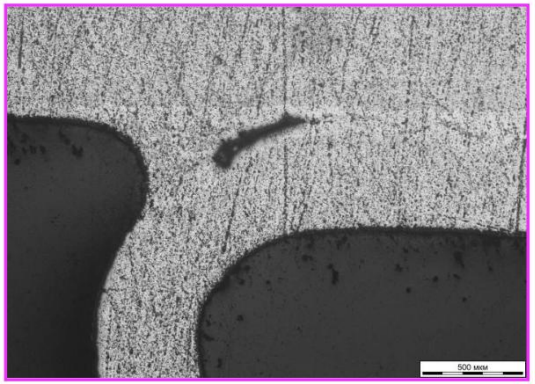


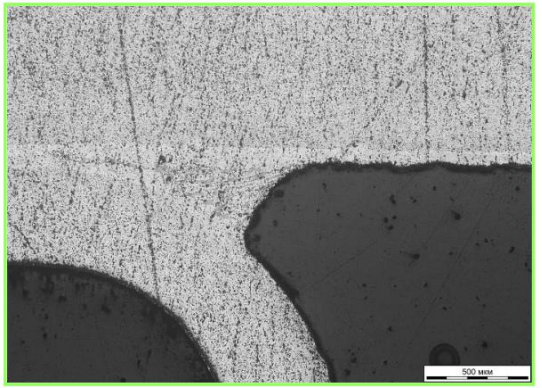
Поверхность исследуемого разрушения



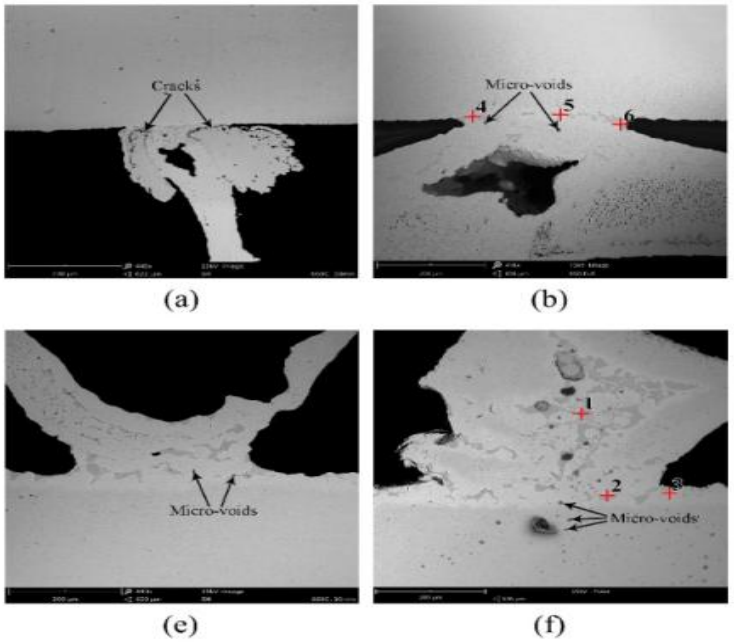
Дефекты паяных соединений





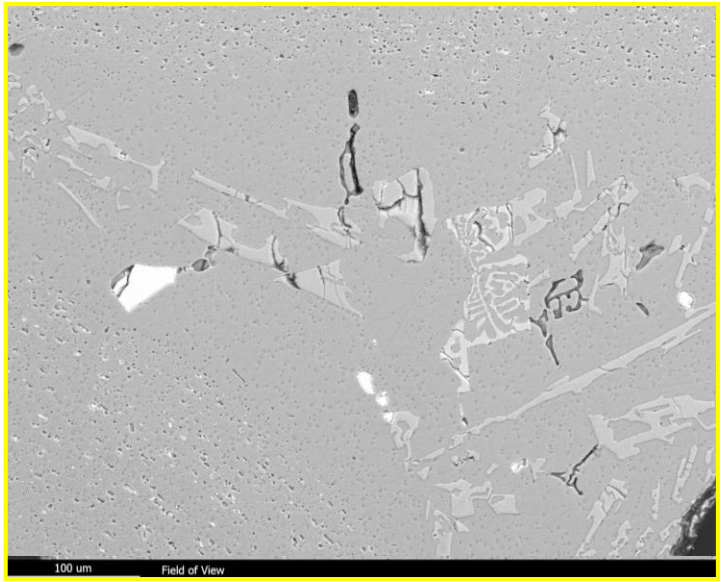


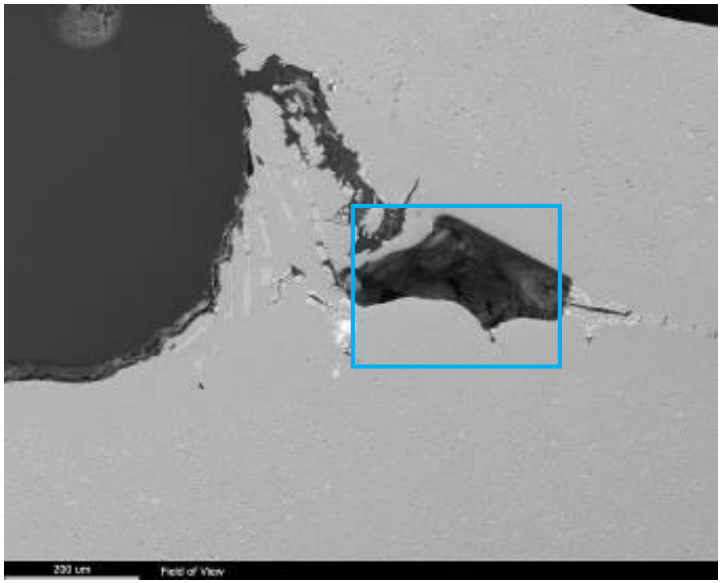
Пример дефектов из литературы

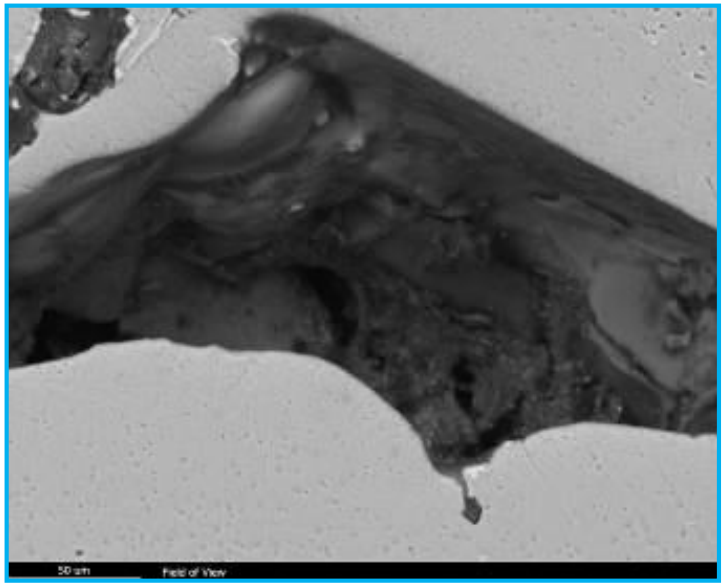


Структура паяных соединений

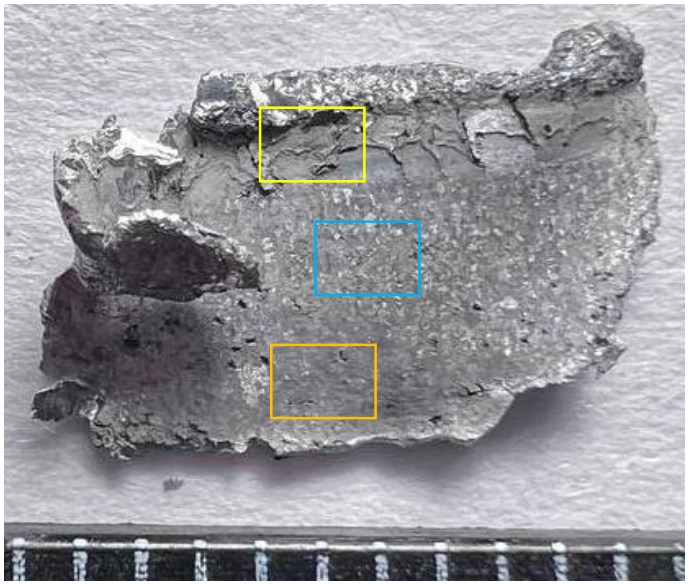


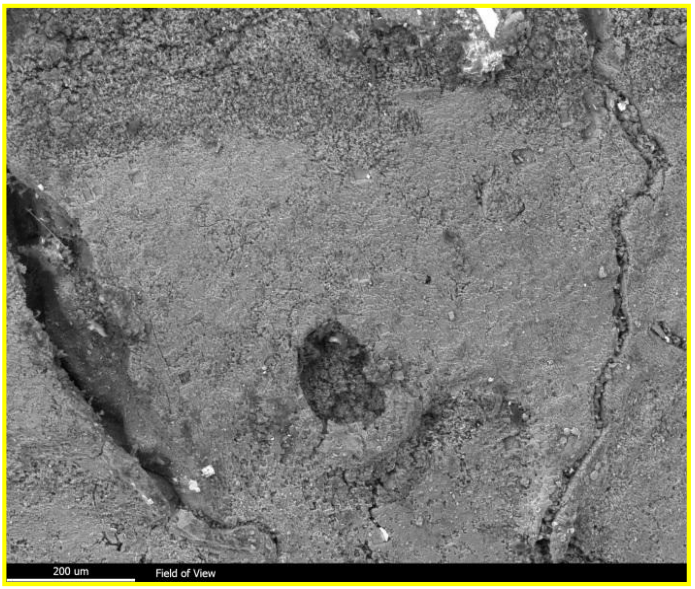


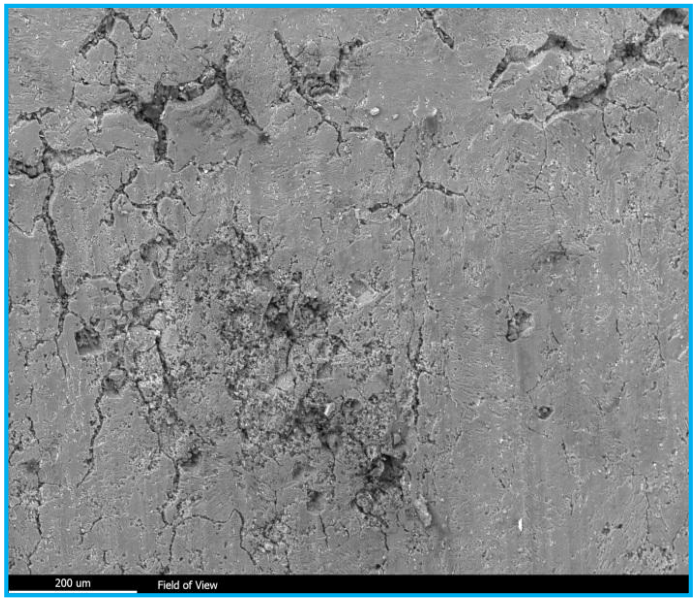


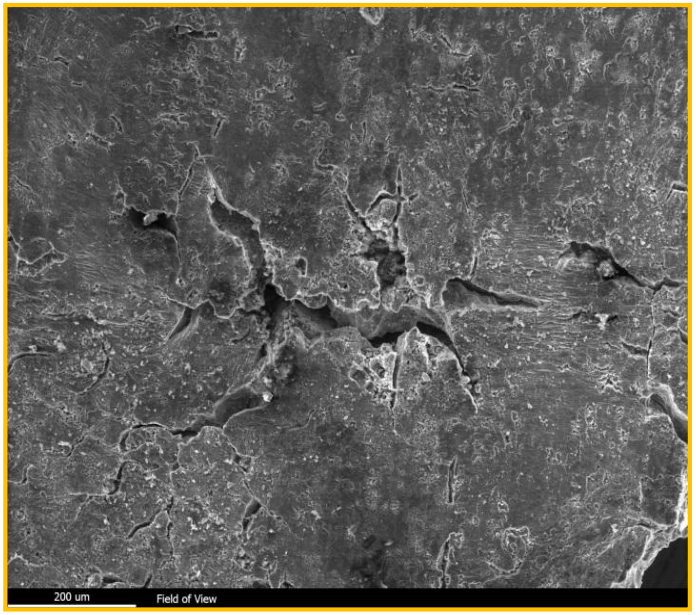


Межкристаллитная гальваническая коррозия

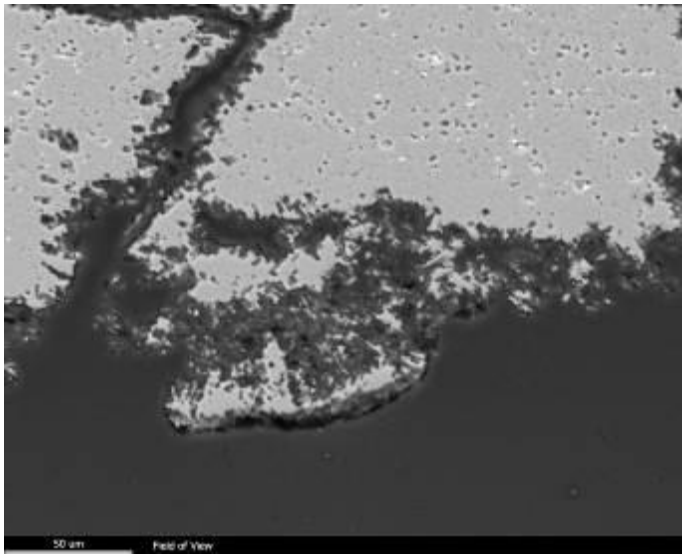




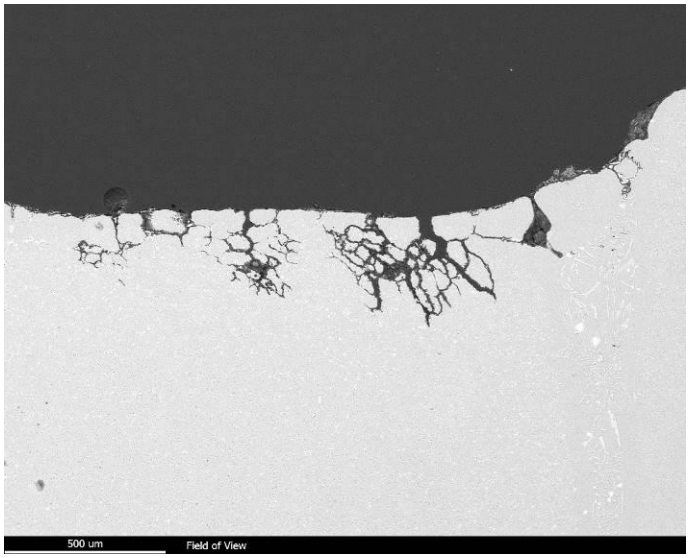


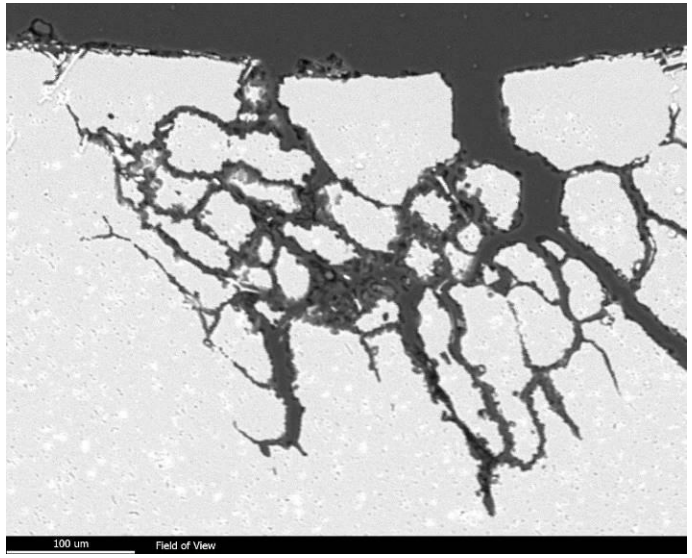


Межкристаллитная гальваническая коррозия

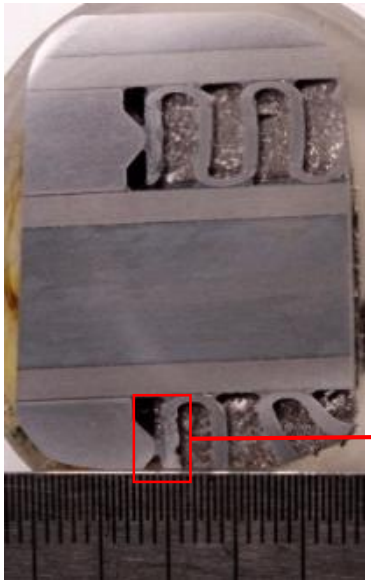


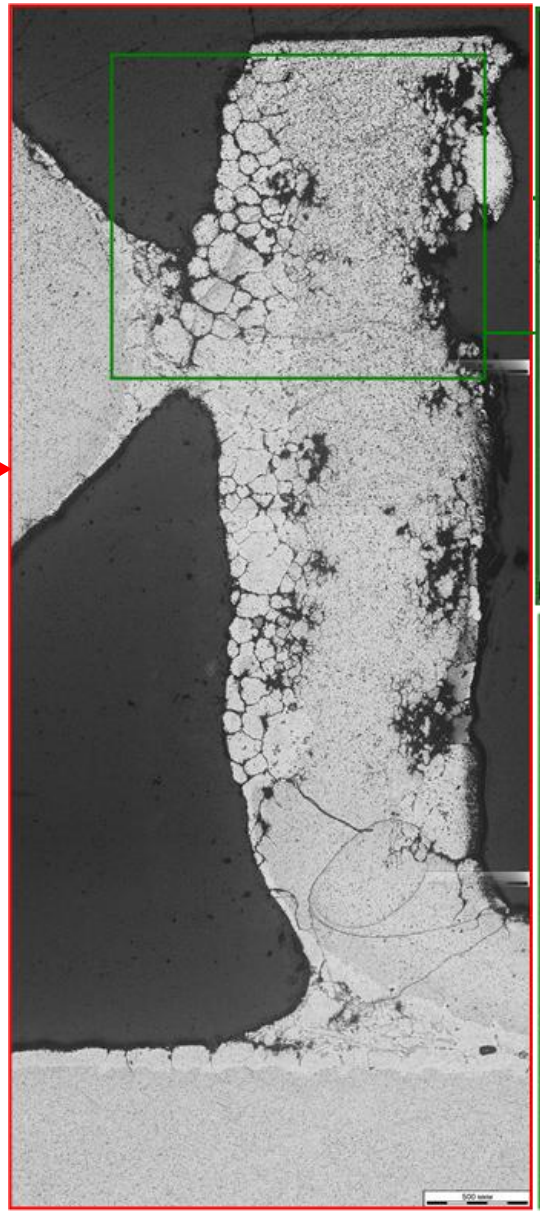


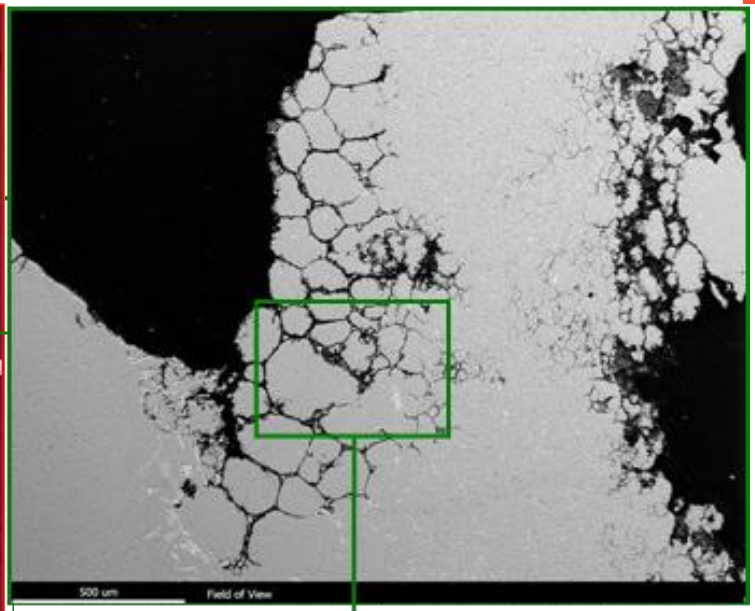


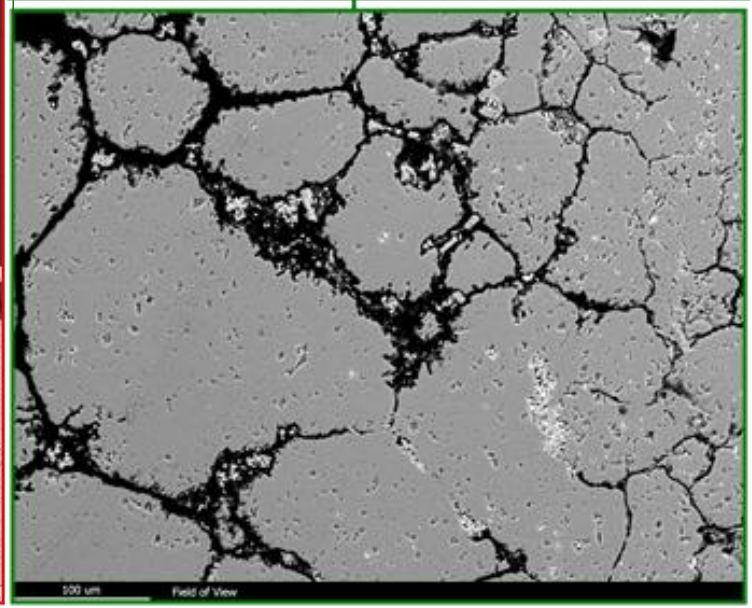


Межкристаллитная гальваническая коррозия



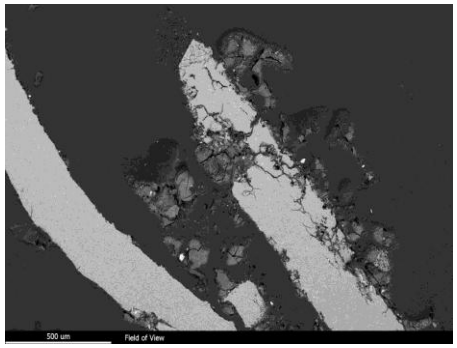


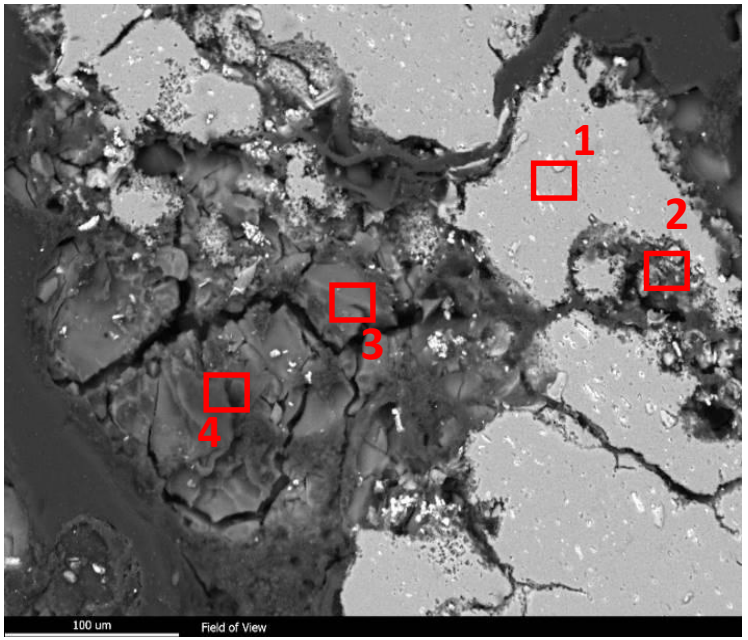


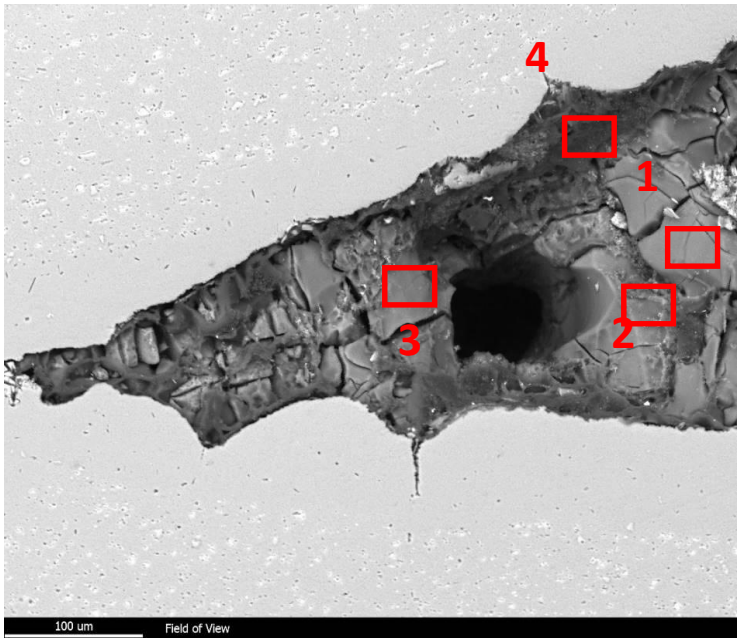


Вид коррозионных поражений ребер теплопередачи и зоны пайки





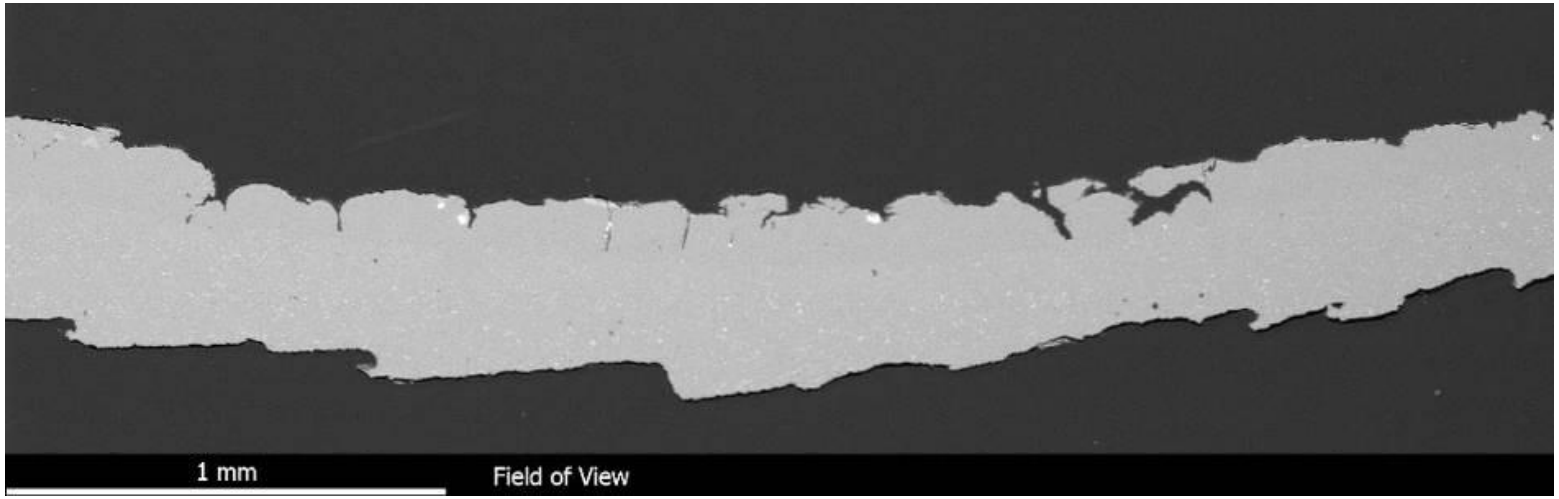


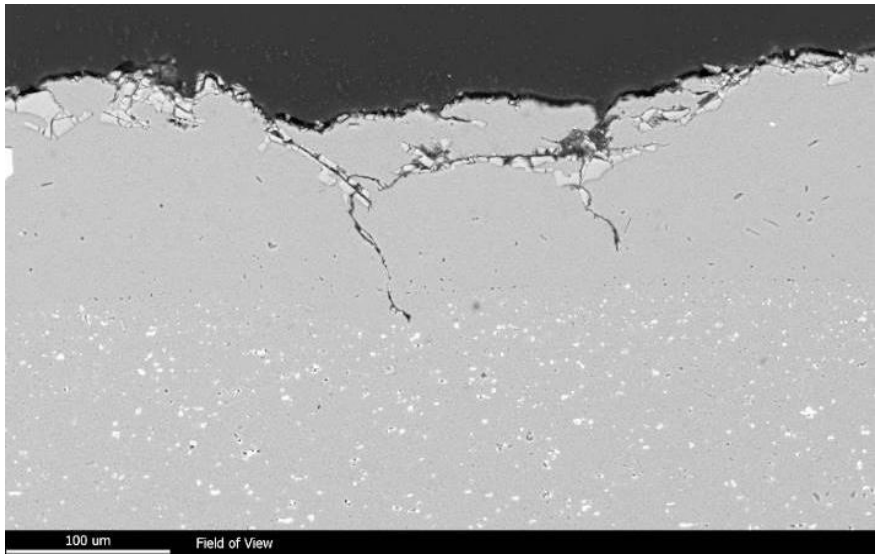


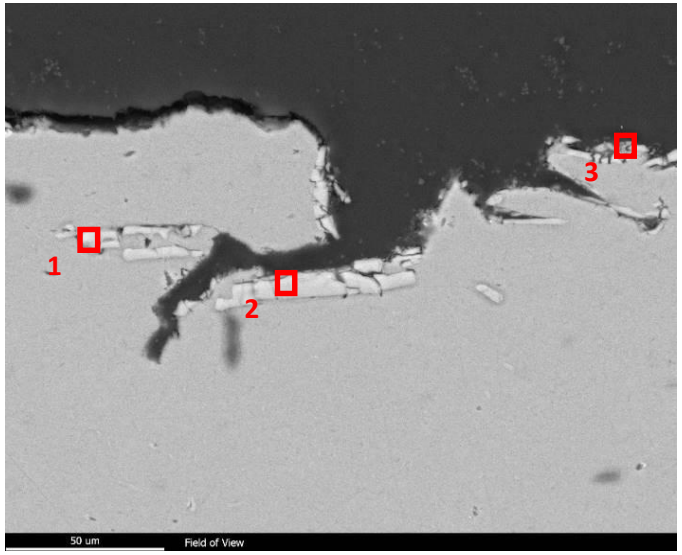
№п/п	C	O	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe
1	0	0	28,62	71,38	0	0	0	0
2	42,19	05,21	39,42	1060	0	01,44	03,01	02,63
4	13,91	32,91	38,53	0	01,32	11,66	0	01,67
5	62,54	14,82	10,03	00,26	00,71	09,72	0	00,93

№п/п	C	O	Al	Si	S	Cl	Fe
1	14,81	32,10	40,38	01,97	01,87	08,87	0
2	14,79	36,29	40,42	0	01,40	07,10	0
3	29,17	37,51	28,02	0	00,64	04,67	0
4	55,56	16,83	16,93	01,90	00,88	02,01	05,89

Вид коррозионных поражений ребра теплопередачи







№п/п	C	Al	Si
1	0	11,10	88,90
2	0	03,60	96,40
3	43,59	20,20	36,22

Выводы

Проведенный комплекс металлографических исследований сегментов, вырезанных непосредственно из области разрушения пластинчатого алюминиевого теплообменника показал:

1. Разгерметизация теплообменника произошла в результате развития коррозионно-механического растрескивания посредством множественного расслоения разделительных листов и отслоения ребер теплопередачи по паяным соединениям с выходом трещин наружу;

2. В области с наибольшей деформацией наблюдается потемнение поверхности, образование отложений и продуктов коррозии, содержащих кристаллы соли NaCl. Следовательно, в процессе запуска, эксплуатации и проведения остановов были нарушения по составу рабочей среды;

3. Поверхности ребер теплопередачи и разделительных листов подверглись коррозионному разрушению по механизмам локальной, межкристаллитной и равномерной коррозии;

4. Развитие процессов локальной и равномерной коррозии алюминия спровоцировано нарушением целостности пассивирующей оксидной пленки, которое вызвано наличием в рабочей среде водной фазы, Cl-ионов и кристаллов лимонной кислоты;

5. В паяных соединениях, в результате гальванического эффекта между алюминиевой матрицей и включениями силицидов, формируются локальные коррозионные поражения. Скорость коррозии в данном случае высокая из-за большой разности потенциалов. В вершинах данных поражений под воздействием внутренних напряжений зарождаются трещины. Дальнейшее распространение трещин приводит к расслоению разделительных листов и отделению ребер теплопередачи от листов;

6. Все выявленные механизмы коррозии и множественные коррозионные поражения развились в результате воздействия раствора кислой среды, содержащей соли NaCl, на поверхность алюминиевого сплава. Следовательно, в процессе эксплуатации и проведения остановов были нарушения по составу рабочей среды, допущено попадание влаги и применен промывочный раствор с pH менее 4,5.

Благодарю за внимание!

Чистопольцева
Елена Александровна
Руководитель ДСМ
ООО «ИТ-Сервис», к.т.н.
+7 917 942 9428
chistopolceva@its-samara.com



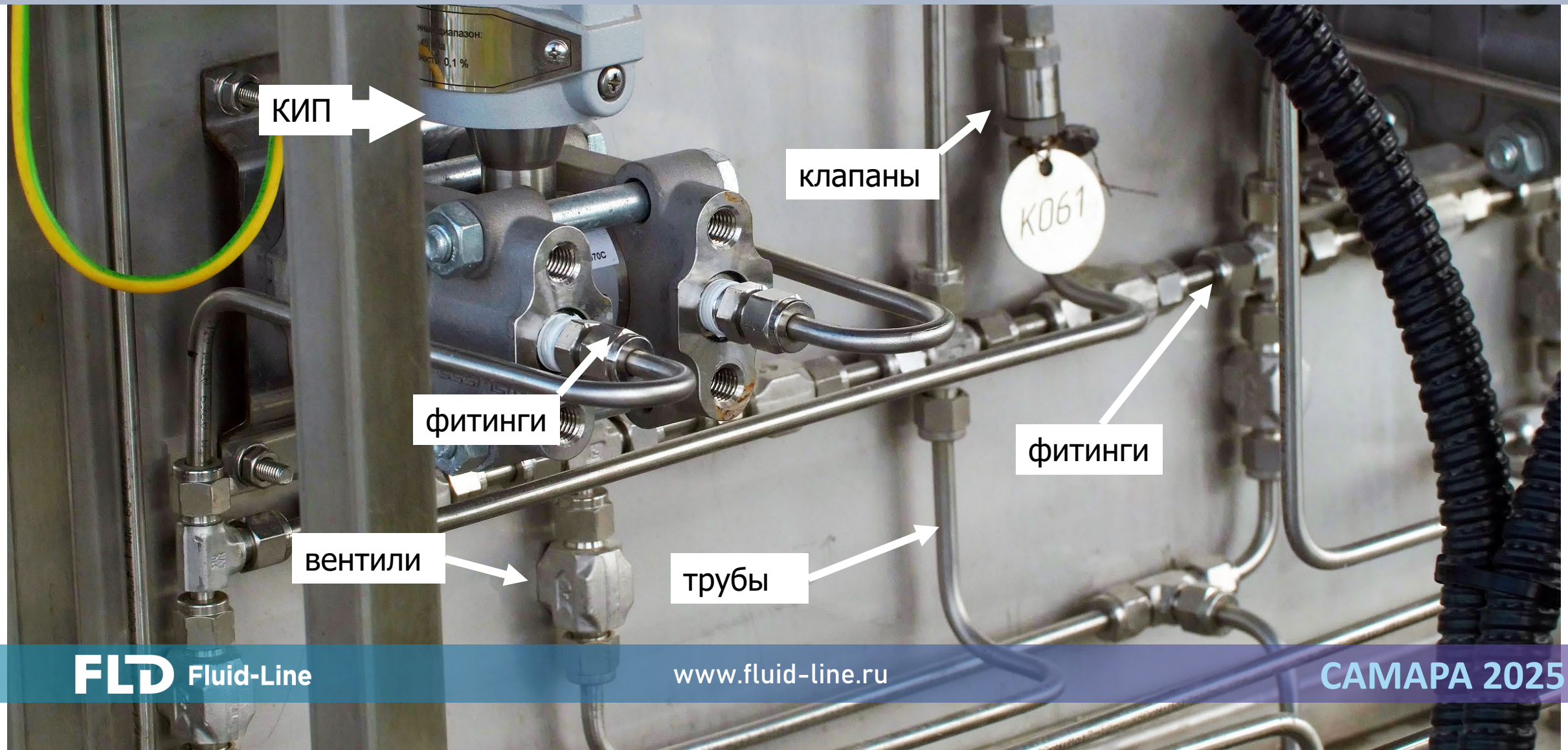
Fluid-Line

Проблемы производства отечественных обжимных фитингов и ЗРА для КИПиА

Оценка коррозионной стойкости, выбор поставщиков металла

спикер: Калашников Алексей
+7(915)486-71-57
kalashnikov@fluid-line.ru

Арматура для КИП и Автоматики



Качество корейских фитингов



Важно:

Система менеджмента качества

Корейское производство

Точность изготовления

Качество металла

технологии

путь от Корейского производства до Российского

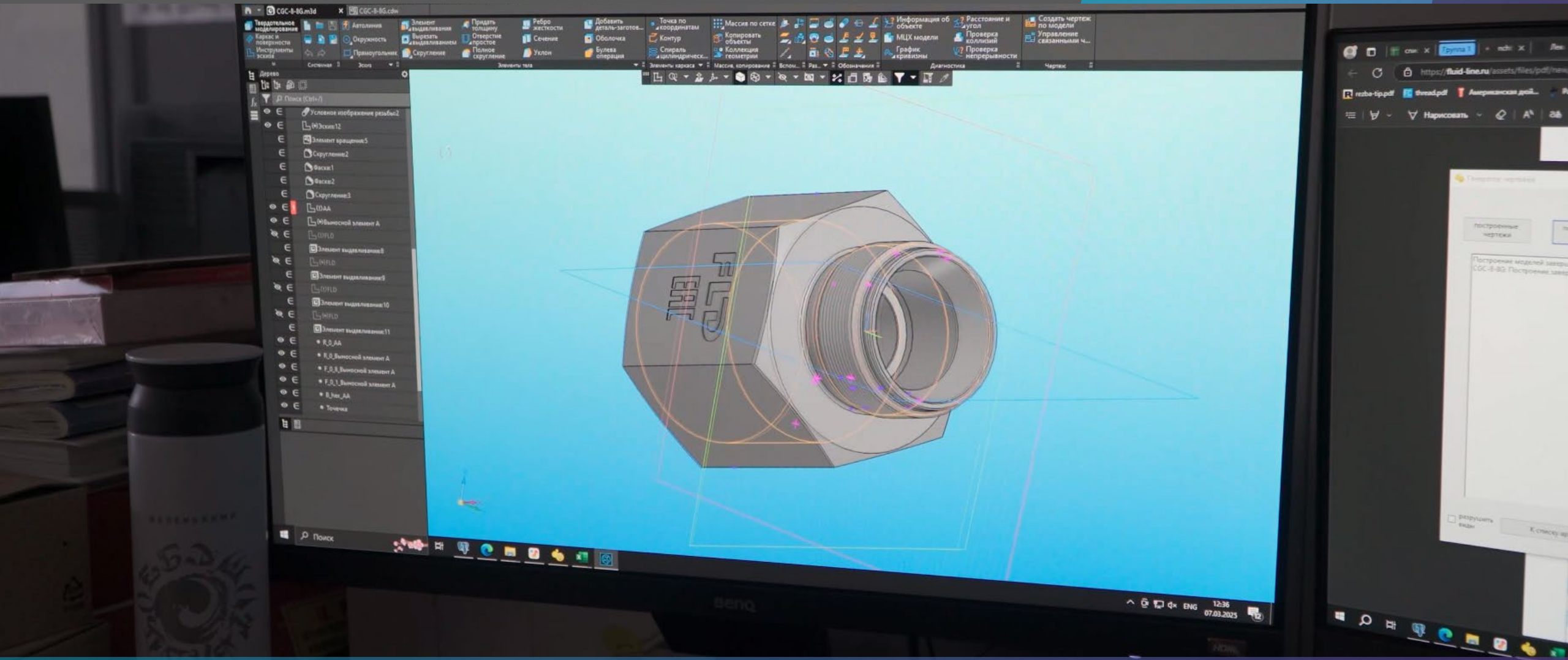
г. Пусан / Южная Корея

- Производство фитингов с 1977г
- Поставки Hy-Lok в Россию с 2009г

г. Москва / Россия

- Локализация сборки в РФ с 2017г
- Собственное производство FLD с 2022г

Проектирование



Токарный цех



Высокая точность

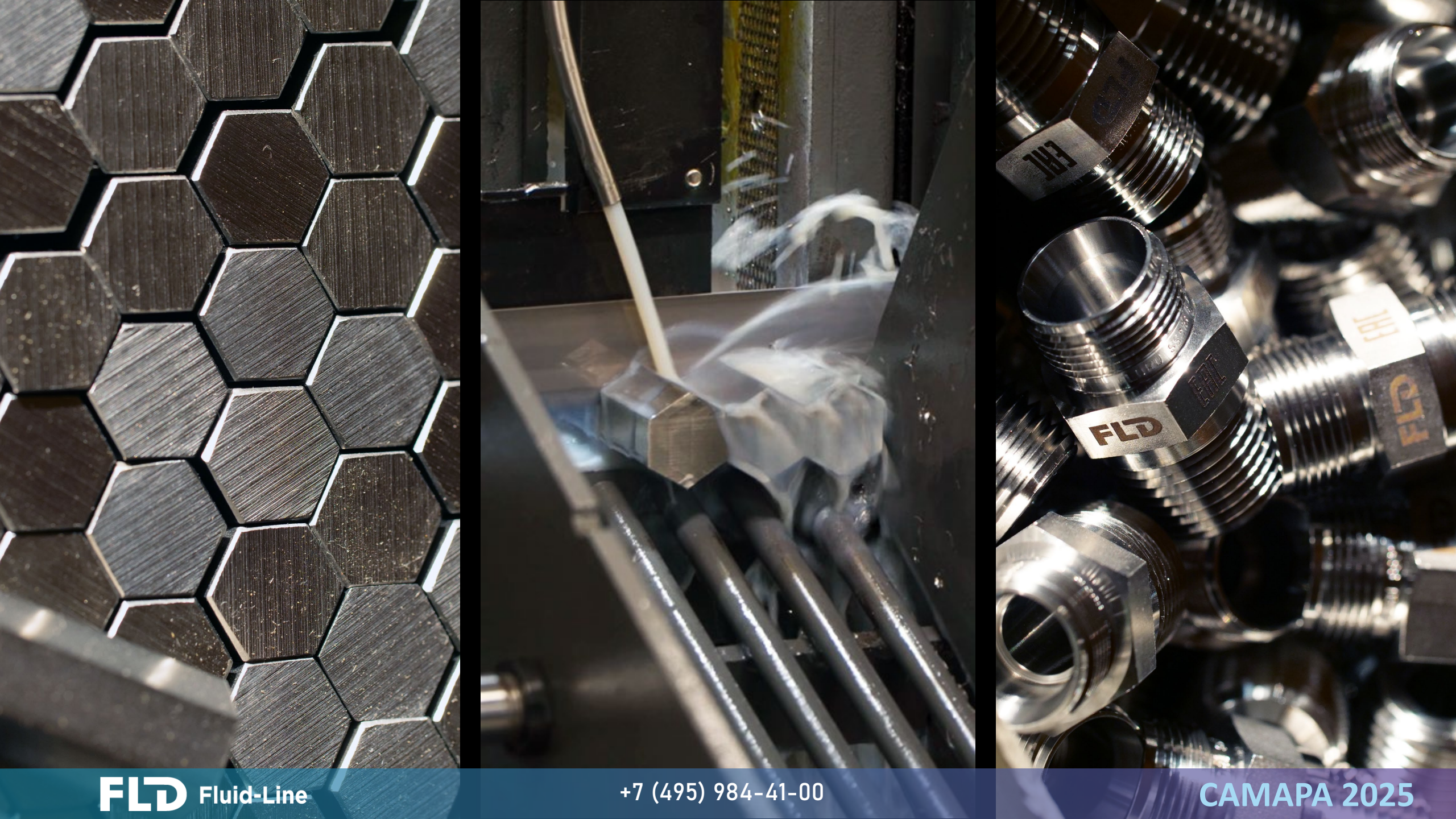


Информация на телах фитингов



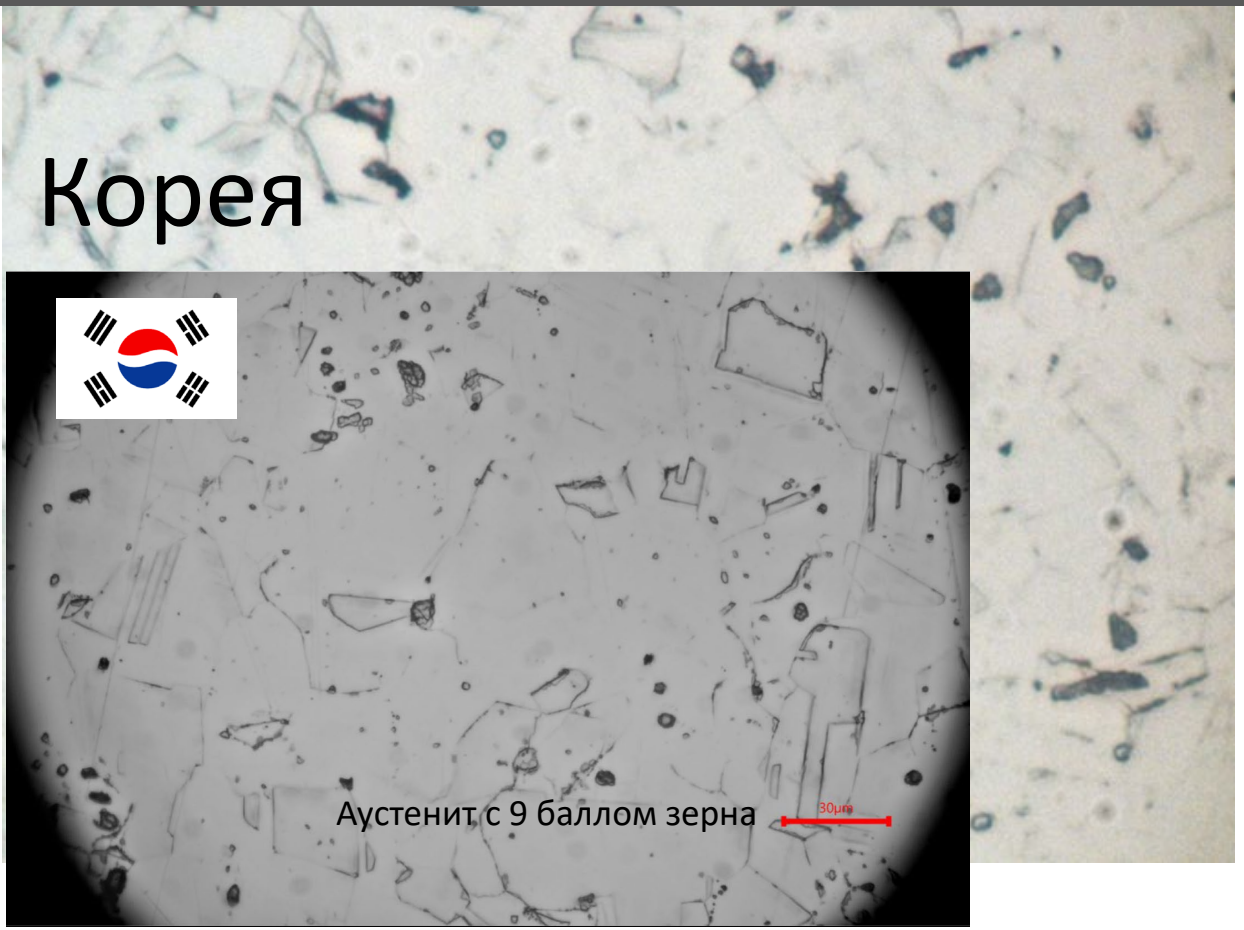
Преимущества ультразвуковой мойки

- Очистка от СОЖ
- Пассивация
- Ультразвуковая очистка
- Сушка горячим воздухом
- Опциональное дополнительное обезжиривание


FLD
FLD

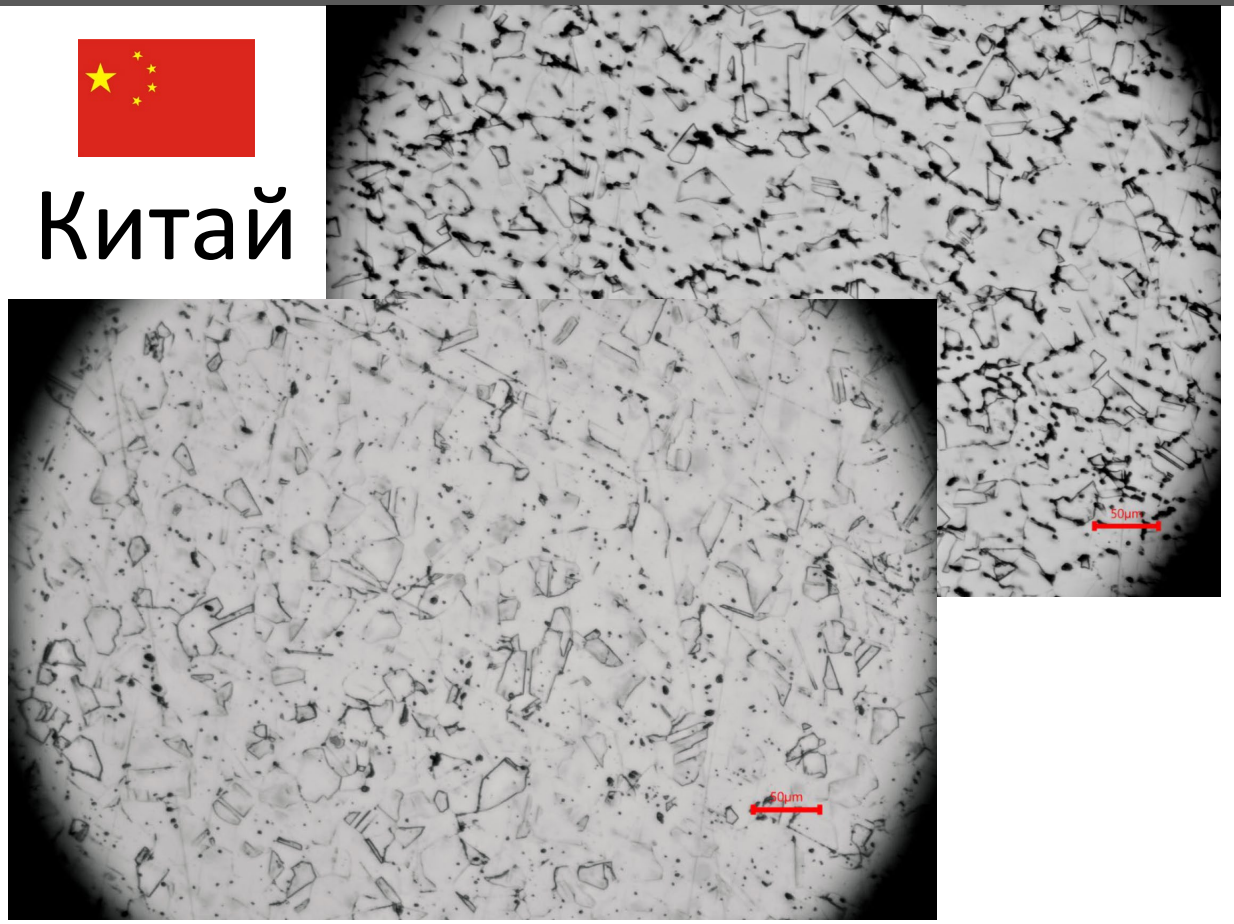
Качество корейского металла

Корея



Стандарт металла ASTM A276 | A479 Type 316/316L
Производитель SeAH Южная Корея

Китай



Аустенит с 6-7 баллом зерна, большое число карбонитридов, небольшое число карбидов по границе зёрен.

Производство запорной арматуры

- Шаровые краны
- Игольчатые вентили
- Регуляторы давления
- Обратные клапаны



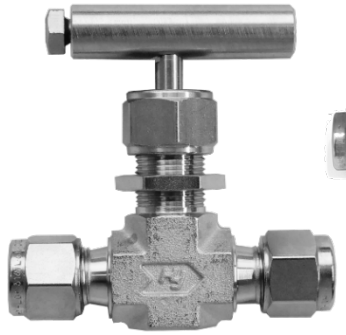
Запорная и регулирующая арматура

- Шаровые краны
- Игольчатые вентили
- Мембранные клапаны
- Обратные клапаны
- Предохранительные клапаны
- Регуляторы давления









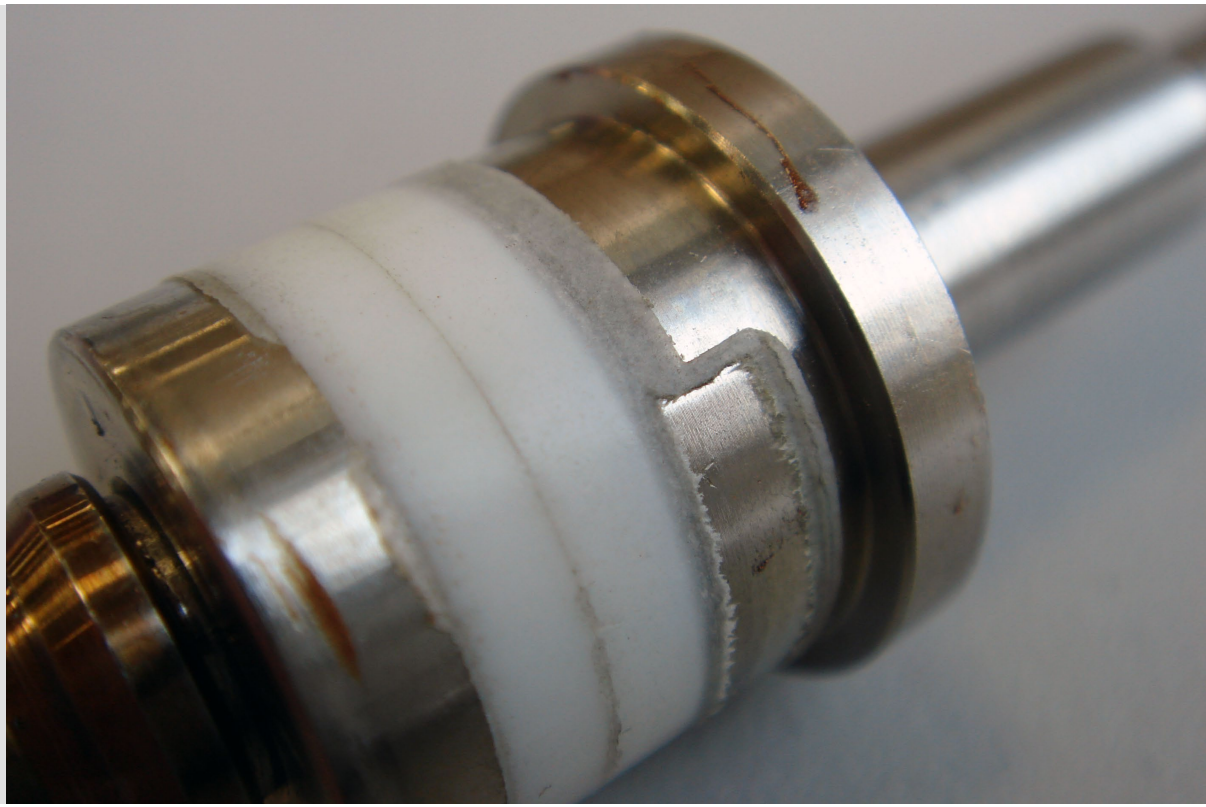






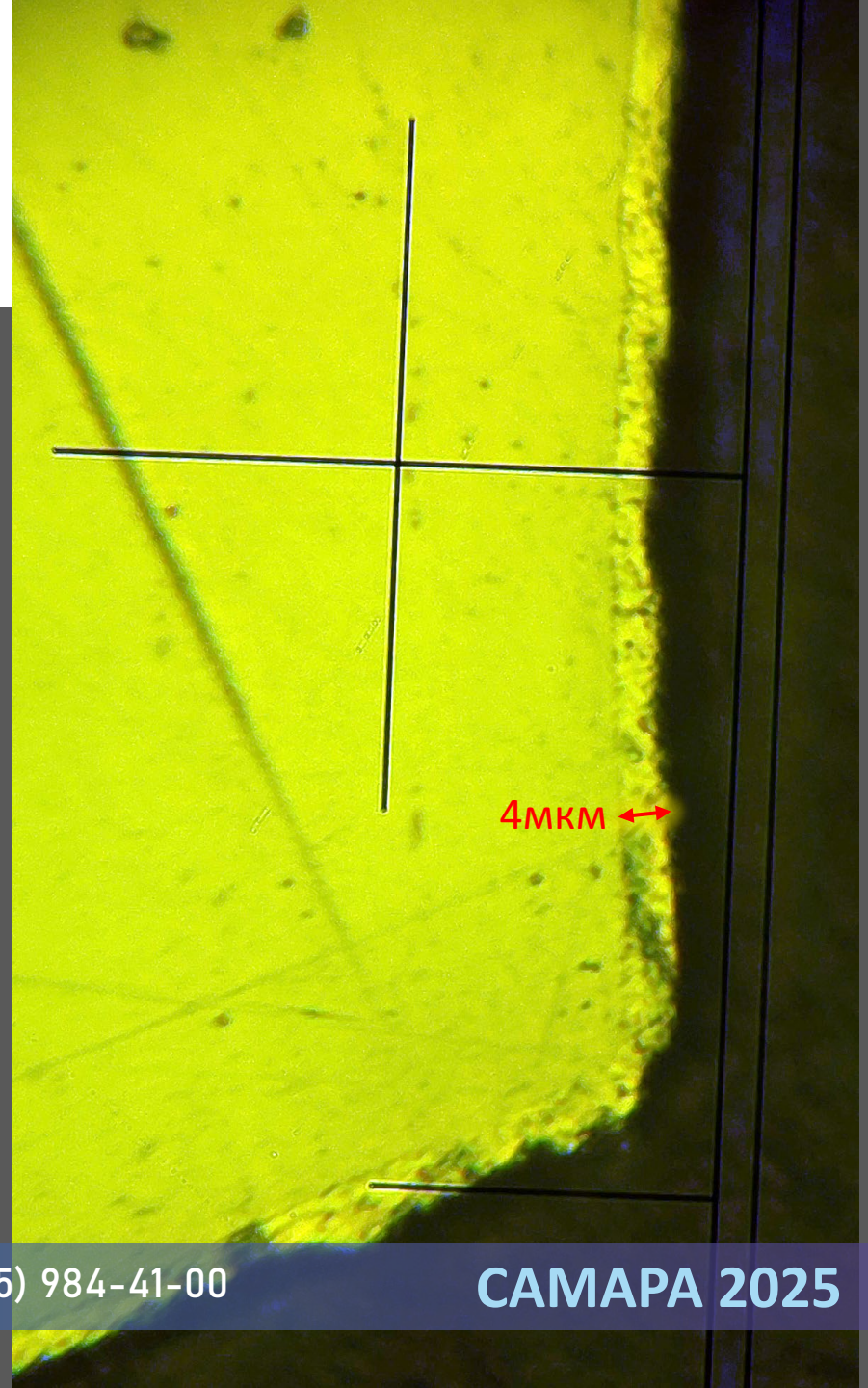
Проблемы применения ЗРА на -60

- Использование эластомеров
- Хладотекучесть фторопласта
- Не одинаковый коэффициент температурного расширения

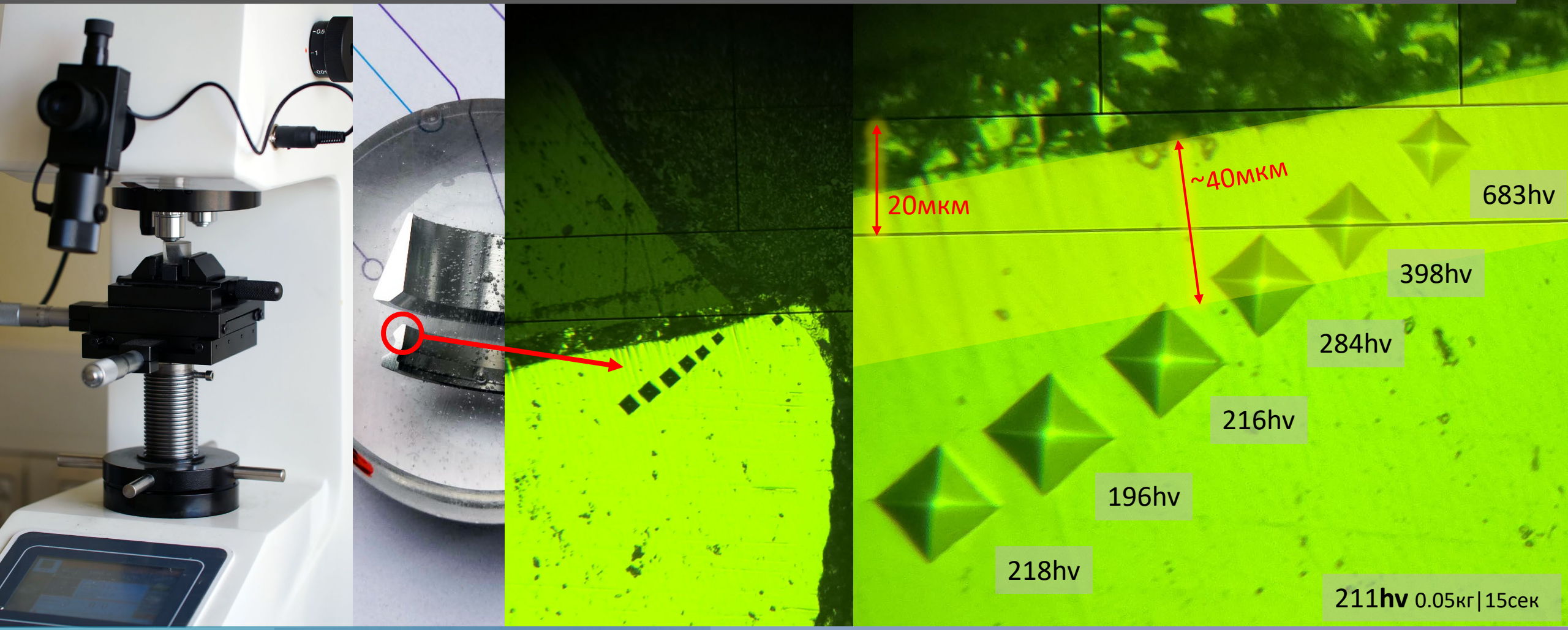


Посеребренее резьбы обжимных гаек

- Серебро+золото в среднем 100:1
- Толщина слоя от 2 до 15мкм



Карбонизированный чехол на заднем кольце

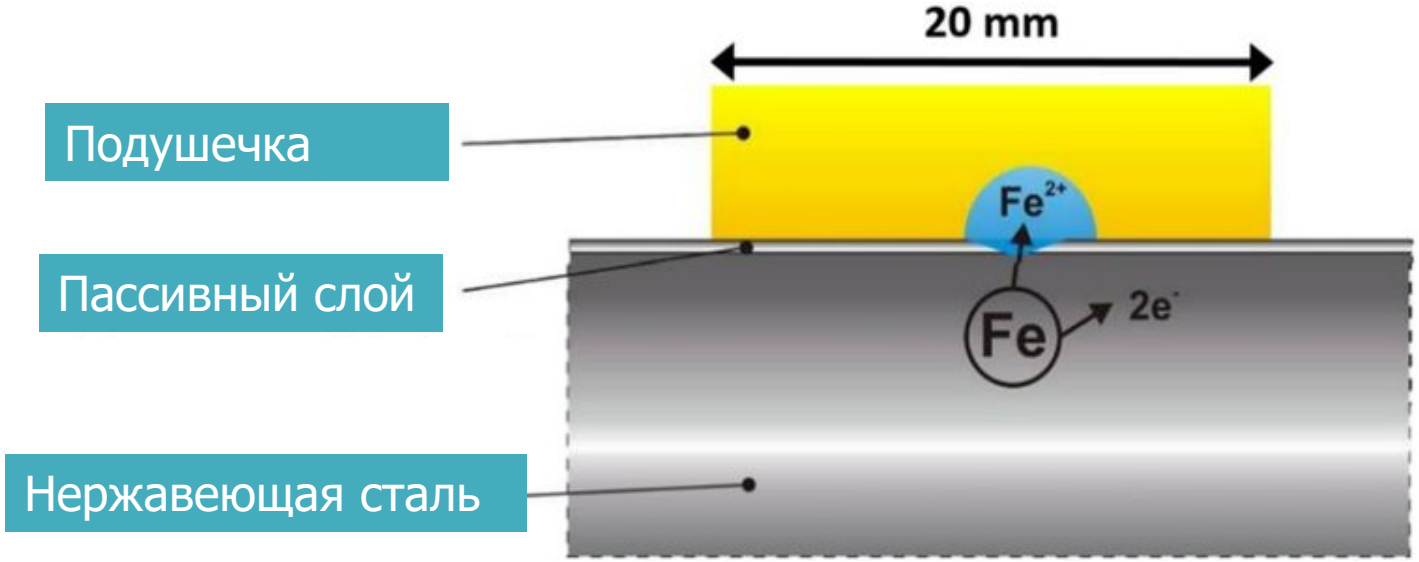


Задиры и вмятины на обжимной поверхности



- Твёрдость колец
- Пластичность корпуса
- Вращение кольца
- Перетяжка соединения
- Многократная разборка
- Несовместимые кольца

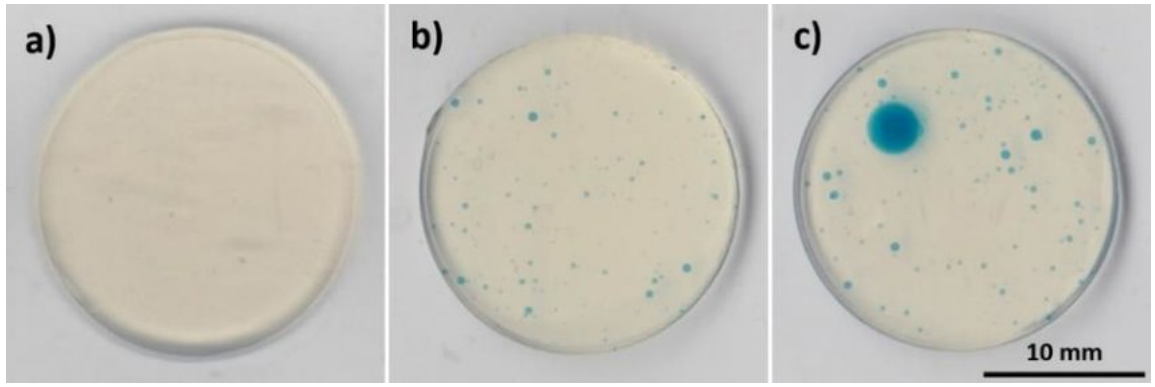
Экспресс-тест на коррозию



Реакция индикатора с ионами железа

Продолжительность теста 15 минут

Первые результаты через минуту



A) отличный пассивный слой

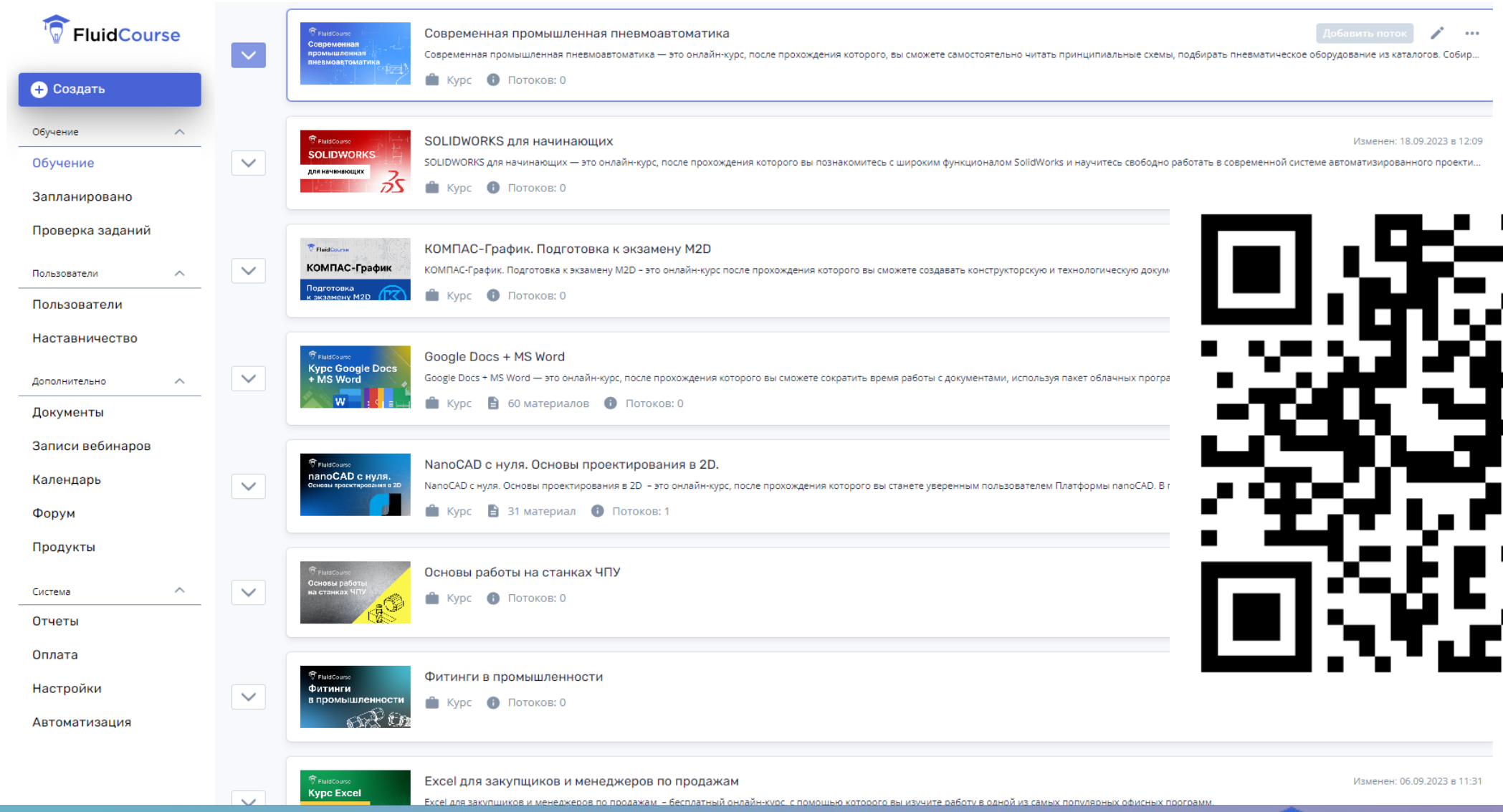
Б) плохой пассивный слой

C) Возможна точечная коррозия

Сероводородная коррозия игольчатых вентилей



Курсы инженерно-технического профиля



Fluid-Line

YouTube RU

Спасибо за внимание!









спикер: Калашников Алексей
+7(495) 984-41-01 (доб.105)
kalashnikov@fluid-line.ru

Разработка технологии изготовления гильзы цилиндра двигателя с использованием элементов реверсивного инжиниринга.

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

Команда проекта

Руководитель проекта —
Майдан Дмитрий Александрович,
к.т.н., доцент, доцент кафедры МПМН, ФММТ

Участники:

Азязов Эдуард Олегович,	гр. 3-22ФММТ-101
Головин Павел Викторович,	гр. 3-22ФММТ-101
Загумённов Кирилл Алексеевич,	гр. 3-22ФММТ-101
Леонов Андрей Денисович,	гр. 3-22ФММТ-106
Лимов Артём Сергеевич,	гр. 3-22ФММТ-106
Фадеева Елизавета Максимовна,	гр. 3-22ФММТ-106

Куратор от ООО «ИТ-Сервис» —
Ермошкин Антон Александрович,
к.т.н., начальник испытательного центра

Докладчики



Эдуард Азязов



Павел Головин

Индустриальный партнёр — ООО «ИТ-Сервис»



Компания основана в 2002 году. Выполняет разнообразный спектр инжиниринговых, проектных и научных работ в области добычи, транспортировки и переработки нефти и газа.

Адрес: 443001, г. Самара, ул. Ульяновская/Ярмарочная, д. 52/55
Телефон: (846) 212-00-39
Электронная почта: sekr@its-samara.com
Сайт: http://its-samara.com

Тема настоящего проекта предложена ООО «ИТ-Сервис». Все исследования проводились на оборудовании и под руководством сотрудников ООО «ИТ-Сервис».

Актуальность проекта



В настоящее время в российской промышленности очень остро стоит вопрос импортозамещения.

Для расширения рынка, создания новых продуктов и усиления конкурентных позиций отечественные производители прибегают к наиболее эффективным и краткосрочным технологиям производства.

Реверсивный инжиниринг является процессом проектирования и изготовления изделий в обратном порядке: по имеющимся образцам импортной продукции, используя инструменты системного анализа, данные по материалу, его свойствам, конфигурации, разрабатывают модель и определяют алгоритм и способы производства, которые были использованы при производстве продукта.

Цель проекта

Выполнить сравнительный анализ свойств гильзы блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания Caterpillar и гильзы-аналога отечественного производства с целью оценки технологий производства различных изготовителей.

Задачи проекта

1. Определить материал и свойства гильзы блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания Caterpillar серии G3600 и гильзы-аналога отечественного производства.
2. Провести сравнительный анализ свойств указанных гильз.

Продукт проекта



Caterpillar



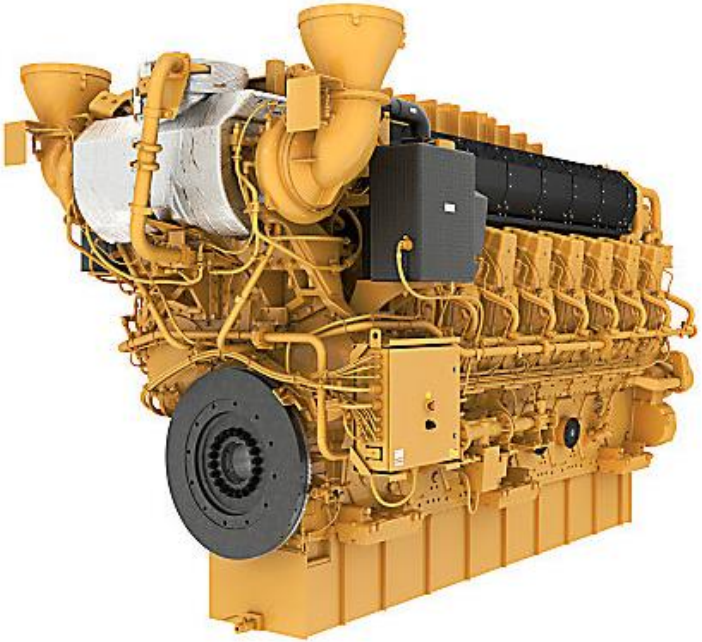
Аналог отечественного производства

Две гильзы блока цилиндров ДВС двух различных производителей:
— Производства Caterpillar;
— Аналог отечественного производства.

Гильза производства Caterpillar является прототипом для гильзы отечественного производства.

Технология изготовления включает:
— Отливку заготовки;
— Термическую обработку заготовки;
— Последующую механическую обработку.

Двигатель Caterpillar





Двигатель внутреннего сгорания Caterpillar серии G3600.
Габаритные размеры двигателя: длина — 5,9 м; ширина — 2,6 м; высота — 3,3 м

Анализ рынка



Анализ рынка реверсивного инжиниринга в нефтегазовом машиностроении России:

— Текущая оценка на 2024 год — 6…8 млрд рублей, значительный рост с 2022 года из-за санкций и импортозамещения.

— Прогноз на 2025—2030 годы — 12…18 млрд рублей к 2030 году.

Источники данных:
Аналитические отчеты (BusinesStat);
Открытые данные Минпромторга (экстраполяция по госзакупкам на сайте zakupki.gov.ru);
Отраслевые публикации (Oil & Gas Journal).

Что сделано по проекту

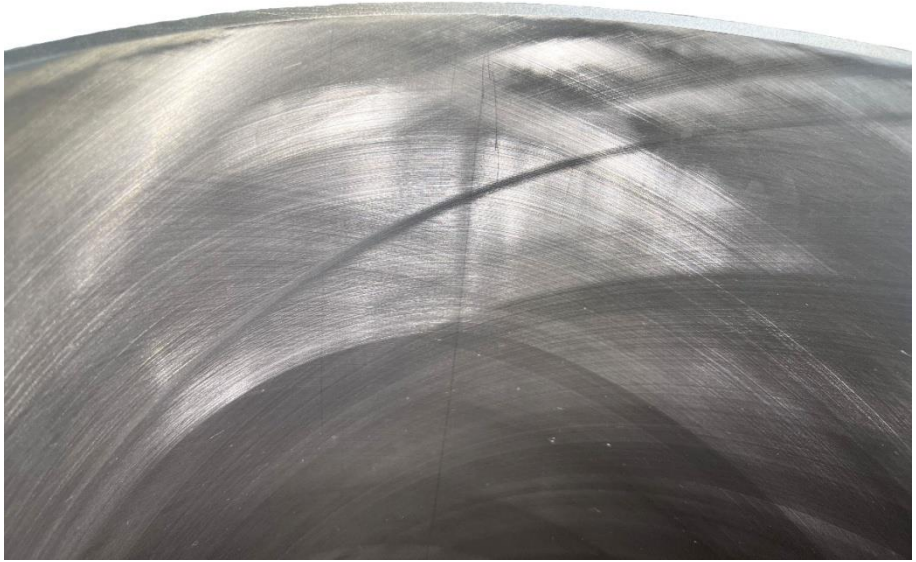
Комплекс лабораторных сравнительных исследований гильз блока цилиндров ДВС включал:

1. Визуально-измерительный контроль, установление соответствия геометрических параметров.
2. Химический анализ металла атомно-эмиссионным спектральным методом по ГОСТ Р 54153-2010.
3. Испытания на одноосное растяжение при комнатной температуре по ГОСТ 1497-2023.
4. Испытания на ударный изгиб KCV при комнатной температуре по ГОСТ 9454-78.
5. Определение твердости металла по ГОСТ 9013-59.
6. Металлографические исследования на оптическом микроскопе, включая оценку по ГОСТ 3443-87.
7. Металлографические исследования на электронном микроскопе.
8. Рентгенофазовый анализ внутреннего упрочняющего слоя на гильзе производства Caterpillar.
9. Испытание на одноосное растяжение при повышенных температурах.
10. Построение цифровой модели конструкции с последующим исследованием методом конечных элементов.

Визуально-измерительный контроль

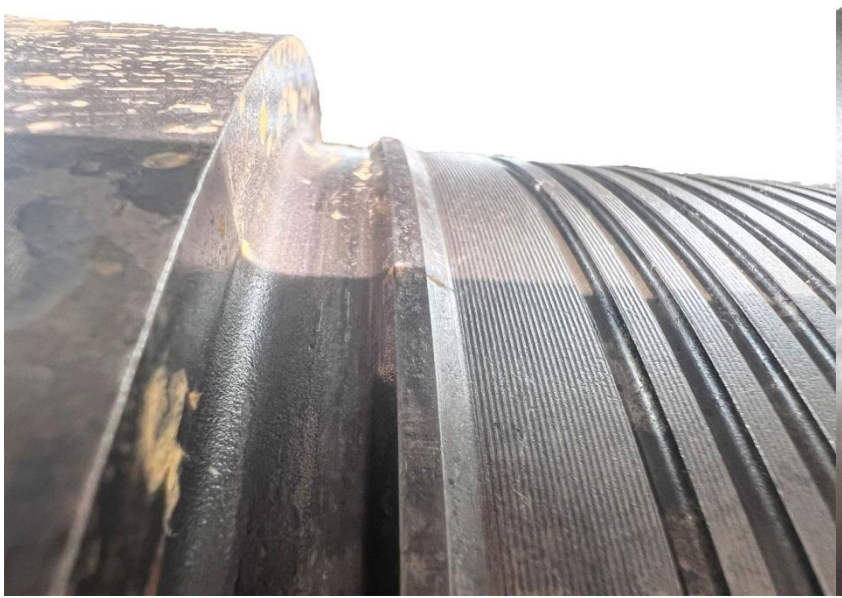


Caterpillar

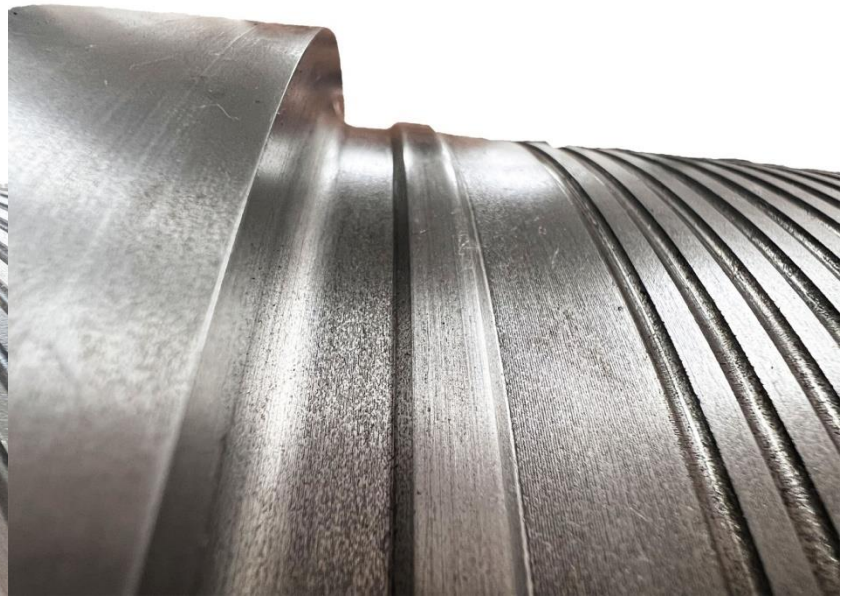


Аналог отечественного производства

Визуально-измерительный контроль



Caterpillar



Аналог отечественного производства

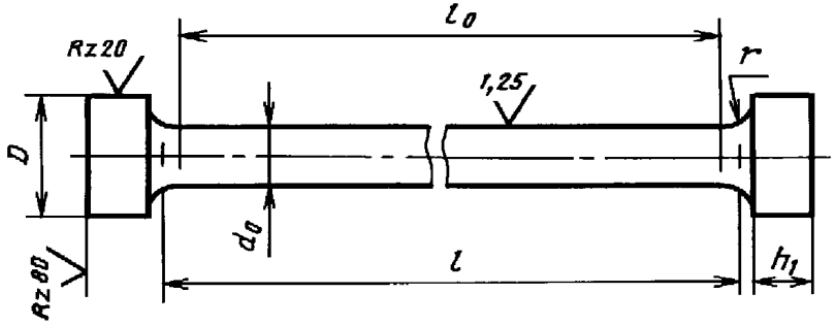
Химический анализ металла

Марка	Массовая доля элементов, %											
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	Mo	Fe	Al	P	S
Caterpillar	3,24	1,94	0,73	0,08	0,49	0,20	0,016	0,22	93,09	0,006	0,034	0,016
Аналог	3,29	2,16	0,95	0,41	0,63	0,66	0,009	0,30	91,42	0,008	0,014	0,007
Требования ГОСТ 1412-85 для чугуна марки СЧ25												
	3,2—3,4	1,4—2,2	0,7—1,0								<0,2	<0,15

Химический анализ выполнялся атомно-эмиссионным спектральным методом в соответствии с ГОСТ Р 54153-2010. По содержанию основных элементов состав металла объектов исследования близкий. Обе исследуемые гильзы изготовлены из серого чугуна марки СЧ25. Содержание легирующих элементов (хром, медь, молибден) в гильзе отечественного производства больше, чем в гильзе производства Caterpillar, а содержание вредных примесей (серы и фосфора) — меньше.

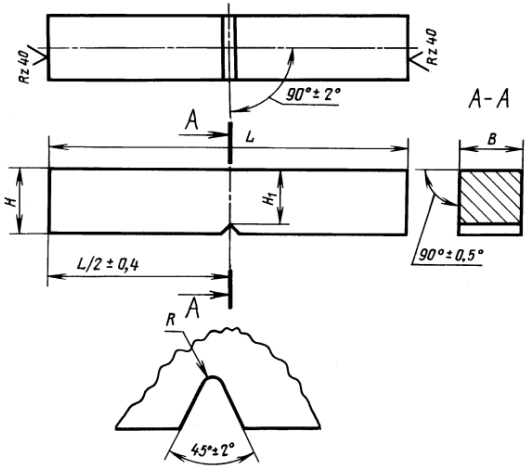
Испытание на растяжение

Марка	Вид образца	Предел прочности на растяжение, $\sigma_в$, МПа
Caterpillar	Цилиндрические, Ø 5 мм	302…313
Аналог	Цилиндрические, Ø 5 мм	271…282

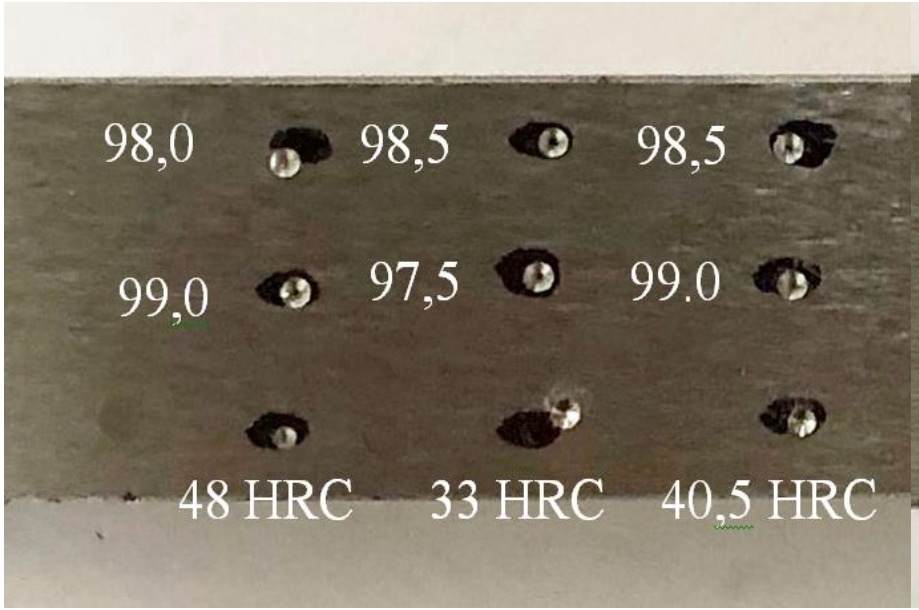


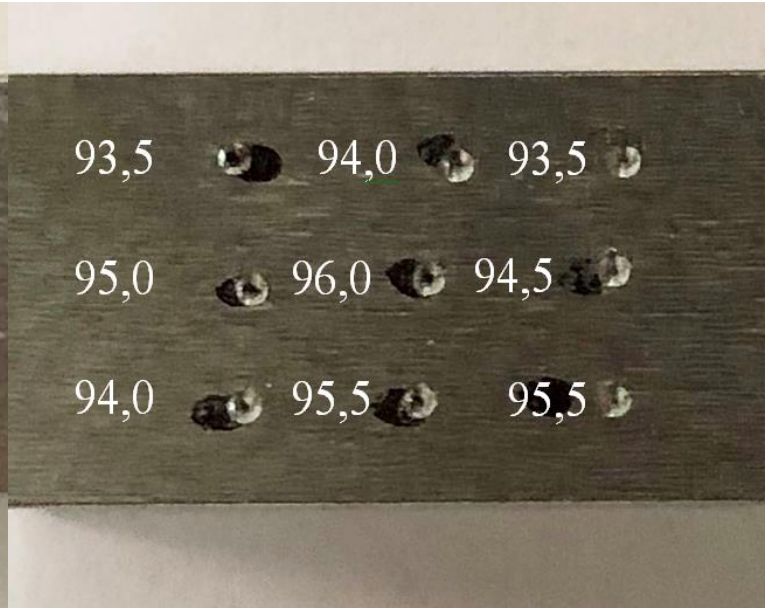
Испытание на ударный изгиб

Марка	Ударная вязкость KCV, Дж/см^2
Caterpillar	6,5
Аналог	6,5



Определение твёрдости металла





Caterpillar

Аналог отечественного производства

Металлографические исследования

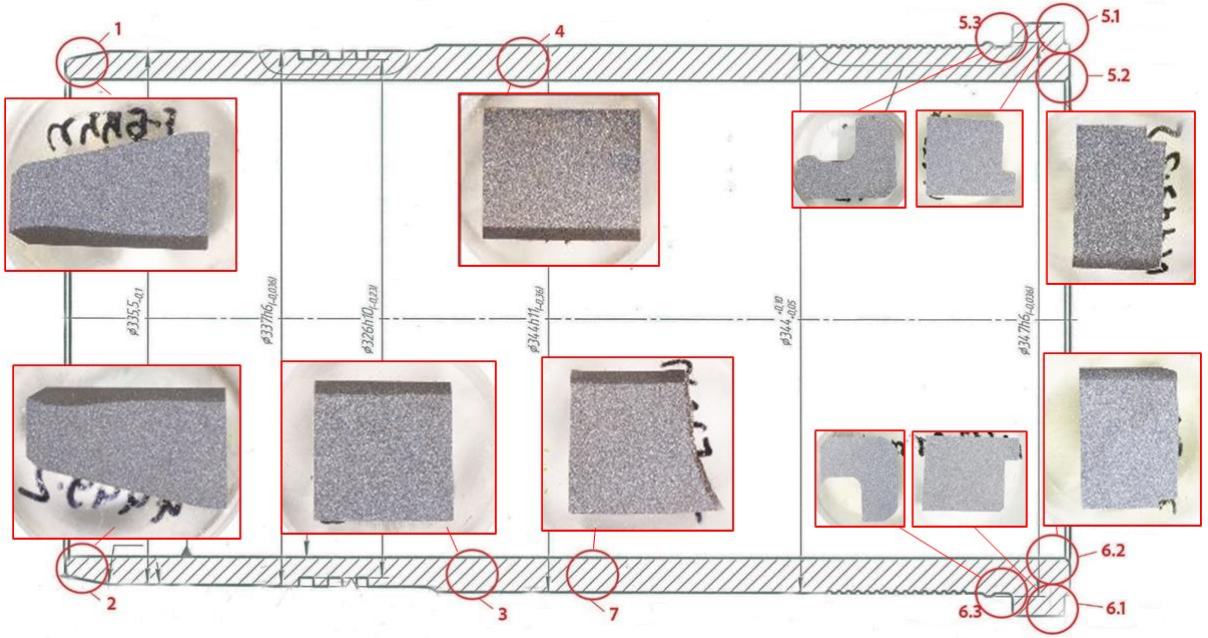
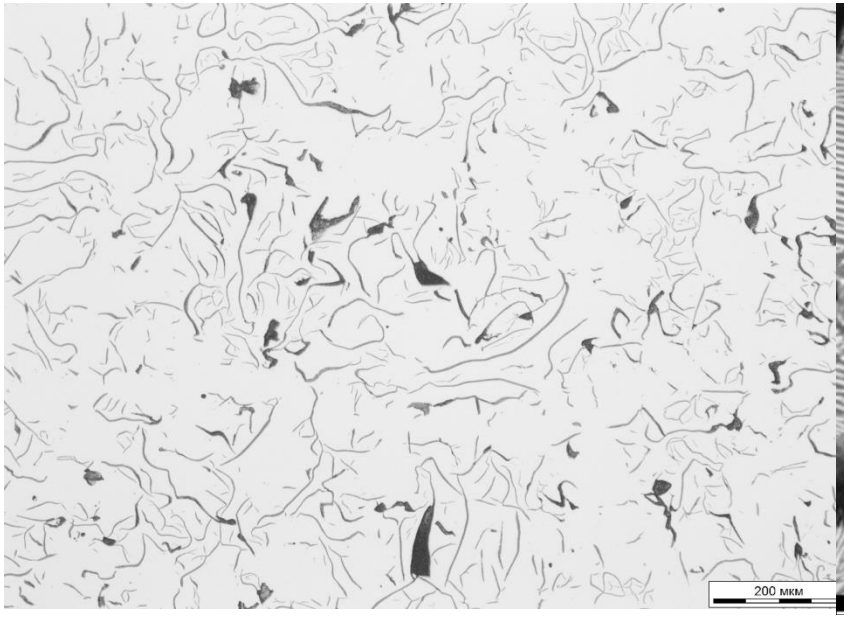
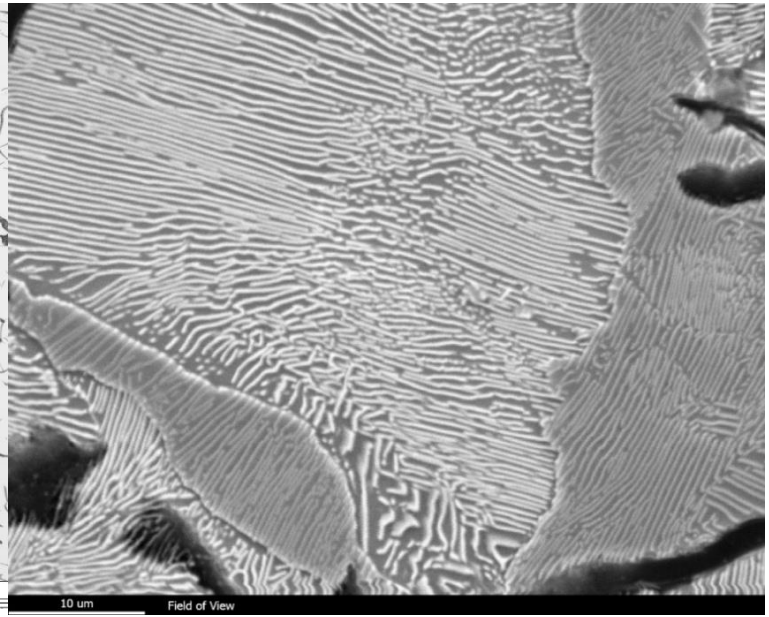


Схема вырезки металлографических шлифов

Оптическая и растровая микроскопия

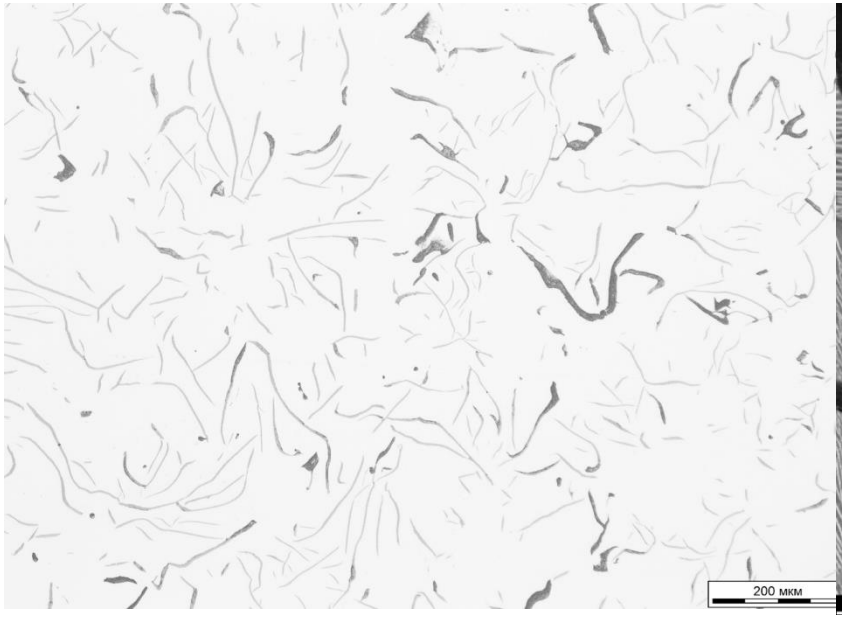


Гильза Caterpillar. Место вырезки образца «1».
Не травленный образец (х100)

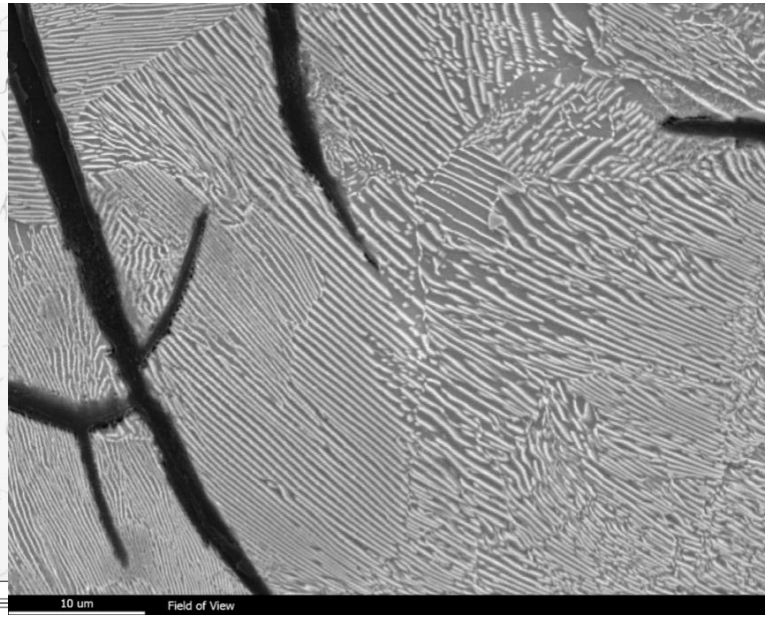


Гильза Caterpillar.
Место вырезки образца «3».

Оптическая и растровая микроскопия

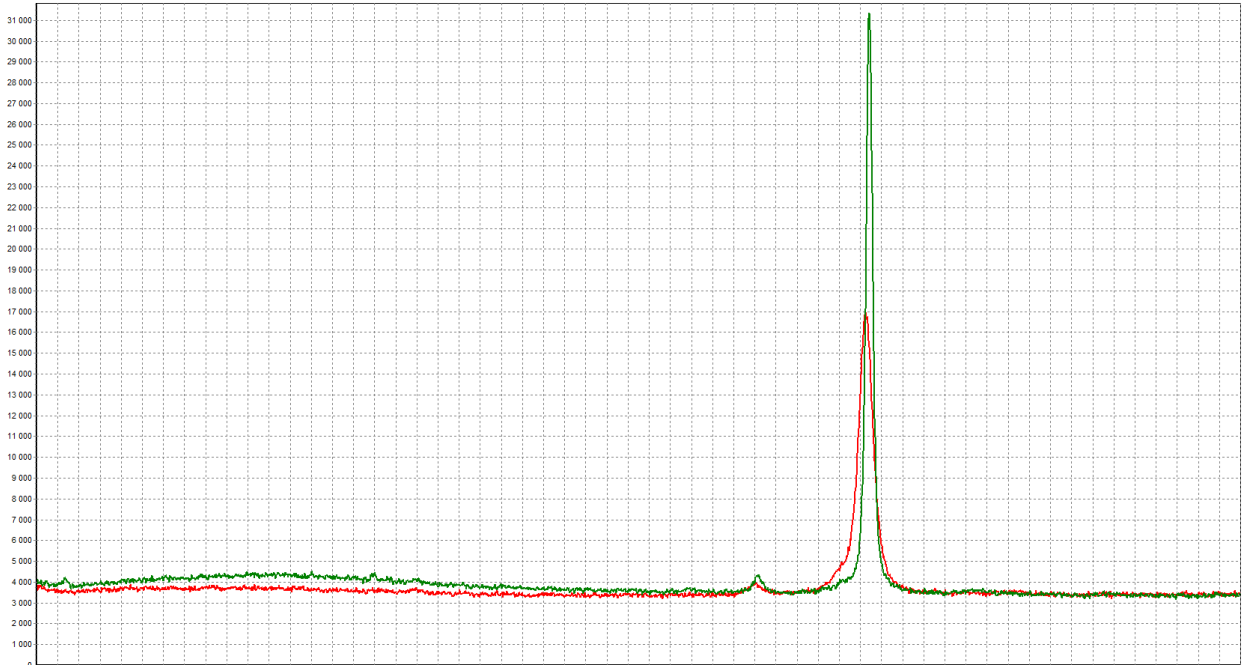


Гильза отечественного производства. Место вырезки образца «1».
Не травленный образец (х100)



Гильза отечественного производства.
Место вырезки образца «3».

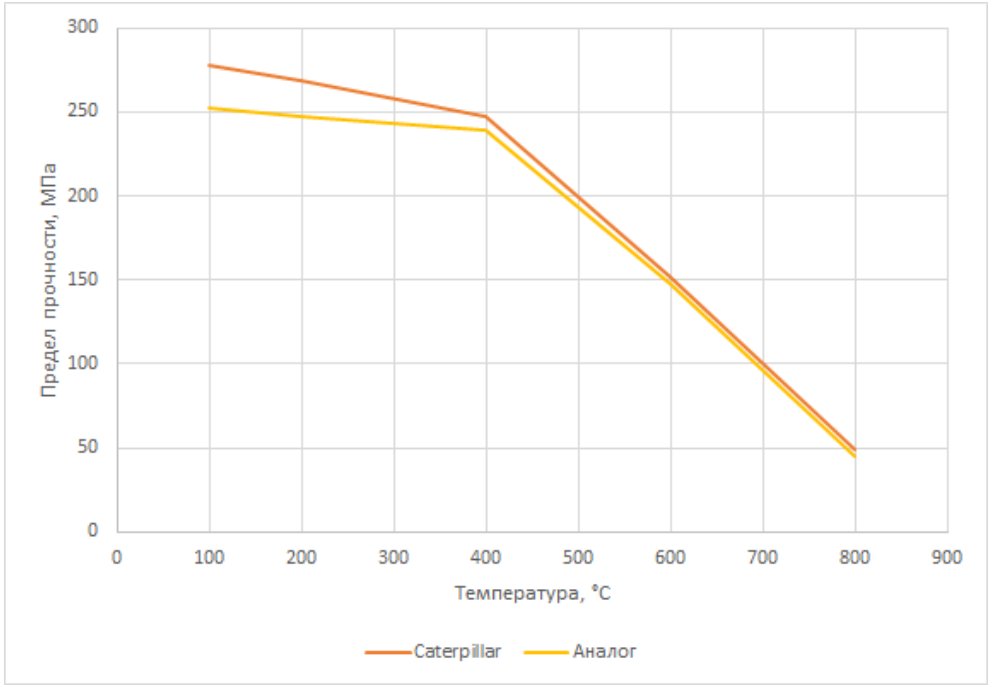
Рентгенофазовый анализ упрочняющего слоя



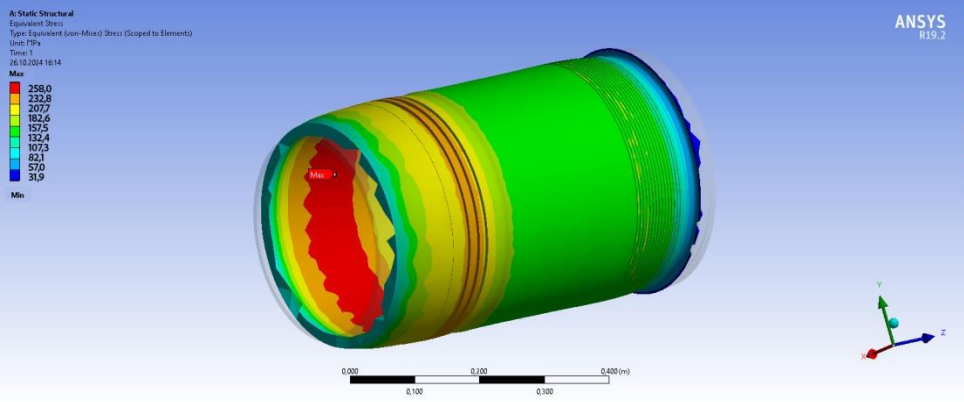
Сравнительный анализ рентгенограмм фазового состава основного металла и упрочняющего слоя гильзы блока цилиндров производства Caterpillar

Наружная поверхность
Внутренняя поверхность

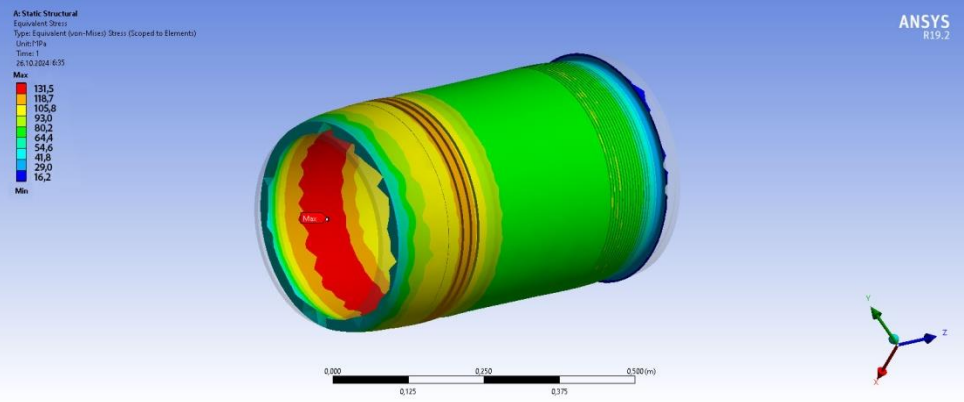
Испытание на одноосное растяжение при повышенных температурах



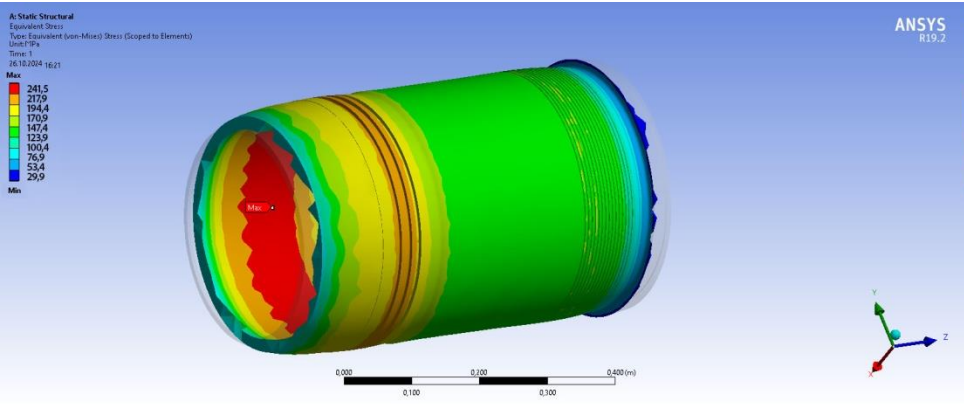
Зависимость предела прочности $\sigma_в$ от температуры испытания



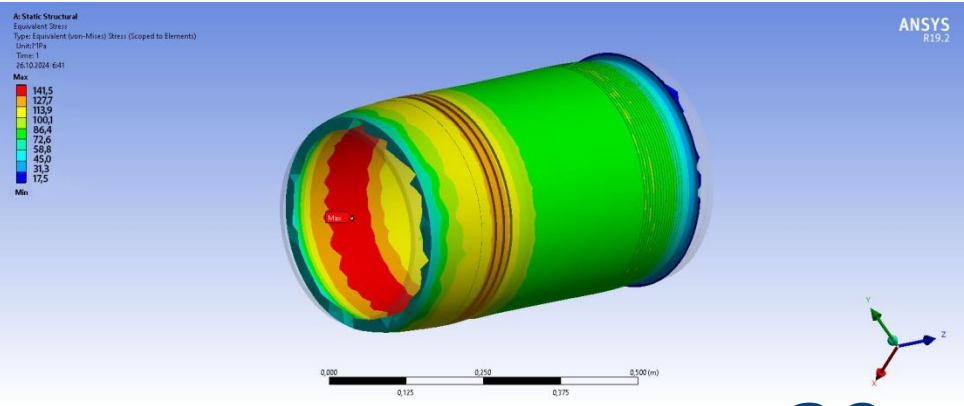
Caterpillar при 100 °C



Caterpillar при 600 °C



Отечественный аналог при 100 °C



Отечественный аналог при 600 °C

Выводы

Проведенный сравнительный анализ свойств металла гильзы цилиндра ДВС Caterpillar и гильзы-аналога отечественного производства показал:

1. Выявлено незначительное различие в геометрии отдельных элементов наружной поверхности гильз.
2. Исследуемые гильзы изготовлены из серого чугуна марки СЧ25.
3. Среднее значение предела прочности металла гильзы отечественного производства на 10 % ниже значения прочности металла гильзы производства Caterpillar.
4. На внутренней поверхности гильзы производства Caterpillar имеется упрочняющий слой, который характеризуется повышенной твердостью. Разницы в химическом составе данного слоя и основного металла гильзы не выявлено. Вероятной природой формирования данного поверхностного слоя является термомеханическое упрочнение.
5. Металл исследуемых гильз имеет структуру, представленную перлитной матрицей и пластинчатыми выделениям графита.
6. Предел прочности и предел текучести металла обеих исследуемых гильз немонотонно уменьшается при повышении температуры испытания от 100 до 800 °С. Гильза блока цилиндров отечественного производства имеет более низкий уровень прочностных свойств по сравнению с гильзой производства Caterpillar. Потеря прочностных свойств металла гильзы производства Caterpillar на 7 % меньше, чем металла гильзы отечественного производства.
7. Максимальные напряжения расположены с внутренней стороны гильзы в зоне расположения канавок под уплотнительные кольца (канавки расположены с наружной стороны гильзы).
8. Рекомендуется проведение опытно-промышленных испытаний гильзы отечественного производства.

Спасибо за внимание!

2025 © ИТ-Сервис

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Определение причин преждевременной разгерметизации трубопроводов по механизму язвенной коррозии в зоне стыкового сварного шва

Докладчик:
Ведущий инженер отдела металловедения
Левахина Анна Николаевна

Фрагменты аварийных промысловых трубопроводов

Трубопровод Ø219х8 мм из стали 09Г2С



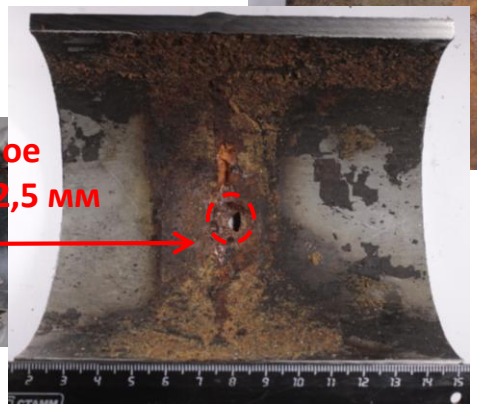
Ø сквозное поражение 10 мм



Трубопровод Ø114х6 мм из стали 09Г2С+ ВАКП



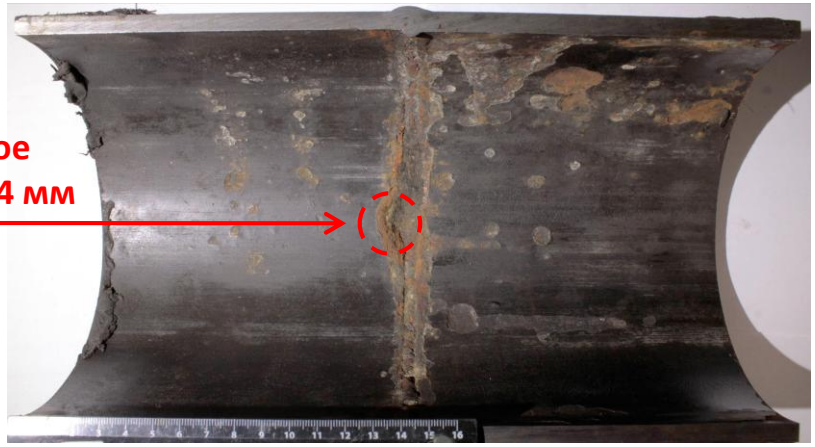
Ø сквозное поражение 2,5 мм



Трубопровод Ø159х7 мм из стали 13ХФА



Ø сквозное поражение 4 мм

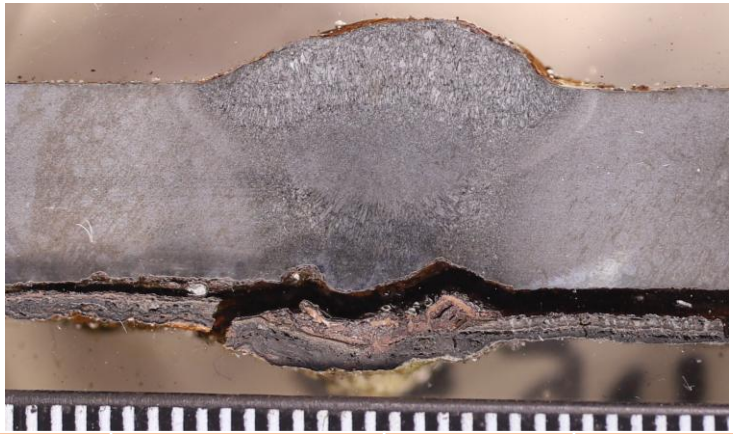


Условия эксплуатации

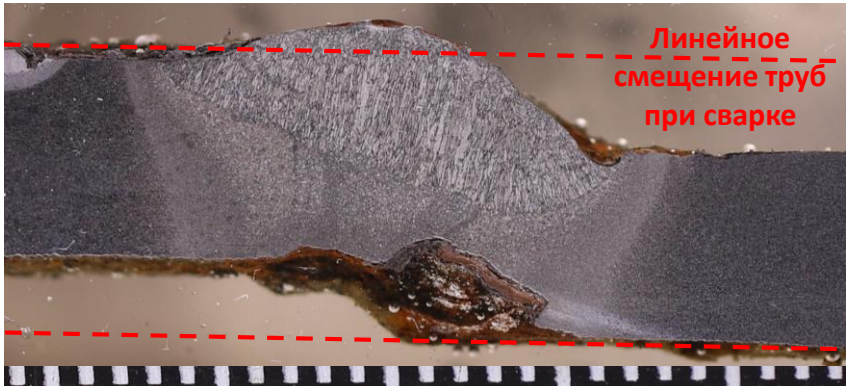
Трубо-провод	Срок службы	Способ защиты трубопровода	Условия эксплуатации	Среда эксплуатации
219х8 из стали 09Г2С	2 года, 11 месяцев	Наружное защитное покрытие на основе экструдированного полиэтилена	Т: +10°С $P_{общ}$ – 2 МПа P_{H2S} – 0,2 кПа	Нефтегазоводная смесь от 5 добывающих скважин Обводненность, % 80 / 52 / 95 / 99 / 23 Общая минерализация (содержание Cl^-), г/л 250 (154) / 32 (отс.) / 152 (94) / 4 (2) / 307 (188) pH 6-7 / 6-7 / 6-7 / 6-7 / 3 Содержание H_2S, ppm 18 / - / 76 / 59 / 99 Молярная доля CO_2 в горючем газе, % 0,3 / / 0,1 / / 0,02 Молярная доля O_2 в горючем газе, % 0,02 / / 0,06 / / 0,1 H_2S и др. серосодержащие соединения, мг/м^3 (ppm) н/д / 53,67(38) / н/д / н/д / н/д
114х6 из стали 09Г2С	14 лет 6 месяцев	Наружное ленточно-мастичное покрытие; Внутреннее полимерное покрытие	Т:−10-+20°С $P_{общ}$ - 4,0 МПа	Нефтегазоводная смесь Обводненность – 93,4%; Общая минерализация – 135 г/л (в том числе Cl^- 85 г/л) pH – 6-7; Растворенный H_2S – 24,1 мг/л Растворенный O_2 – 0,23 мг/л
159х7 из стали 13ХФА	2 года, 3 месяца	Наружное ЛКП	Т: +42°С $P_{общ}$ – 5 МПа	Нефтегазоводная смесь pH 6-7 ед; Обводненность 40-50%; Минерализация 114 г/л (в том числе 71 мг/л Cl^-) Растворенный H_2S – 60 мг/л

Макроанализ сварных соединений

Микрошлиф из сварного шва трубопровода Ø 219х8 из стали 09Г2С (вблизи сквозного поражения)

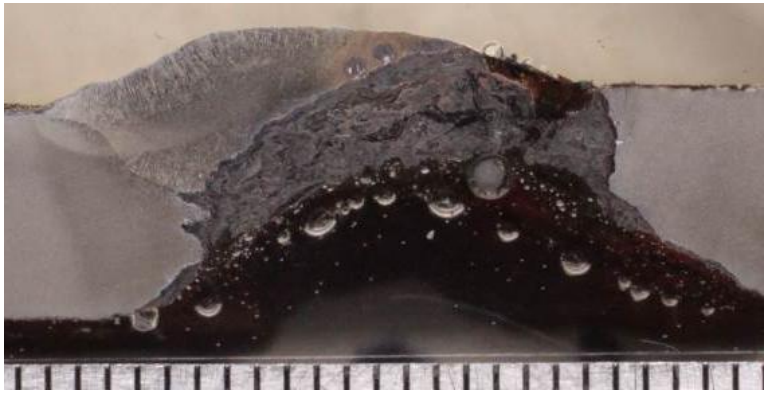


Микрошлиф из сварного шва трубопровода Ø 114х6 из стали 09Г2С (вблизи сквозного поражения)



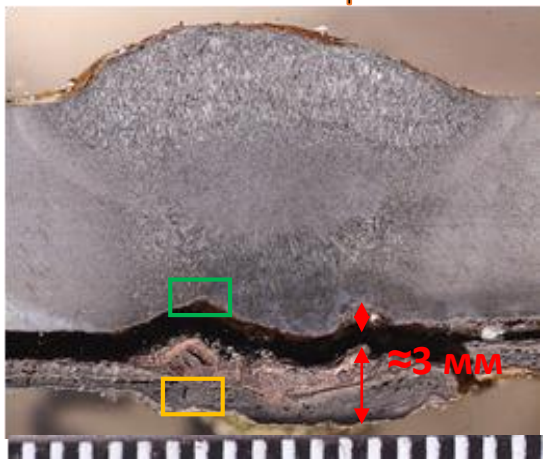
Трубо-провод	Материал сварного шва	Дефекты сварных швов	Твердость	Обл.нег ермет.
Ø219х8 из стали 09Г2С	Сварочные материала типа СВ-08Г2С	Не выявлено	ОМ: 85-89 HRB Шов:83-89 HRB ЛС: 83-86 HRB ЗТВ: 82-86 HRB	6 ч
Ø 114х6 из стали 09Г2С	Электрод LB-52U	Линейное смещение труб до ~3 мм	ОМ: 79-80 HRB Шов:79-90 HRB ЛС: 89-92 HRB ЗТВ: 82 HRB	6 ч
Ø159х7 из стали 13ХФА	Сварочные материала типа СВ-08Г2С	Не выявлено	ОМ:90-91 HRB Шов:84-91 HRB ЛС: 85-87 HRB ЗТВ: 78-82 HRB	6 ч

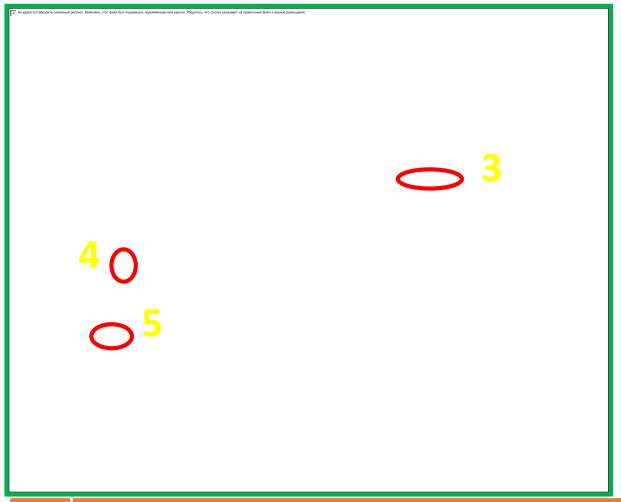
Микрошлиф из сварного шва трубопровода Ø159х7 из стали 13ХФА (область сквозного поражения)

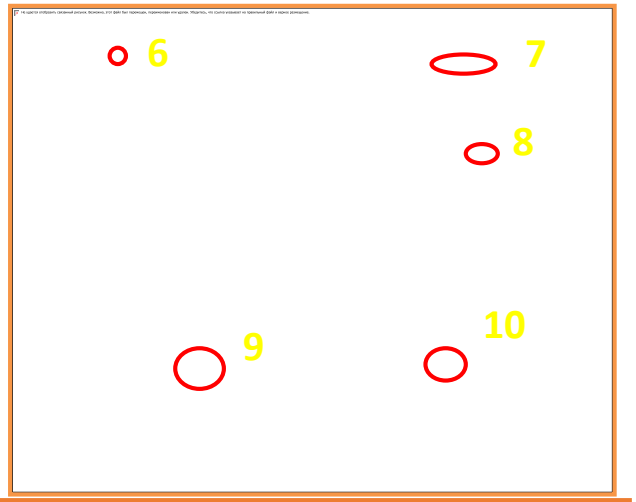


Анализ химического состава отложений с внутренней поверхности трубопровода Ø219х8 мм из стали 09Г2С

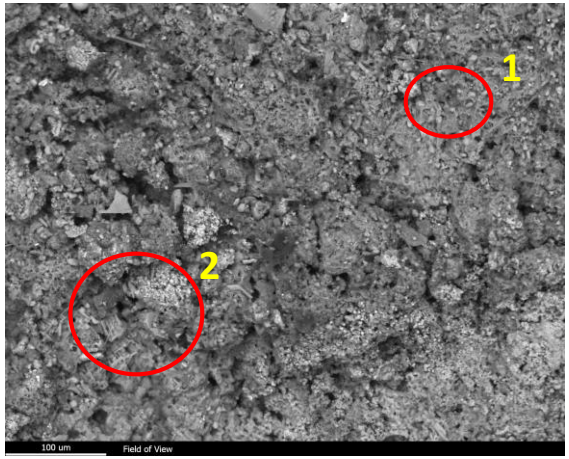
ПК в сечении сварного шва







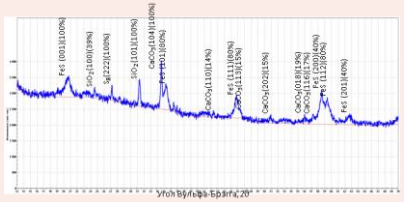
ПК на внутренней поверхности трубопровода



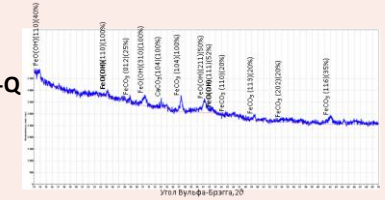
№	Массовая концентрация элементов, %													
	C	O	Si	S	Na	Cl	K	Mg	Ca	Al	Mn	Cr	Zn	Fe
1	10,49	11,20	2,53	12,78	16,04	16,01	-	0,45	3,33	0,80	-	-	-	26,37
2	11,44	17,80	0,50	23,30	6,22	2,90	0,85	0,72	2,59	0,24	-	-	-	33,43
3	11,48	19,92	1,28	0,59	-	0,43	-	-	-	-	0,59	-	-	65,70
4	12,11	19,62	3,78	0,67	-	0,27	0,92	-	-	-	0,62	0,36	-	61,66
5	38,59	12,66	0,25	0,93	-	1,58	-	-	-	-	-	-	-	45,99
6	16,27	23,77	3,91	0,83	1,54	1,68	-	-	-	-	0,87	0,37	-	50,77
7	11,69	25,22	-	1,67	-	1,58	-	-	0,70	-	0,90	-	3,31	54,93
8	15,22	26,43	-	4,84	-	-	-	-	38,61	-	1,08	-	6,90	6,90
9	35,82	8,40	-	16,38	-	0,48	-	-	-	-	-	-	-	38,92
10	15,56	5,47	-	27,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51,58

Результаты рентгенофазового анализа

Наружная сторона
FeS – Mackinawite
S_8 – Sulfur
$CaCO_3$ – Calcite

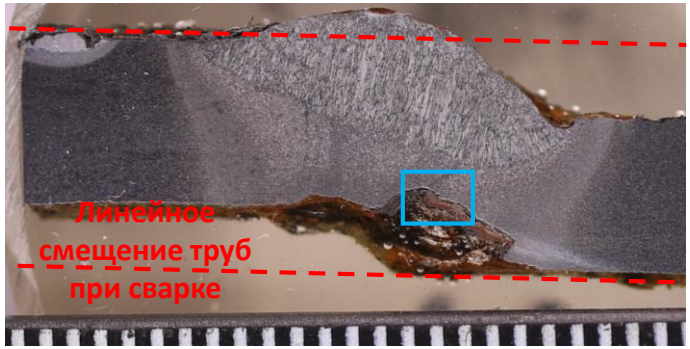


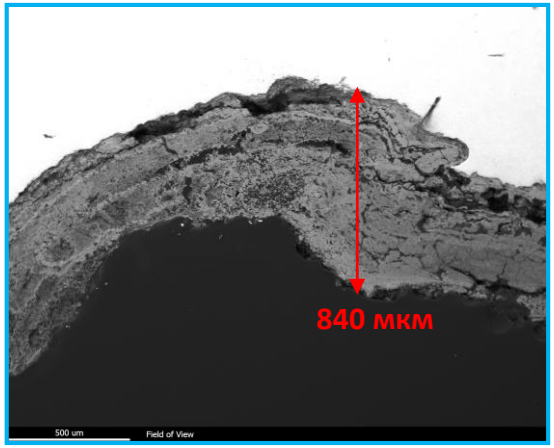
Внутренняя сторона
FeO(OH) - Akaganeite-Q
$FeCO_3$ – Siderite
FeO(OH) – Goethite
$CaCO_3$ – Calcite

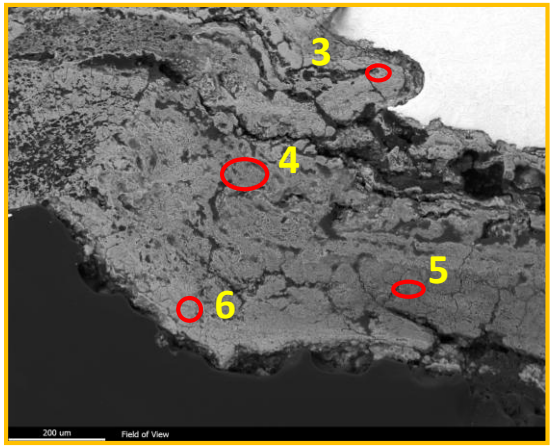


Анализ химического состава отложений с внутренней поверхности трубопровода Ø114х6 из стали 09Г2С

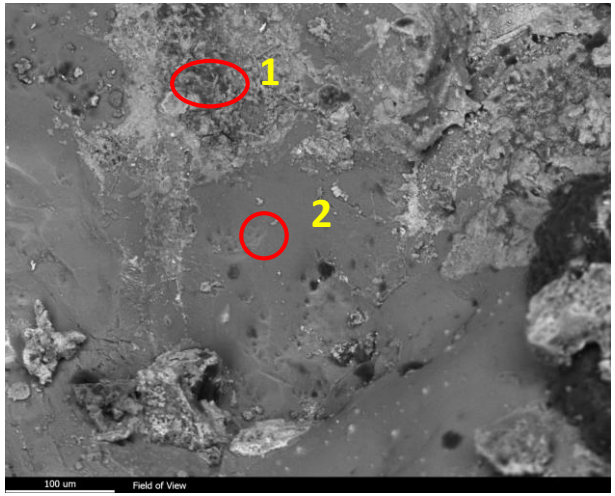
ПК в сечении сварного шва







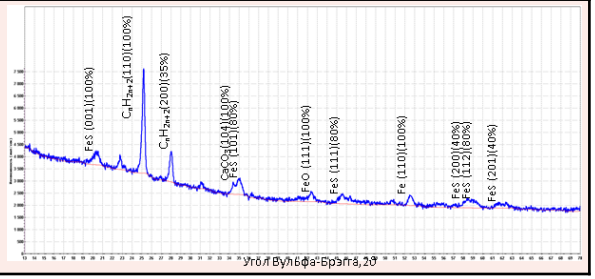
ПК на внутренней поверхности трубопровода



№	Массовая концентрация элементов, %									
	C	O	Si	S	Na	K	Cl	Cr	Mn	Fe
1	21,87	29,78	-	9,94	1,28	-	0,44	-	-	24,58
2	14,75	49,84	-	16,68	-	-	-	-	-	0,77
3	21,87	24,60	2,95	0,53	0,64	0,59	1,22	0,70	0,71	45,17
4	29,49	17,68	0,81	0,85	-	-	4,70	0,91	-	45,54
5	33,16	19,53	3,27	1,31	-	-	4,11	0,82	0,20	37,60
6	26,09	25,28	1,69	1,00	-	-	3,91	0,72	-	41,04

Результаты рентгенофазового анализа

FeS – Mackinawite
Fe – Iron
FeO – Wuestite
$CaCO_3$ – Calcite
C_nH_{2n+2} – n-Paraffin



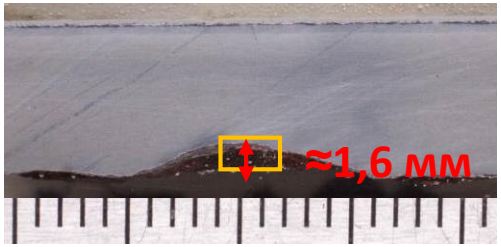
Анализ химического состава отложений с внутренней поверхности трубопровода Ø159х7 мм из стали 13ХФА

Внутренняя поверхность нижней образующей

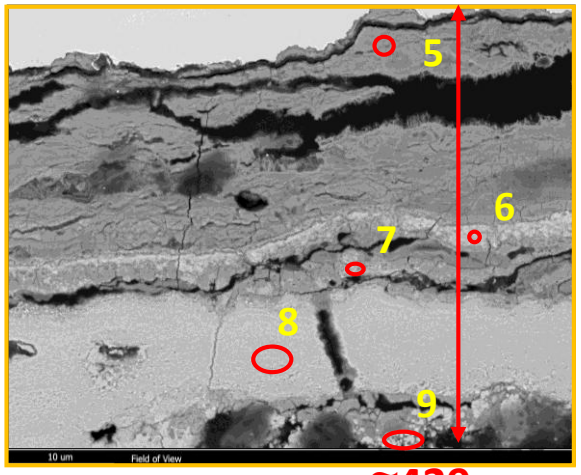
Сварной шов



Микрошлиф через вздувшийся участок окалины



Слой ПК на внутренней поверхности трубопровода



≈429 мкм

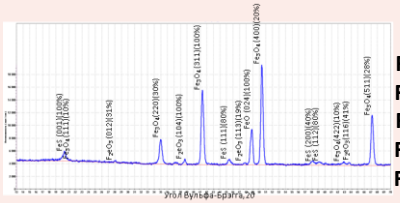




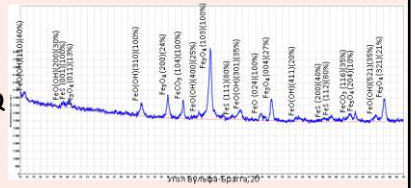
№	Массовая концентрация элементов, %													
	C	O	Si	S	Na	Cl	F	P	Ca	Al	Mn	Cr	Cu	Fe
1	25,15	12,60	1,24	17,48	1,15	1,53	-	-	0,70	0,52	-	-	-	39,63
2	9,98	8,97	-	26,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54,99
3	15,84	11,05	-	11,05	-	4,59	-	-	-	-	-	-	28,69	39,84
4	-	22,57	-	-	-	6,86	-	-	-	-	-	1,54	-	69,04
5	2,02	10,05	0,50	0,65	-	0,47	-	-	-	-	0,50	0,93	-	84,88
7	1,50	-	-	21,36	-	-	-	-	-	-	0,41	1,57	-	75,15
8	8,37	6,01	0,37	7,10	-	-	-	-	-	-	0,78	2,45	1,64	73,28
9	0,87	-	-	20,30	-	-	2,31	0,54	-	-	-	0,77	0,78	65,64
10	2,72	7,76	1,98	7,69	-	0,48	-	-	-	1,98	0,66	1,61	-	77,10

Результаты рентгенофазового анализа

Наружная сторона
Fe_3O_4- Magnetite
Fe_2O_3 – Hematite
FeO – Iron Oxide
FeS – Mackinawite

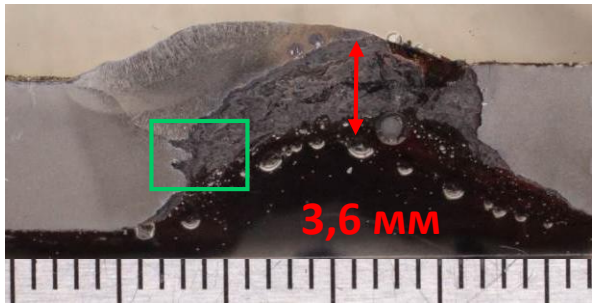


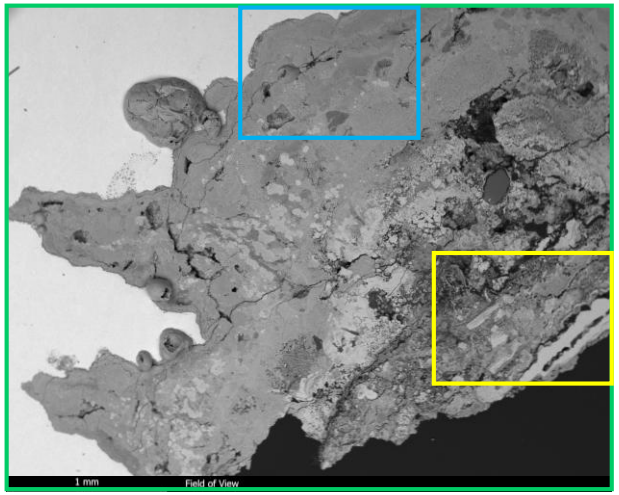
Внутренняя сторона
Fe_3O_4- Magnetite
FeO – Iron Oxide
FeO(OH) - Akaganeite-Q
$FeCO_3$ – Siderite
FeS – Mackinawite

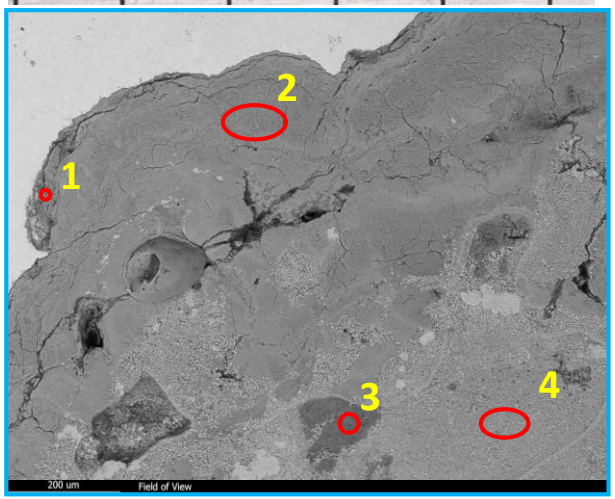


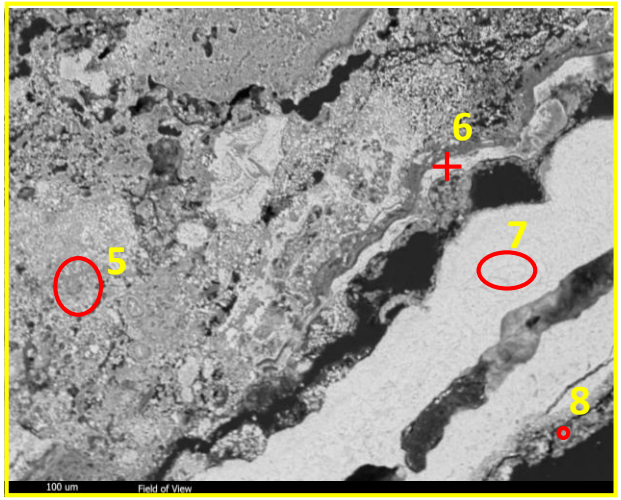
Анализ химического состава отложений с внутренней поверхности трубопровода Ø159х7 мм из стали 13ХФА

ПК в сечении сварного шва







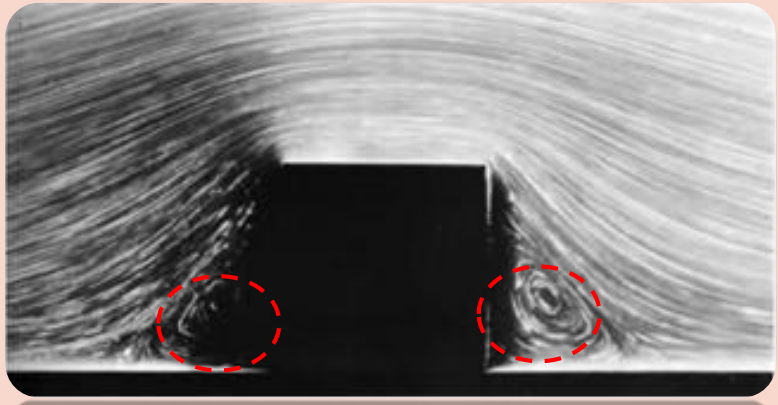


№	Массовая концентрация элементов, %											
	C	O	Si	S	Na	Cl	K	Ca	Al	Mn	Cr	Fe
1	16,96	17,44	1,04	1,22	-	0,70	-	-	-	0,33	0,36	61,90
2	8,94	23,26	3,01	1,28	-	-	-	-	-	1,09	1,13	61,29
3	19,56	22,55	2,52	7,72	4,37	3,51	0,47	0,37	-	1,21	1,38	36,33
4	10,17	12,17	-	22,14	3,02	1,95	-	-	-	-	-	50,54
5	12,36	13,55	-	19,00	-	0,79	-	-	-	-	-	54,24
6	9,59	-	-	34,13	-	-	-	-	-	-	-	56,29
7	6,53	-	-	34,15	-	-	-	-	-	-	-	59,02
8	10,57	15,05	0,92	10,54	-	1,30	-	-	0,47	-	0,37	60,78

Факторы влияющие на локализацию и интенсификацию коррозионных процессов в области сварного шва

- **неоднородность сварного соединения и основного металла трубы по химическому составу и микроструктуре приводит к образованию разности электрохимического потенциала, что не является нарушением технологии сварки, но может инициировать процесс язвенной коррозии**

- **дефекты сварных швов, в т.ч. подрез, превышение выпуклости/проплава, линейное смещение труб и т.д., оказывают влияние на гидродинамику потока, создаются особые зоны, отличающиеся от основного ламинарного потока по составу и условиям течения[1];**



- **присутствие в среде даже малых концентраций растворенного сероводорода в совокупности с высокой концентрацией хлорид ионов способствует ускоренному развитию локальной коррозии.**

1. Альбом течений жидкости и газа: Пер. с англ./Сост. М. Ван-Дайк. – М.: Мир, 1986.-184с.

Благодарю за внимание!

Левахина
Анна Николаевна
Ведущий инженер
отдела металловедения
ООО «ИТ-Сервис»
+7 987 435 2704

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

ЛОКАЛЬНАЯ КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛА ТРУБОПРОВОДОВ С ТРАНСПОРТИРУЕМЫМИ СРЕДАМИ, ОСЛОЖНЕННЫМИ ПРИСУТСТВИЕМ КОРРОЗИОННО-АКТИВНОГО БИОЦЕНОЗА

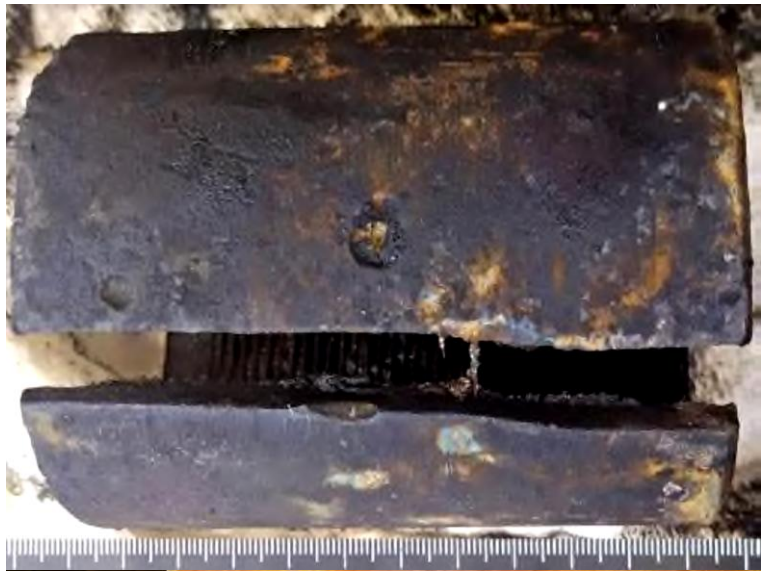
Докладчик:
Инженер ООО «ИТ-Сервис»
Крюков Никита Алексеевич



ВВЕДЕНИЕ

ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КОРРОЗИИ:

1. Коррозионное растрескивание



2. Электрохимическая коррозия



3. Биологическая коррозия



Биологическая коррозия. Роль бактерий

Биоценоз-сообщество взаимосвязанных организмов, в котором продукты жизнедеятельности одних бактерий являются продуктами питания для других.

Главную роль в коррозионной деятельности бактерий нефтяного биоценоза играют:

- Сульфатвосстанавливающие бактерии (СВБ/СРБ) – анаэробные, которые образуют сероводород при восстановлении сульфатов. Деятельность сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ) - основа образования локальных сквозных язв т.к. именно СВБ являются причиной анаэробной катодной деполяризации металла сульфидом железа.

- Тионовые бактерии (ТБ) (тионовые- от лат. назв.серы), окисляя соединения серы (сульфиды и серу) потребляют кислород и образуют сульфаты.

- Железоокисляющие бактерии (ЖБ) - активно потребляют кислород окисляя железо и образуя нарост в виде слоя ржавчины, который скреплен бактериальной слизью, защищающий СВБ от кислородсодержащего потока транспортируемой среды.

- Углеводородокислящие (УОБ) - окисляют углеводороды нефти, утяжеляют ее и поставляют органические питательные вещества для СВБ.

Методы определения биологического наличия микроорганизмов

1. ПОСЕВ (*NACE TM0212, NACE TM0106*)



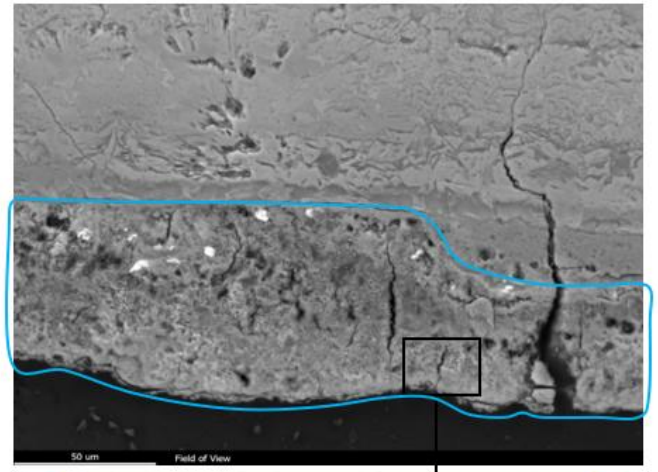


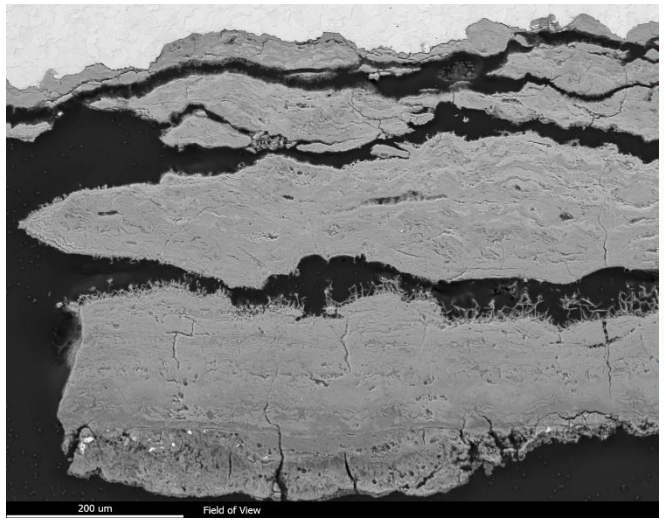


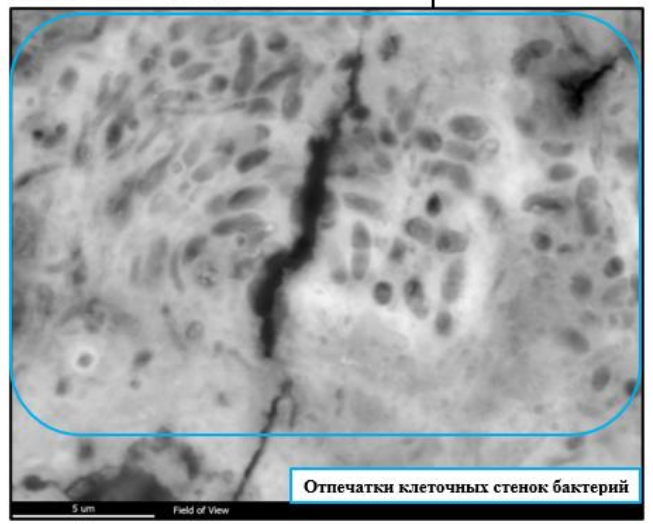


2. Отпечаток бактерий на сканирующем электронном микроскопе

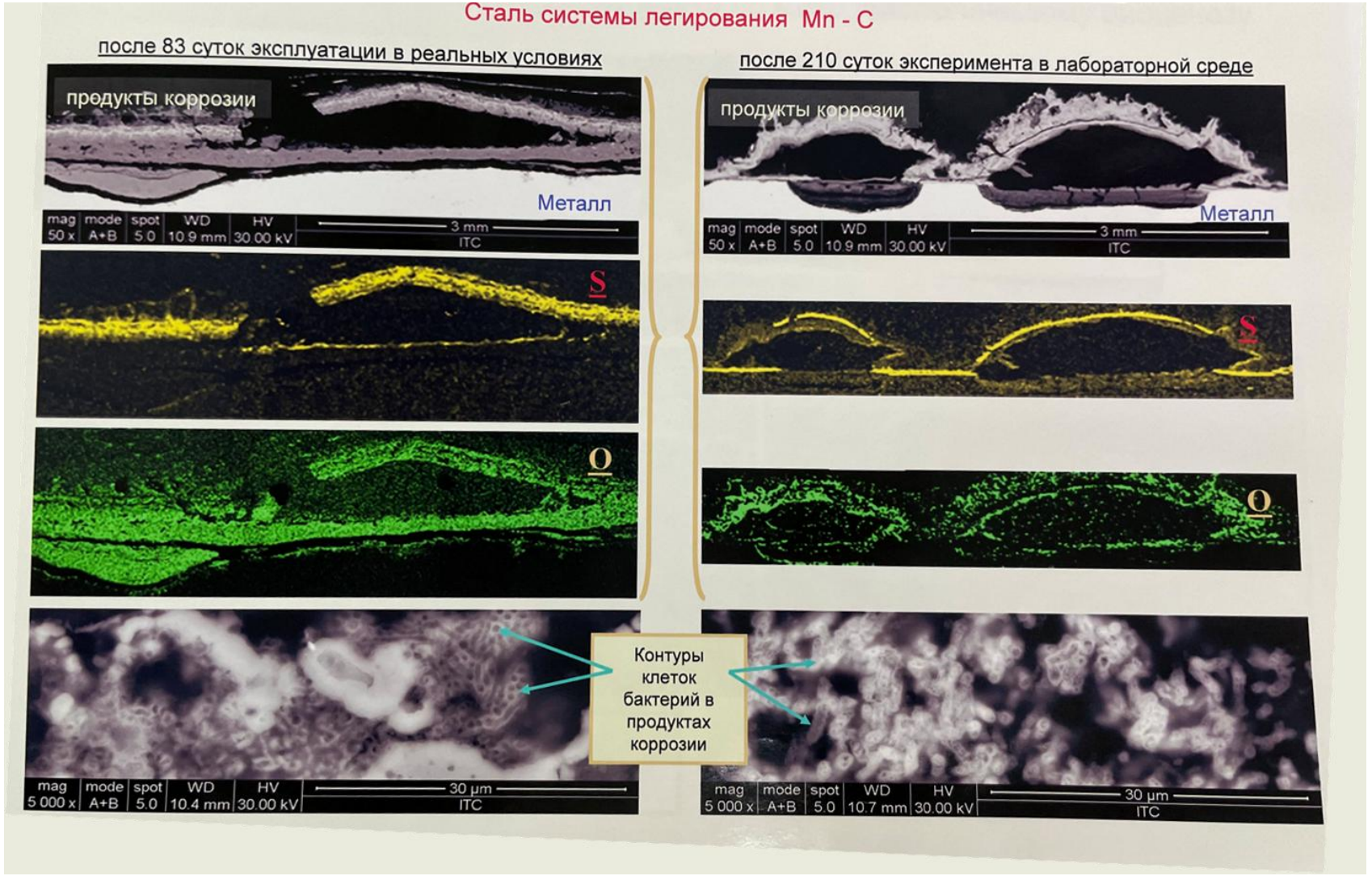








Сечение продуктов коррозии на образцах труб после эксплуатации в реальных и лабо-раторных условиях



Анализ причины отказа технологического трубопровода Ø530х10 из стали 13ХФА, К52





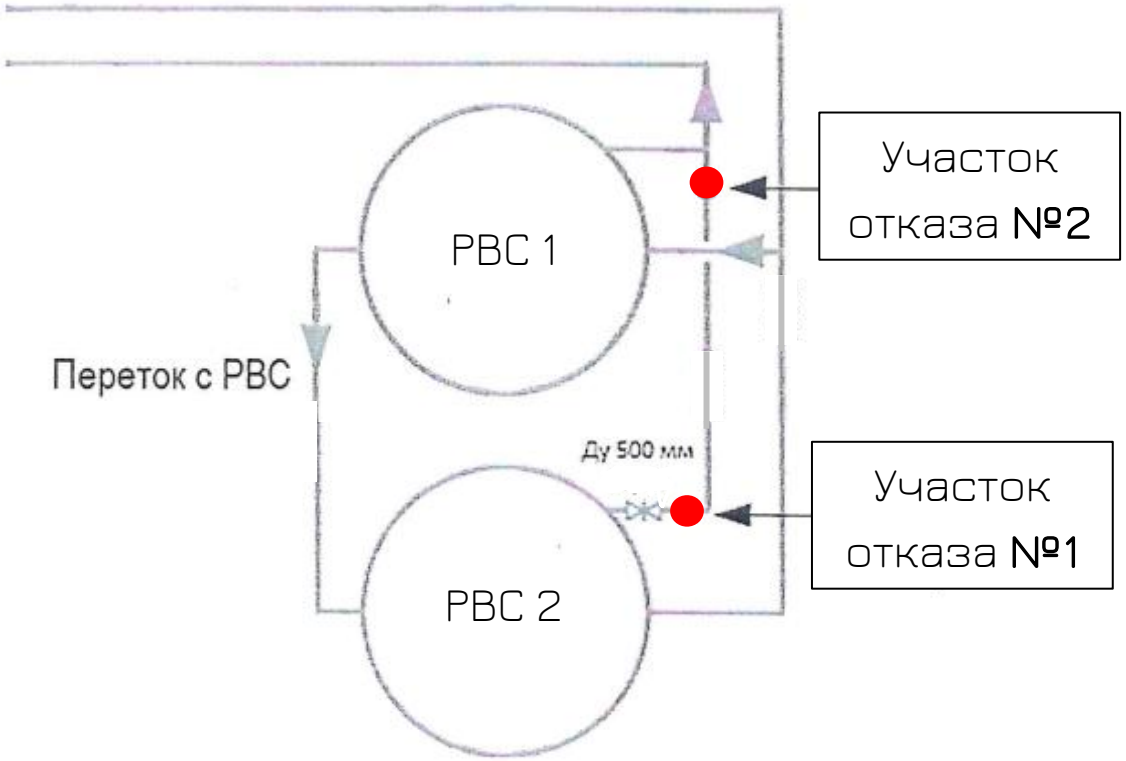
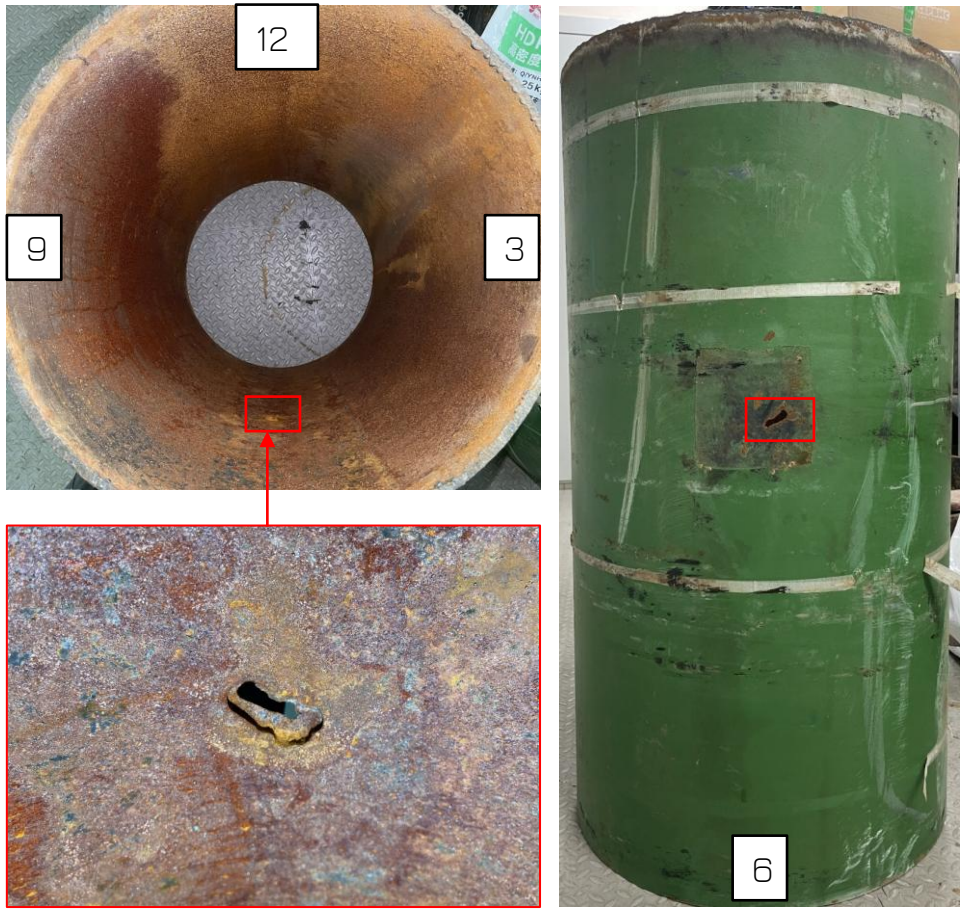


Таблица 1. Условия эксплуатации

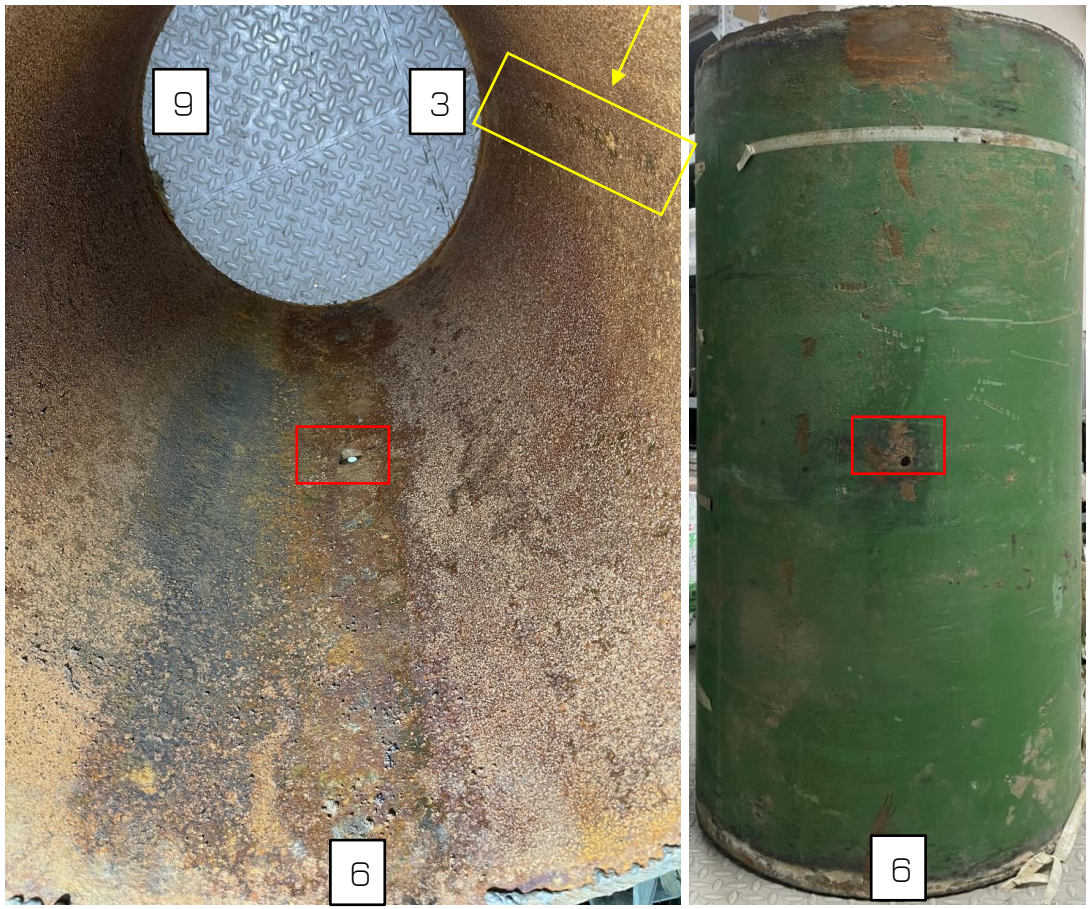
Срок эксплуатации:	8 месяцев
Перекачиваемая среда:	Подтоварная вода, Пластовая вода
Температура перекачиваемой среды, °С	+20...+22
Давление, Мпа	0,02-0,11

Анализ причины отказа технологического трубопровода Ø530х10 из стали 13ХФА, К52



Участок №1 трубопровода, по поступлении

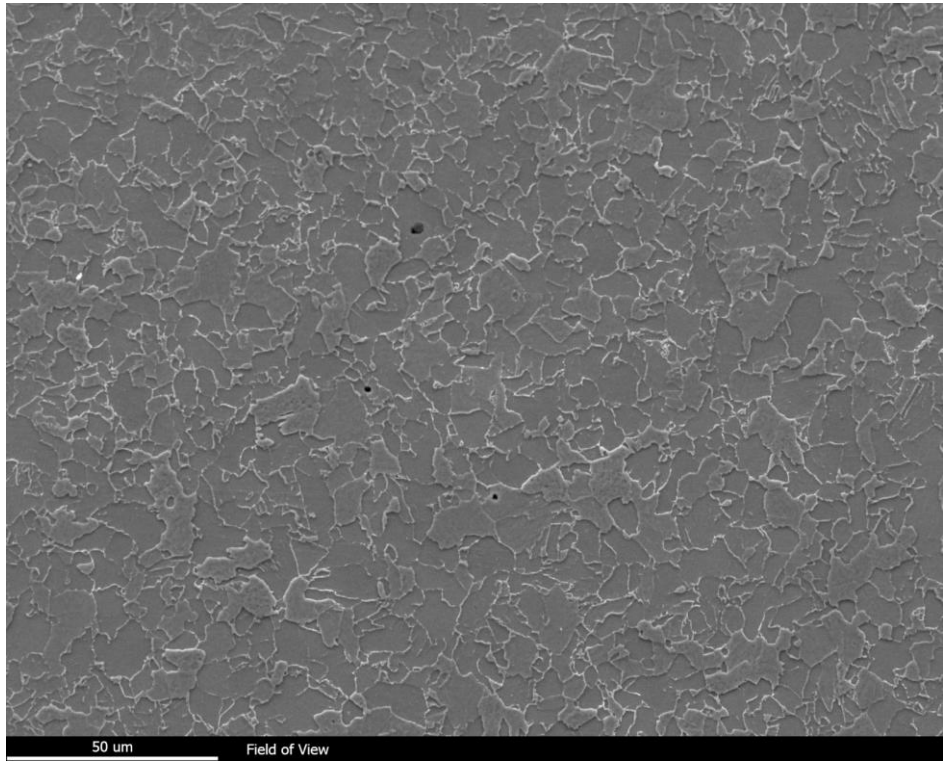
Язвенный ручеек

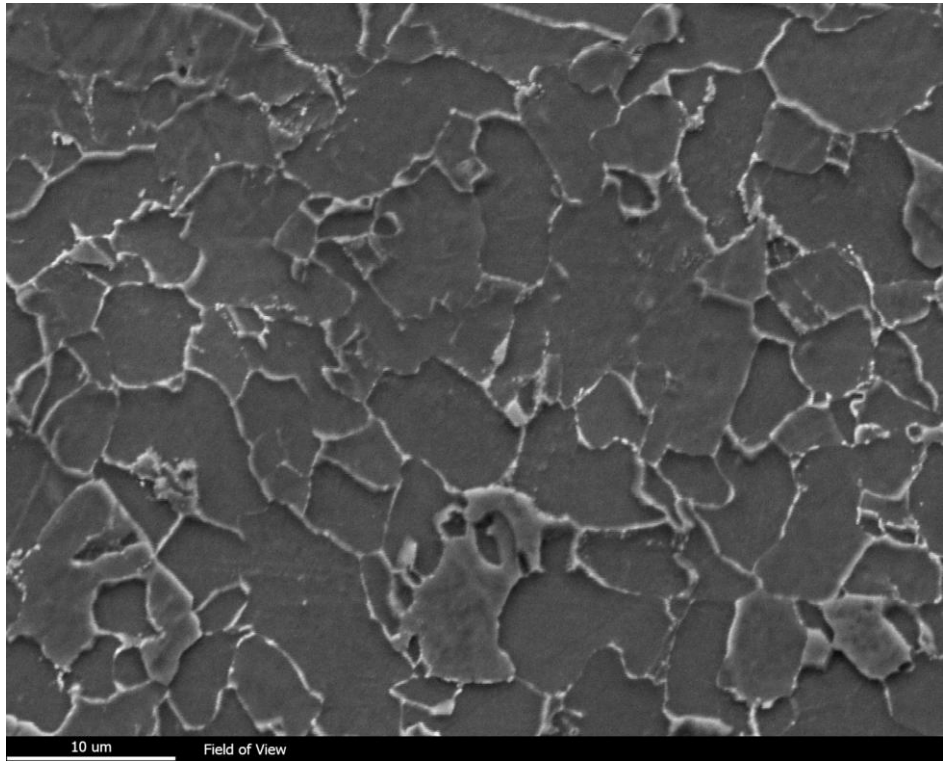


Участок №2 трубопровода, по поступлении

Свойства материала трубы Ø530х10

Микроструктура





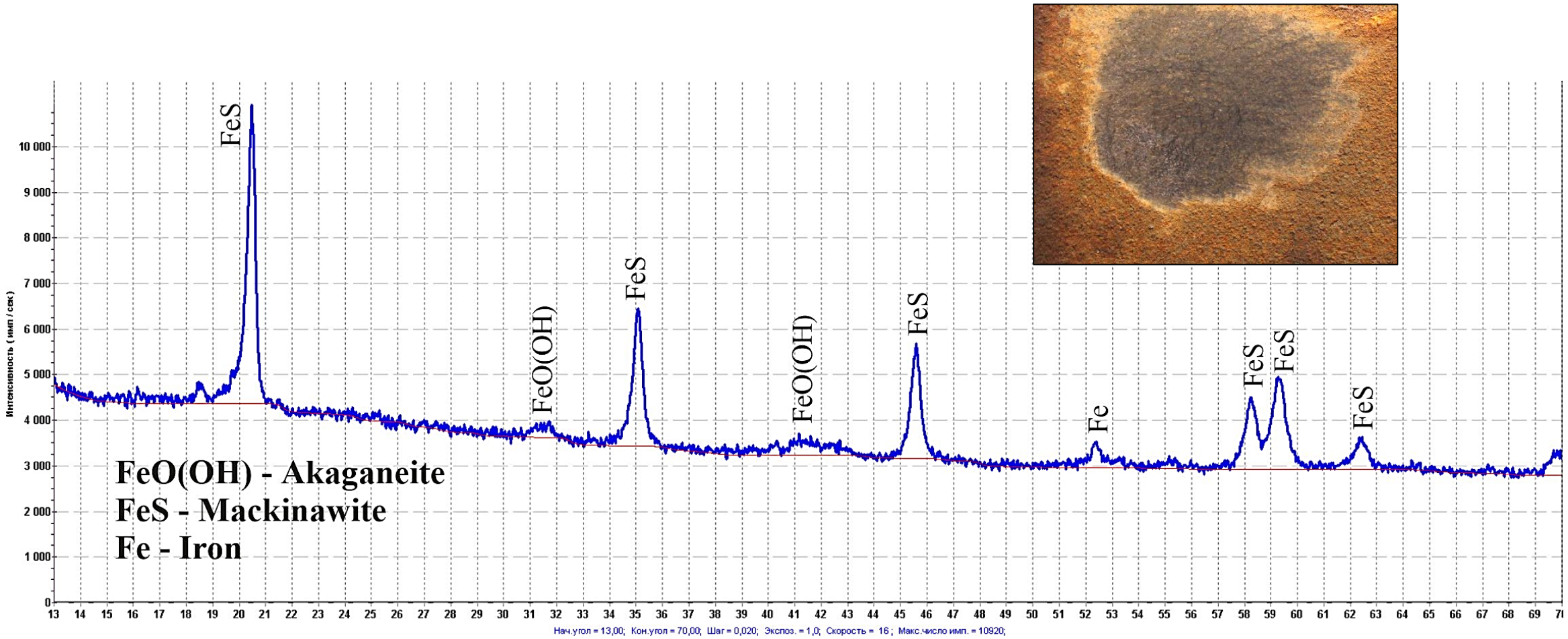
Химический состав

Массовая доля элементов, %											
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu	V	Nb	Ti
0,06	0,24	0,63	0,005	0,001	0,56	0,07	0,03	0,13	0,04	0,03	0,003
Требования ТУ 1380-075-05757848-2013 для стали 13ХФА											
0,04-0,13	0,17-0,37	≤0,70	≤0,015	≤0,005	0,50-0,70	≤0,30	0,02-0,05	≤0,30	0,04-0,09	≤0,03	≤0,040

Твердость материала

		Значения твердости, HRB		
Труба	наруж.	89,0	89,0	88,5
	центр.	90,0	90,0	89,5
	внутр.	91,0	90,5	90,5

Рентгенофазовый анализ коррозионных отложений трубопровода



Рентгенофазовый анализ коррозионных отложений с внутренней поверхности трубы

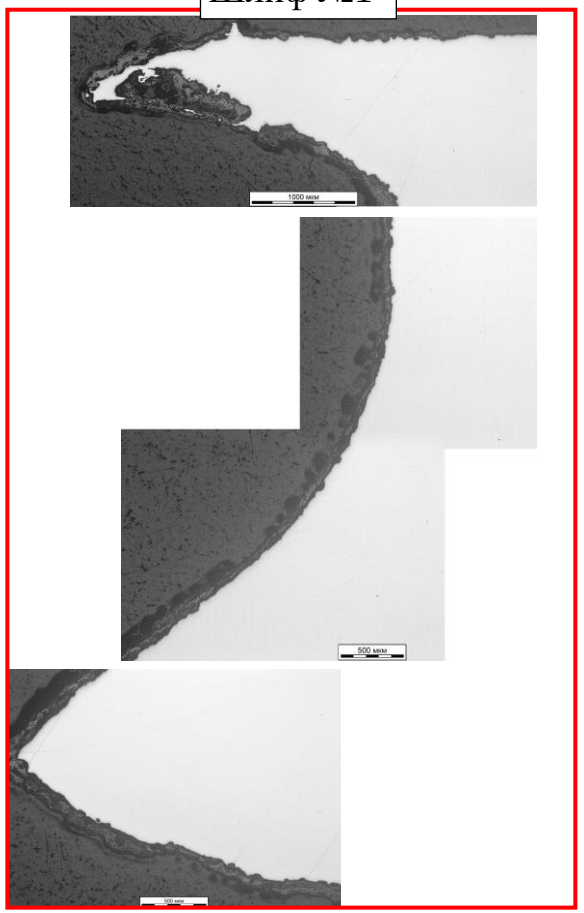
Внешний вид сквозного коррозионного поражения и состав отложений продуктов коррозии с фрагмента трубы (участок №1)

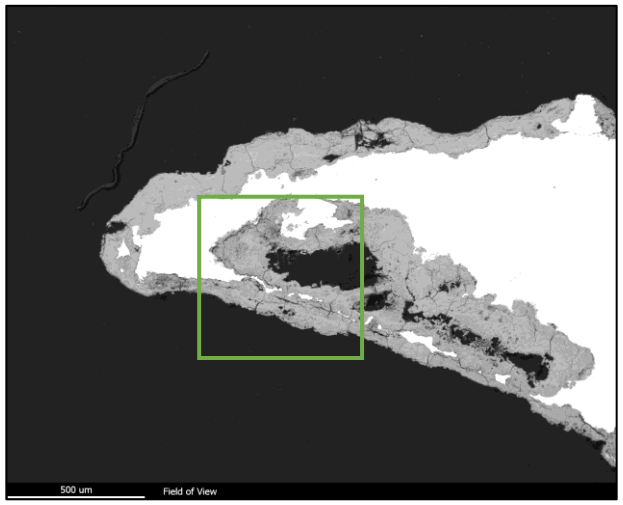


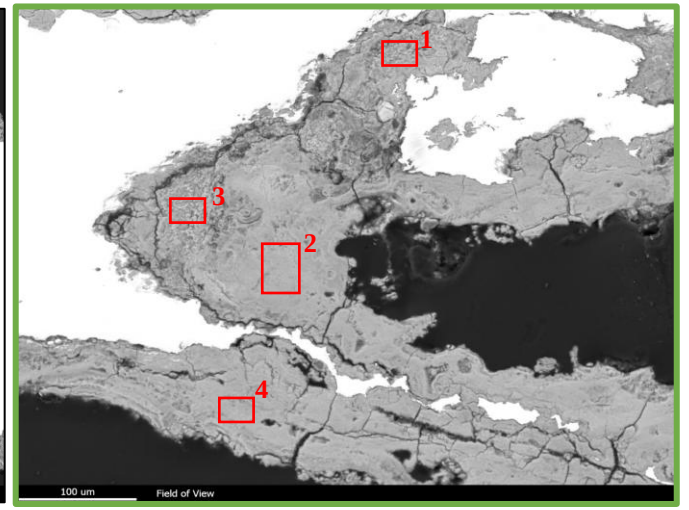




Шлиф №1



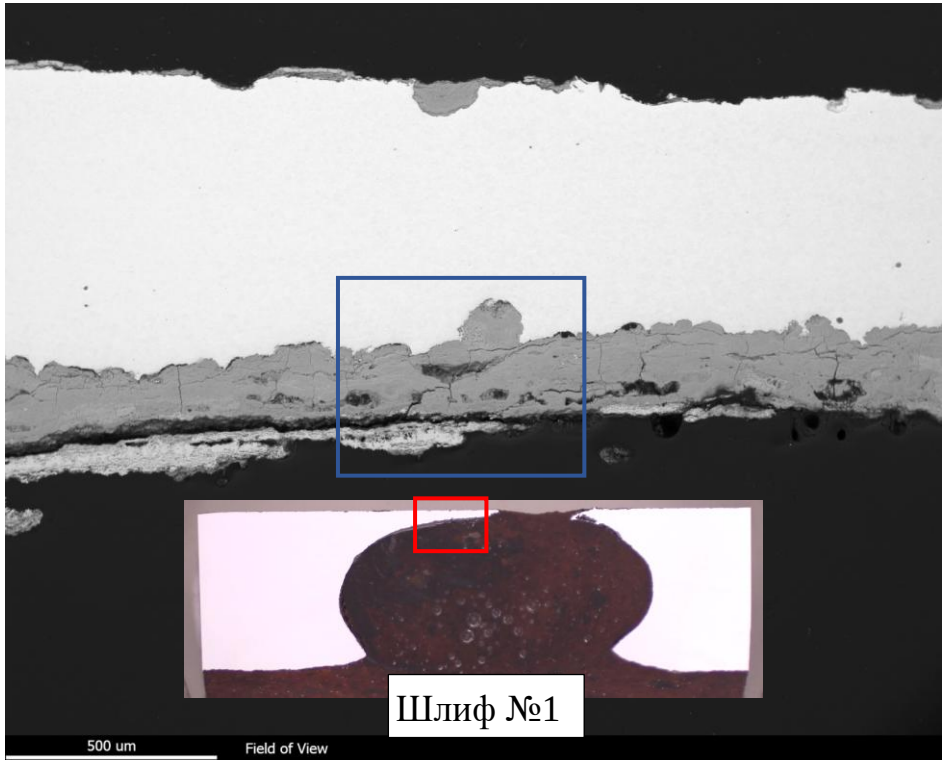


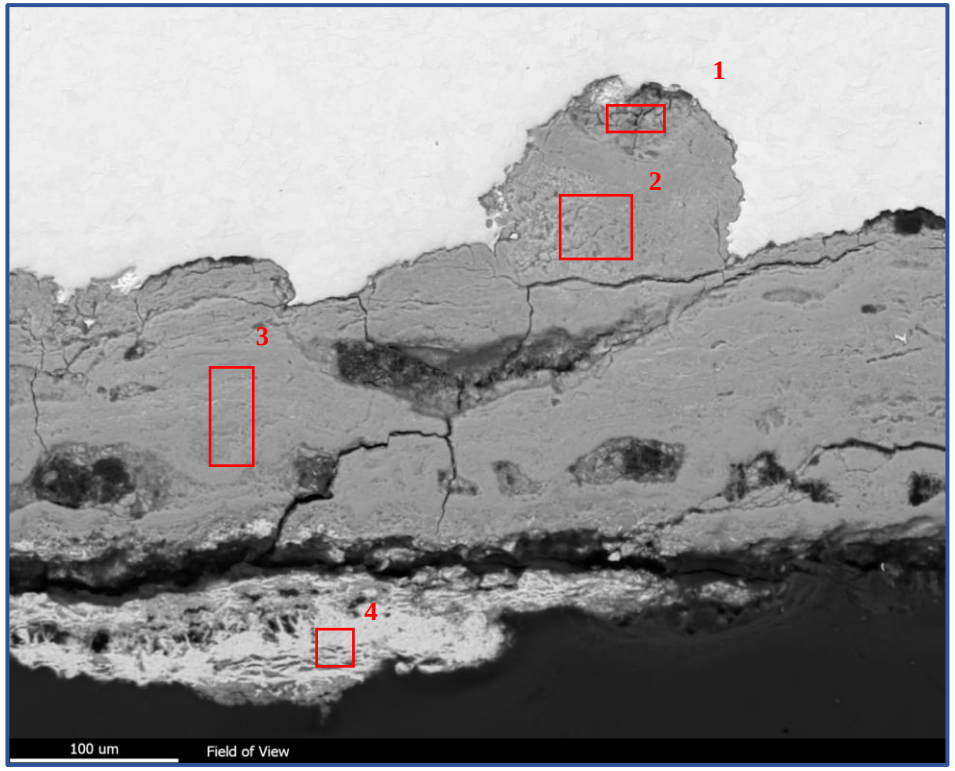


Химический состав продуктов коррозии

	C	O	Si	S	Ca	Fe	Mn	Cr	Cu	Ni	V
1	12.06	21.47	0	2.76	0	Ост.	0.75	0.95	3.98	0	0
2	4.35	30.57	0.19	0	0.58	Ост.	0.95	0	0	0	0
3	11.59	19.29	0	3.80	0	Ост.	1.04	1.33	5.23	1.94	0.59
4	4.84	29.29	0	0.80	0	Ост.	0.44	0.22	0	0	0

Внешний вид сквозного коррозионного поражения и состав отложений продуктов коррозии с фрагмента трубы (участок №1)

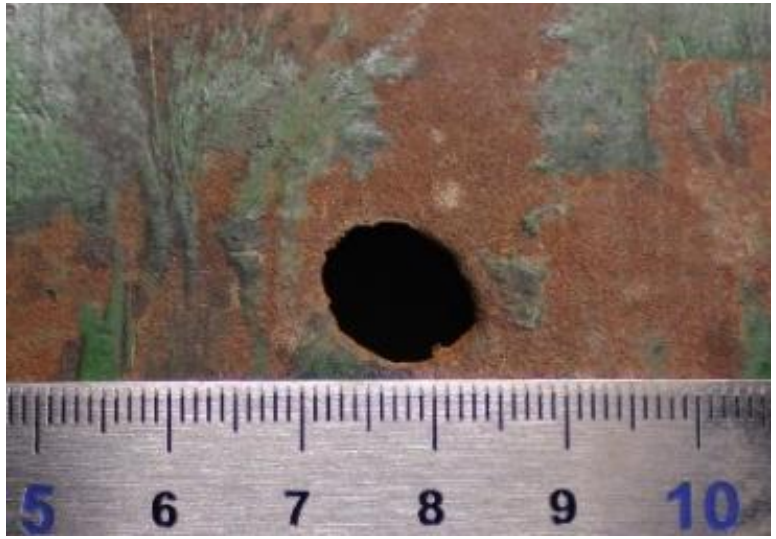




Химический состав продуктов коррозии

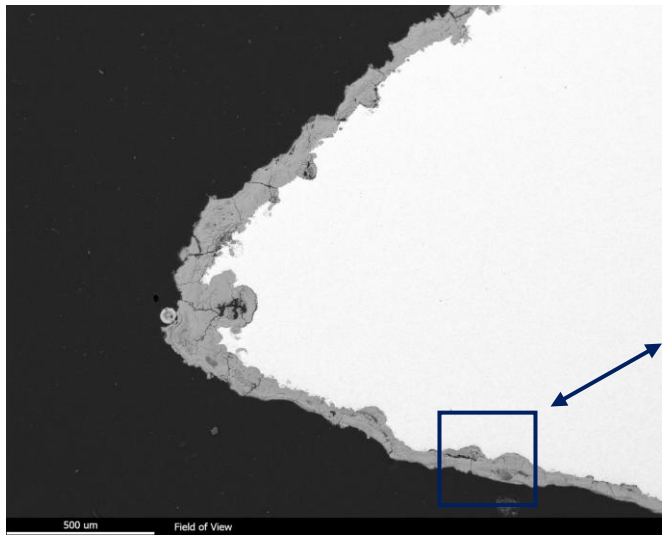
	C	O	Si	S	Fe	Mn	Cr
1	8.16	21.40	1.21	1.69	Ост.	0.54	1.81
2	4.61	23.89	0.45	0.39	Ост.	0.82	1.94
3	4.70	27.03	0.27	0.80	Ост.	0.56	0.53
4	11.65	0	0	31.40	Ост.	0	0

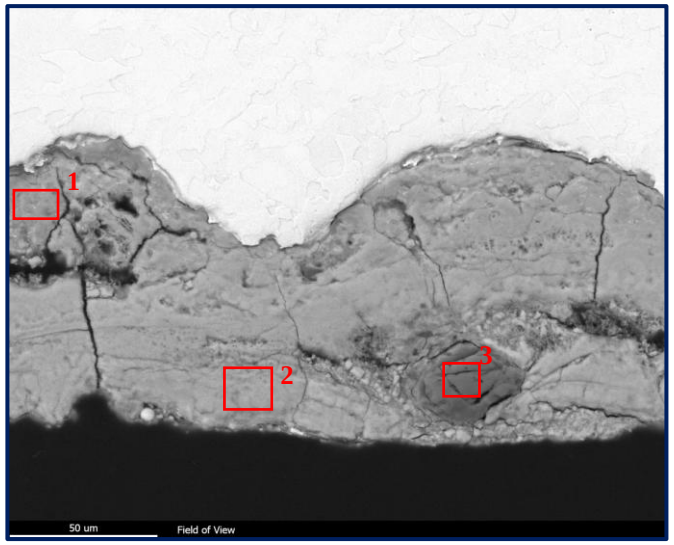
Внешний вид сквозного коррозионного поражения и состав отложений продуктов коррозии с фрагмента трубы (участок №2)







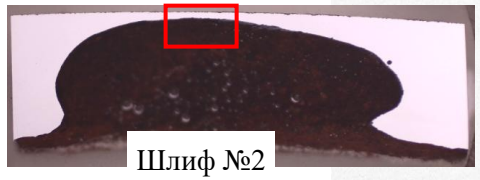




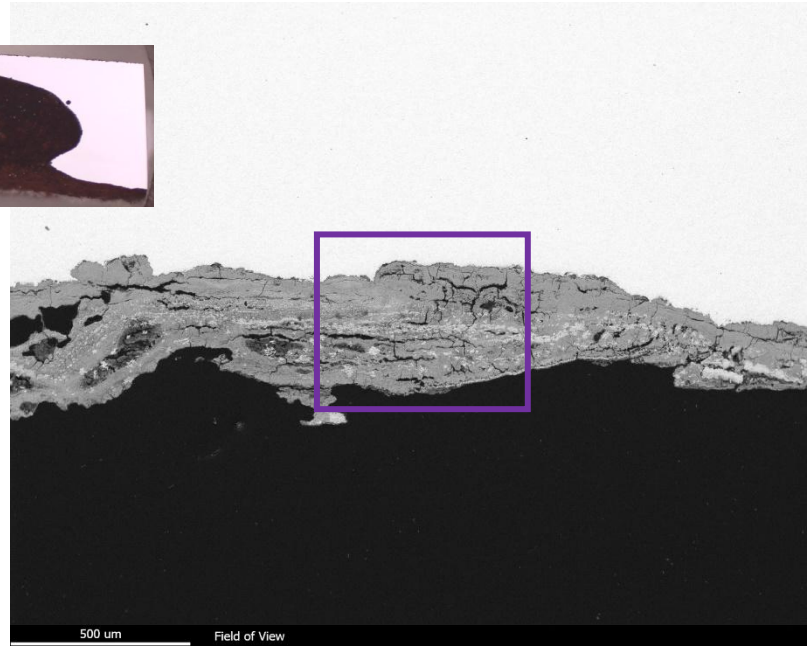
Химический состав продуктов коррозии

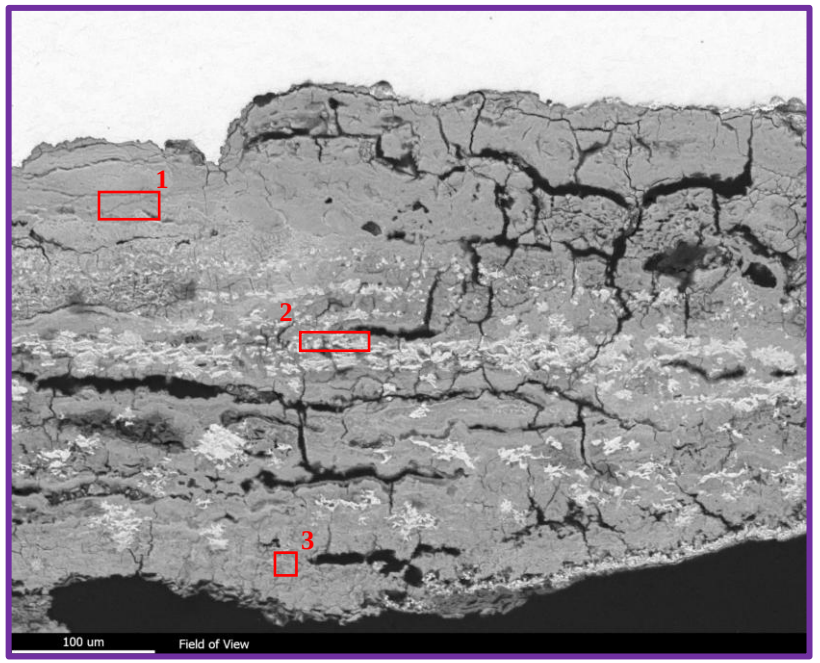
	C	O	Si	S	Fe	Mn	Cr	Cl	K	Al
1	4.77	23.91	0.54	0.32	Ост.	0.47	2.18	0.62	0	0
2	4.92	26.65	0.38	0.57	Ост.	0.25	0	0.71	0	0
3	4.22	31.55	38.02	0	Ост.	0	0	0	13.07	11.85

Состав продуктов коррозии на поверхности трубы с аварийного участка №2



Шлиф №2



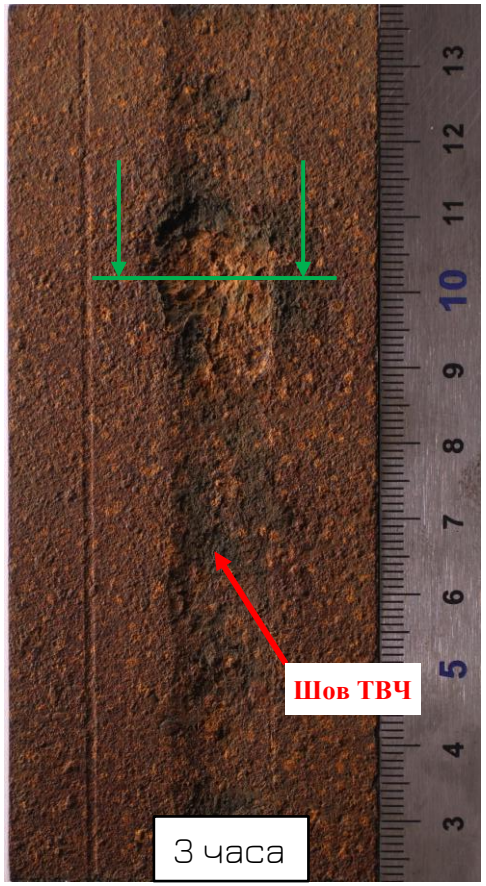


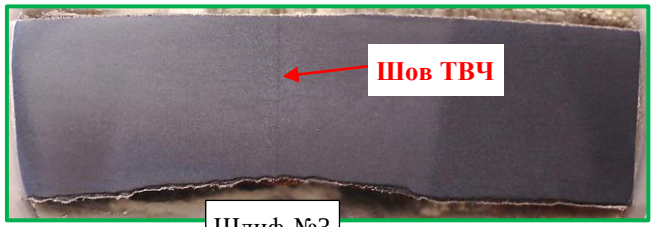
Химический состав продуктов коррозии

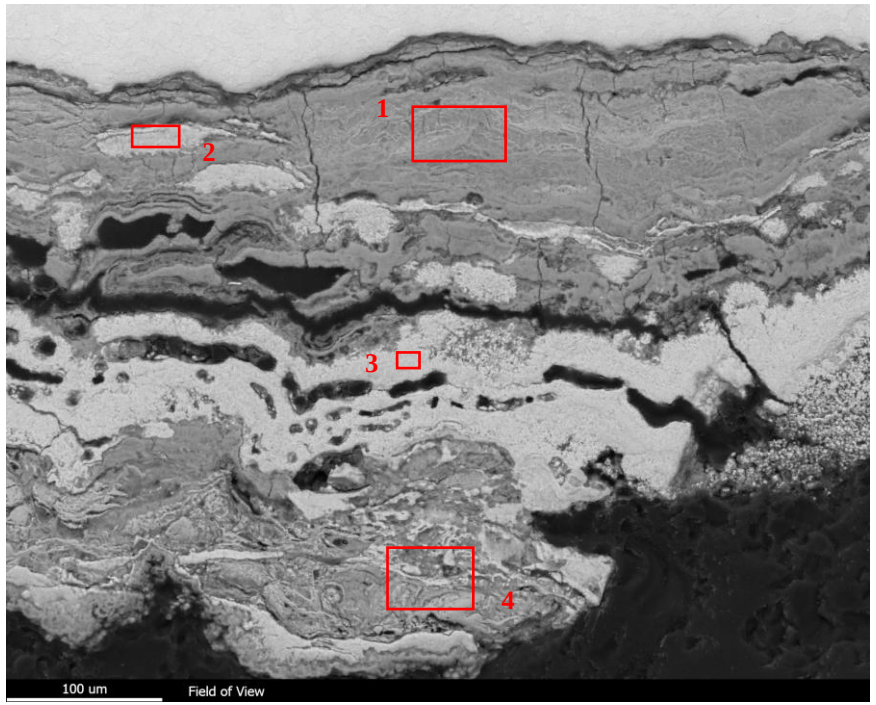
	C	O	Si	S	Fe	Mn	Cr
1	4.14	26.87	0.46	0.61	Ост.	0.44	0.80
2	15.94	18.81	0	12.88	Ост.	0.23	1.98
3	9.68	26.65	0.33	1.51	Ост.	0.45	2.13

Внешний вид коррозионного поражения и состав отложений продуктов коррозии с фрагмента трубы (участок №2)





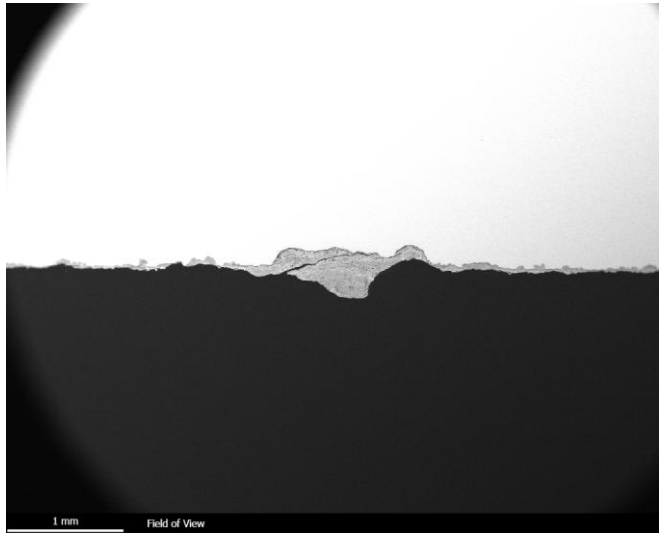


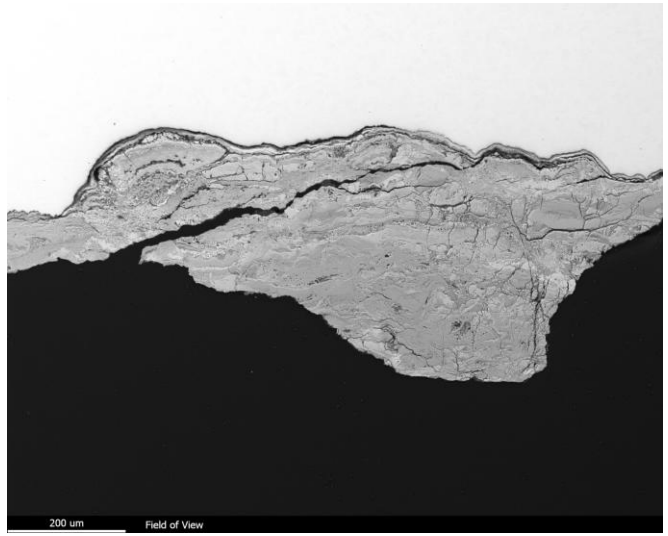


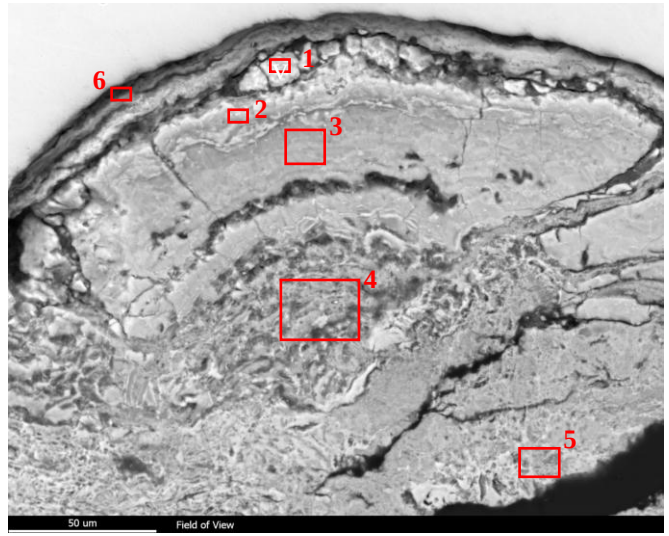
Химический состав продуктов коррозии

	C	O	Si	S	Fe	Mn	Cr
1	8.42	21.37	0.60	0.78	Ост.	0.40	1.22
2	7.15	0	0	31.36	Ост.	0	0.76
3	8.31	5.68	0	28.44	Ост.	0	0.92
4	12.62	14.57	0.85	19.85	Ост.	0.22	1.78

Состав коррозионных отложений на ровной поверхности фрагмента трубы с участка №2







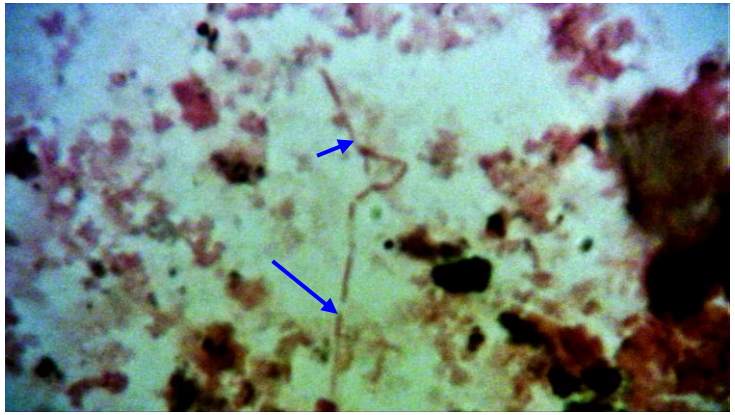
Химический состав продуктов коррозии

	C	O	Si	S	K	Fe	Mn	Cl	Cr
1	10.76	4.71	0.63	24.89	0	Ост.	0	0	1.60
2	7.99	7.07	1.26	27.44	0.90	Ост.	0.44	0	5.71
3	6.75	5.89	2.54	28.73	0.87	Ост.	0.30	0	3.88
4	19.02	4.36	0	26.53	0.48	Ост.	0.46	0	1.99
5	10.13	0	0	33.64	0	Ост.	0	0	0
6	16.42	7.90	0.49	17.34	0	Ост.	0.34	1.16	0.95

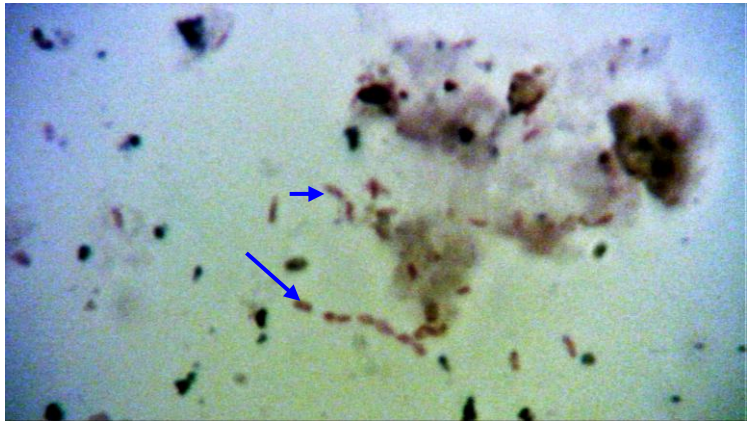
Микробиологический анализ трубопровода Ø530х10

Объект исследования, маркировка	Физиологическая группа микроорганизмов	Сульфатвосстанавливающие бактерии, (СВБ)	Сероокисляющие (тионовые) бактерии, (ТБ)	Углеводо-родокисляющие бактерии (УОБ)	Железооки-сляющие бактерии, (ЖБ)
Труба Ø530х10	Количество клеток в 1г соскоба	10^2	отсутствуют	10^3	10^2
	Индекс активности, %*	100	-	100	100
	Микроскопия	Desulfotomaculum sp	-	Acinetobacter sp	Siderococcus sp.

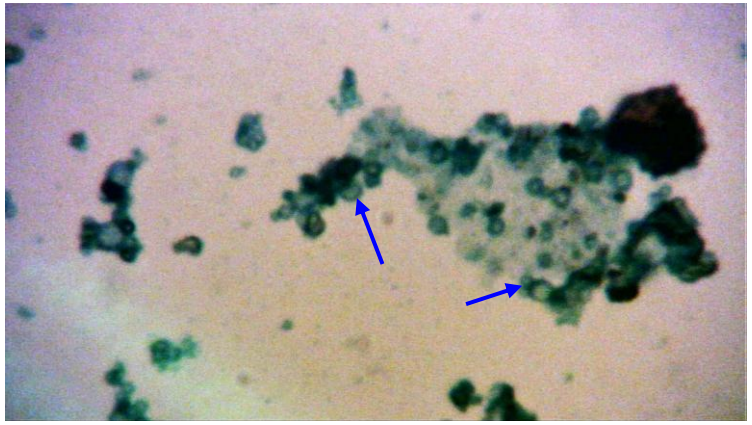
* - Индекс биохимической активности углеводородокисляющих и сульфатвосстанавливающих бактерий максимальный и составляет 100%. Индекс биохимической активности определяется по времени появления признаков жизни бактерий: через 24 часа-100%, через 48 часов – 50%.



Вид обнаруженных сульфатвосстанавливающих бактерий (СВБ)



Вид обнаруженных углеводородокисляющих бактерий (УОБ)



Вид обнаруженных железоокисляющих бактерий (ЖБ)

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

- Наибольшее влияние на ускоренный выход из строя трубопроводов и нефтепромыслового оборудования оказывают **адгезионные формы бактерий**, которые прикрепляются к поверхности металла и образуют защитные «капсулы» и в процессе своей жизнедеятельности выделяя коррозионно-агрессивные компоненты (в т.ч. **сероводород**).
- В результате своей жизнедеятельности бактерии могут привести к **образованию зародыша язвы**, который даже без дальнейшего влияния микроорганизмов может превратиться в сквозную язву за счет сформировавшейся разности потенциалов на дне и на берегах язвы.
- Поэтому для снижения риска преждевременного выхода из строя **рекомендуется** проводить микробиологические исследования на наличие адгезионных форм микроорганизмов в рамках работ по мониторингу коррозии и экспертизе отказов.

Благодарю за внимание!