ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

КОРРОЗИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ЭП33 В H_2S-СОДЕРЖАЩЕЙ СРЕДЕ

Докладчик:
Ведущий инженер отдела исследования металлопродукции
ООО «ИТ-Сервис»
Гукин Антон Евгеньевич

Основные виды работ по материаловедению

Департамент специального материаловедения

Экспертиза отказов, Технический арбитраж

Выполняются металлографические экспертизы различных объектов – погружного оборудования, труб нарезных и нефтегазопроводных, технологического оборудования.

Проведено более 500 экспертиз образцов из сталей, сплавов никеля и сплавов меди, вышедших из строя в сложных H_2S- и CO_2-содержащих средах.

Проведение испытаний. Разработка материалов и технологий

Аккредитованный испытательный центр оснащен лабораторно-исследовательской инфраструктурой, позволяющей проводить коррозионные испытания в CO_2- и H_2S-содержащих средах при различных термобарических условиях, механические и микробиологические испытания, а также металлографические исследования, в т.ч. с применением растровой электронной микроскопии и микроанализа.

Мониторинг коррозии

Осуществляется оперативный контроль скоростей коррозии, эффективности применяемых химических реагентов на вверенных объектах нефте- и газопромысловой инфраструктуры. Производится отбор проб НГЖС с последующей оценкой ее состава, включая бактериологическую зараженность.

Разработка нормативной документации

Выполняется разработка технических требований нефтяных компаний к трубной продукции, инструкций по эксплуатации нефтегазопроводных и нарезных труб, а также ТУ и ТС.

Возможности Испытательного центра

Проводится широкий спектр испытаний, необходимых как для определения соответствия свойств и параметров материала оборудования требованиям нормативно-технической документации, так и для определения причины преждевременного выхода из строя оборудования в процессе эксплуатации.

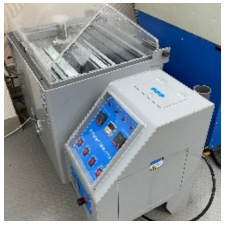
Стандартные методы испытаний:

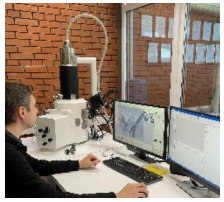
1. Коррозионные испытания по NACE TM0177, ASTM G39, NACE TM0284, NACE TM0136 и др
2. Коррозионные испытания по ГОСТ 9. 908, ГОСТ 9.502, ГОСТ 6032 и др
3. Механические испытания по ГОСТ 1497, ГОСТ 11701, ГОСТ 9454, ГОСТ 9013, ГОСТ 2999 и др
4. Микробиологические испытания по NACE TM0194, NACE TM0106, NACE TM0212 и др
5. Химический анализ по ГОСТ Р 54153, рентгенофазовый анализ
6. Металлографические исследования по ГОСТ 5639, ГОСТ 5640, ГОСТ 1778 и др

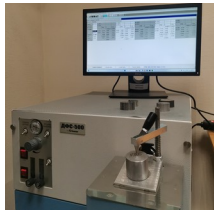
Нестандартные методы испытаний:

1. Автоклавные испыатния в динамических и различных термобарических условиях в CO_2 и H_2S–содержащих средах образцов сталей различных марок, включая образцы под нагрузкой
2. Испытания в электрохимических ячейках с дополнительно установленными гравиметрическими образцами-свидетелями коррозии
3. Динамические испытания образцов сталей в присутствии ингибиторов в U-образных ячейках
4. Испытания материалов в климатической камере (тепло, холод, влага) и камере соляного тумана









Краткие данные о стали 10Х11Н23Т3МР (ЭП33)

Химический состав по ГОСТ 5632-2014

Марка стали	Содержание элементов, масс.%									
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Ti	Al
10Х11Н23Т3МР	≤0,10	≤0,60	≤0,60	≤0,01	≤0,025	10,0-12,5	21,0-25,0	1,0-1,6	2,6-3,2	≤0,80

Механические свойства в зависимости от термической обработки рекомендуемой по ГОСТ 5949-2018

Рекомендуемый режим термической обработки	Временное сопротивление $\sigma_в$, Н/мм²	Предел текучести $\sigma_т$, Н/мм²	Относительное удлинение δ_5, %	Относительное сужение после разрыва ψ, %
Закалка с температуры (1100 - 1170) °С, выдержка 2 - 5 ч, охлаждение на воздухе или в масле, старение при температуре (750 - 800) °С в течение 16 - 25 ч, охлаждение на воздухе	**880**	**590**	**8**	**10**
Закалка с температуры (950 - 1050) °С, выдержка 2 - 5 ч, охлаждение в масле, старение при температуре (730 - 780) °С в течение 16 ч, дополнительное старение при температуре (600 - 650) °С, выдержка 10 - 16 ч, охлаждение на воздухе	**980**	**685**	**10**	**12**

Применение стали 10Х11Н23Т3МР (ЭП33)

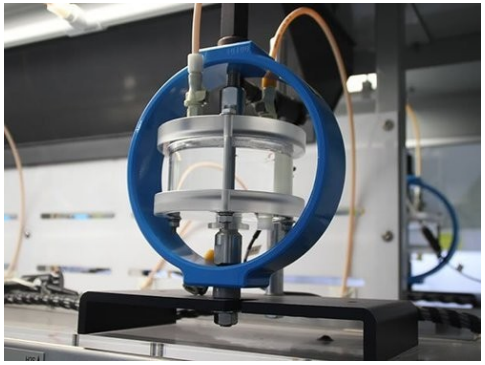
- **Высокотемпературные пружины: Изготовление упругих элементов и пружин особо ответственного назначения, которые должны сохранять свои свойства и не проседать при сильном термическом нагреве;**
- **Элементы газовых турбин: Производство лопаток компрессоров, дисков турбин, фланцев и кольцевых деталей авиационных двигателей и промышленных газотурбинных установок;**
- **Специальный жаропрочный крепеж: Шпильки, болты, гайки и силовые болтовые соединения, предназначенные для работы при температурах до +700 °С;**
- **Криогенная арматура: Изготовление узлов, клапанов и элементов трубопроводов для работы со сжиженными газами, где металл не должен становиться хрупким на экстремальном холоде;**
- **В качестве материала для изготовления деталей устьевого оборудования, фонтанной арматуры и подземного оборудования.**

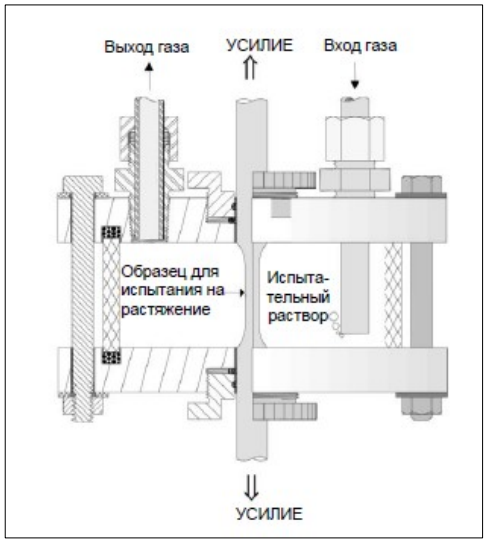
Элементы деталей устьевого оборудования, фонтанной арматуры и подземного оборудования

- **Элементы устьевого оборудования. . В отличие от рядовых сталей, она практически не подвержена температурной ползучести, что гарантирует сохранение геометрии деталей и герметичность соединений в течение долгого времени.**
- **Элементы фонтанной арматуры. Высокое содержание никеля (~23%) и хрома (~11%) обеспечивает надежную защиту металла от коррозии под воздействием пластовой воды, солей и углекислого газа.**
- **Элементы запорно-регулирующей арматуры. Сталь аустенитного класса повышенной хладостойкости, сохраняющая ударную вязкость даже при криогенных температурах до –253 °C.**
- **Элементы погружного оборудования. используется для изготовления силовых пружин, работающих в сжатом состоянии годами.**
- **Крепежные элементы. Высокий предел текучести ЭП33 позволяет использовать ее для специального высокопрочного крепежа, выдерживающего постоянные статические и динамические нагрузки.**

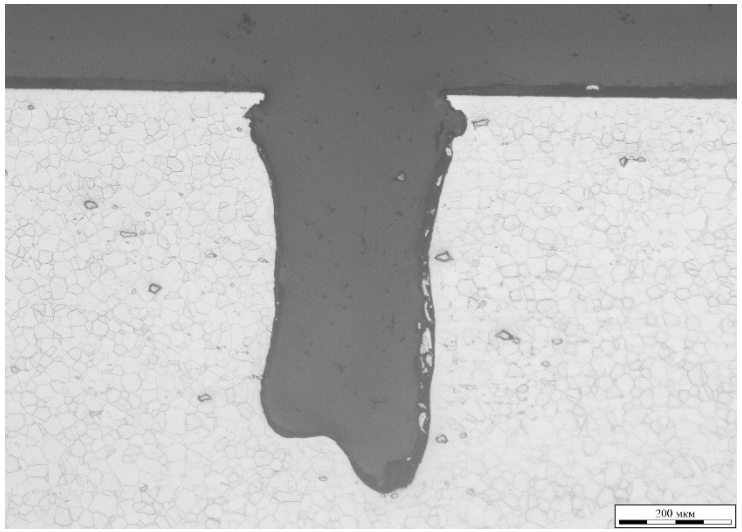
Образцы после испытаний на SSC по NACE ТМ 0177 метод «А»

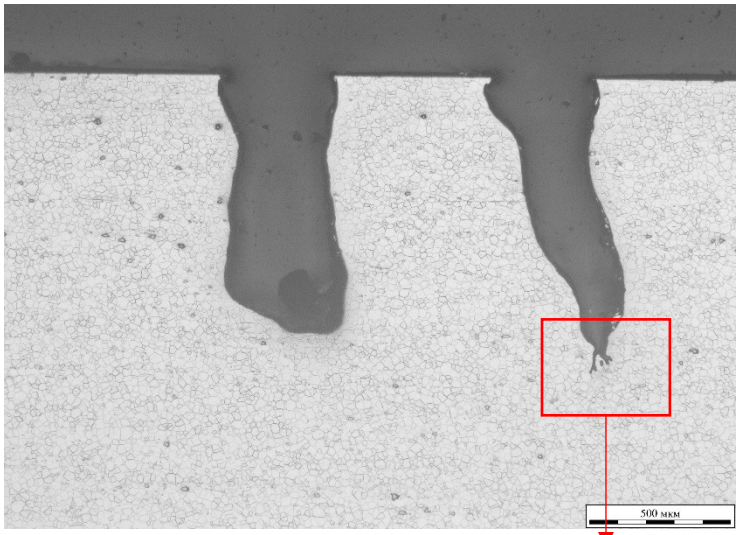


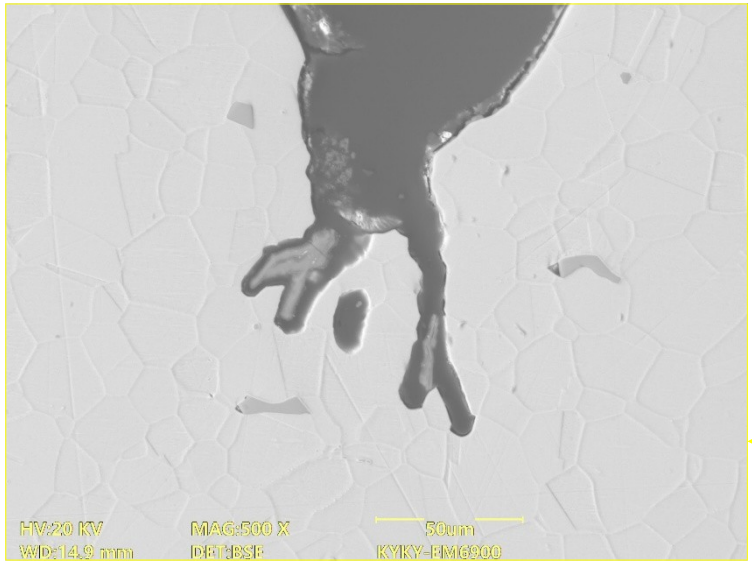


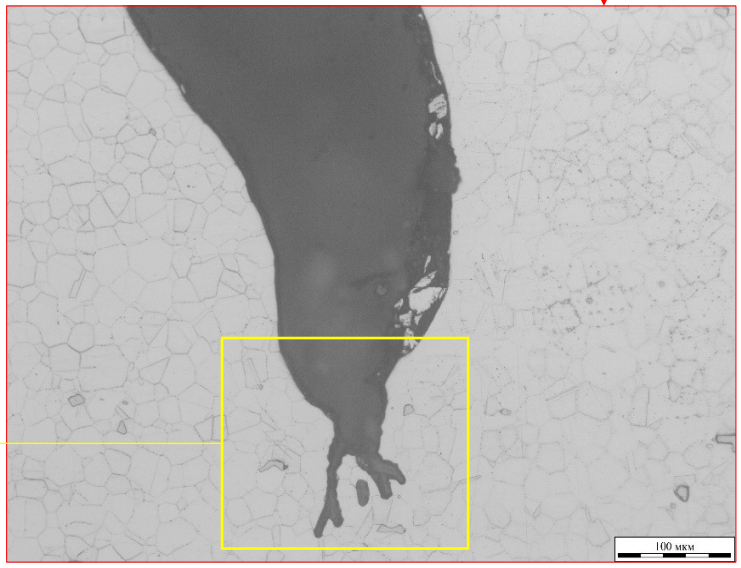


Вид питтингов на образцах после испытаний по NACE TM 0177 метод «А».

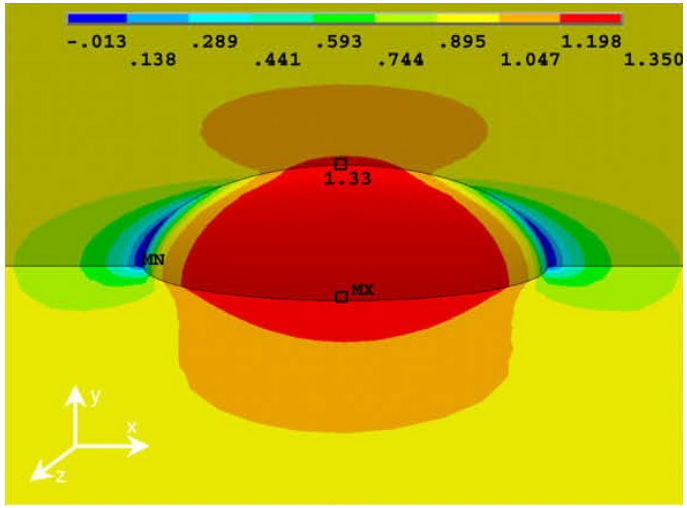


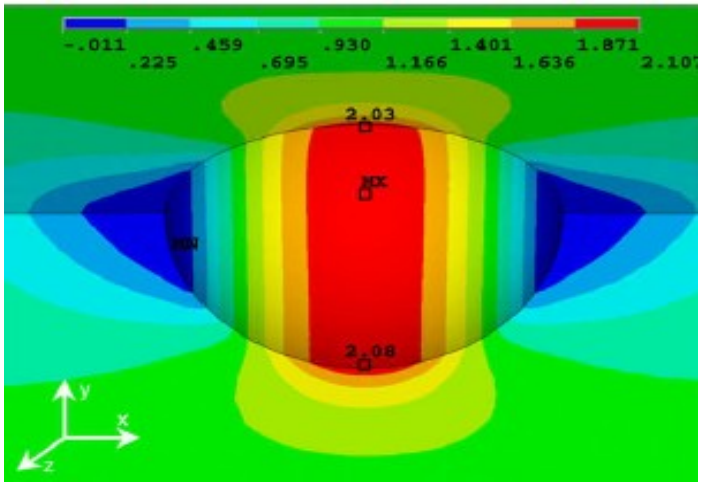


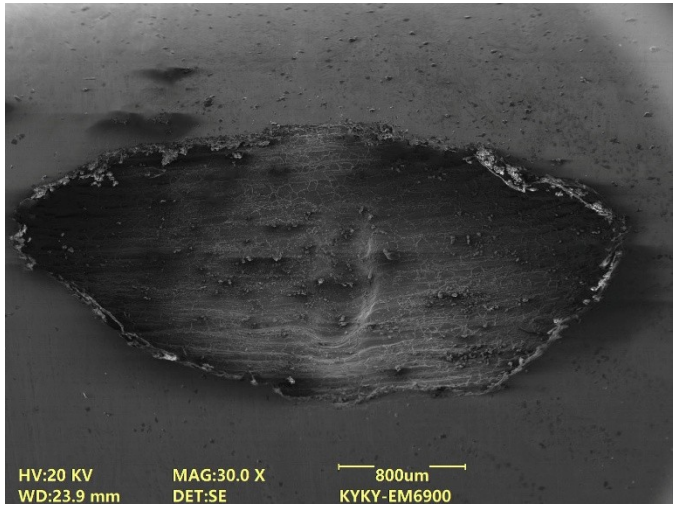


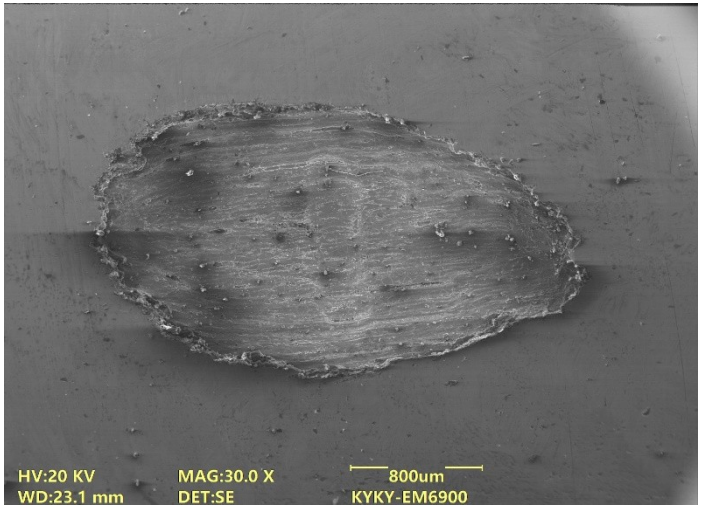


Концентрация напряжений в питтингах



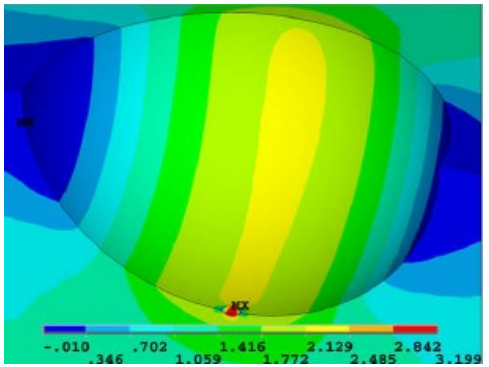


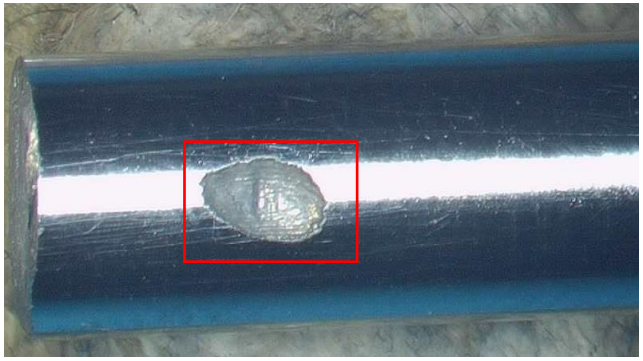


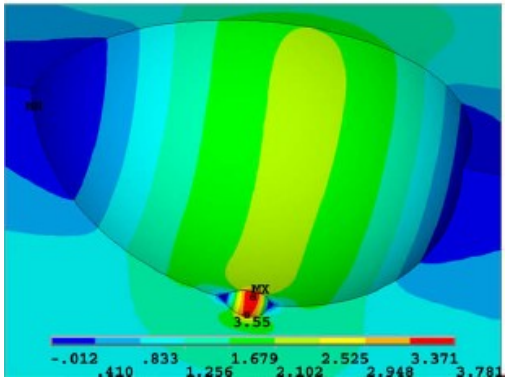


Концентрация напряжений в язвах на дне питтингов









Механизм разрушения

Обеднение приграничных зон хромом (анодные каналы) из-за выделения карбидной фазы

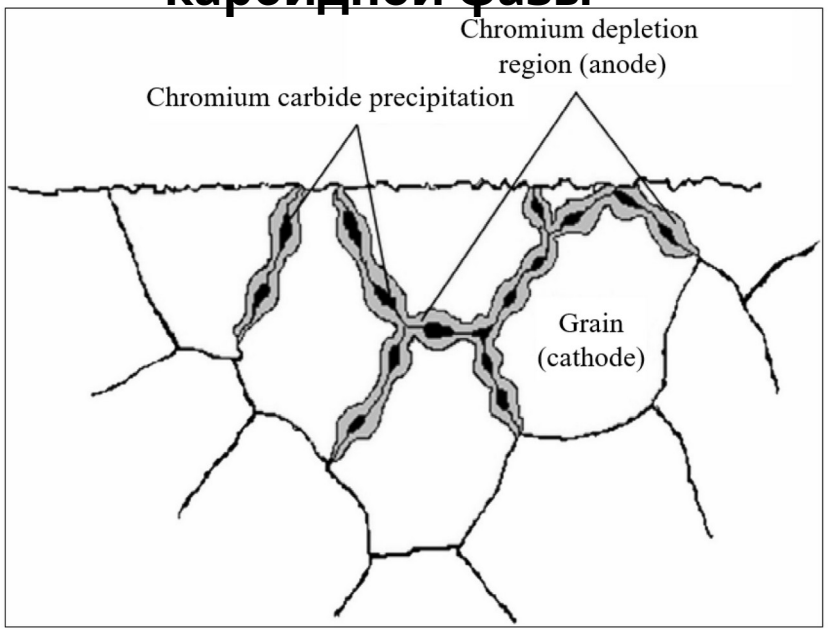
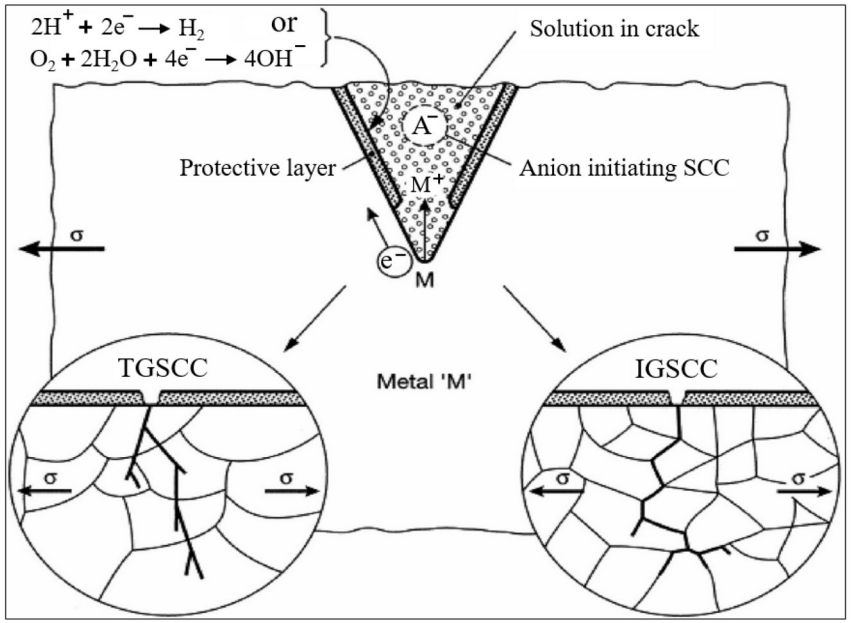


Схема зарождения коррозионной трещины в вершине питтинга

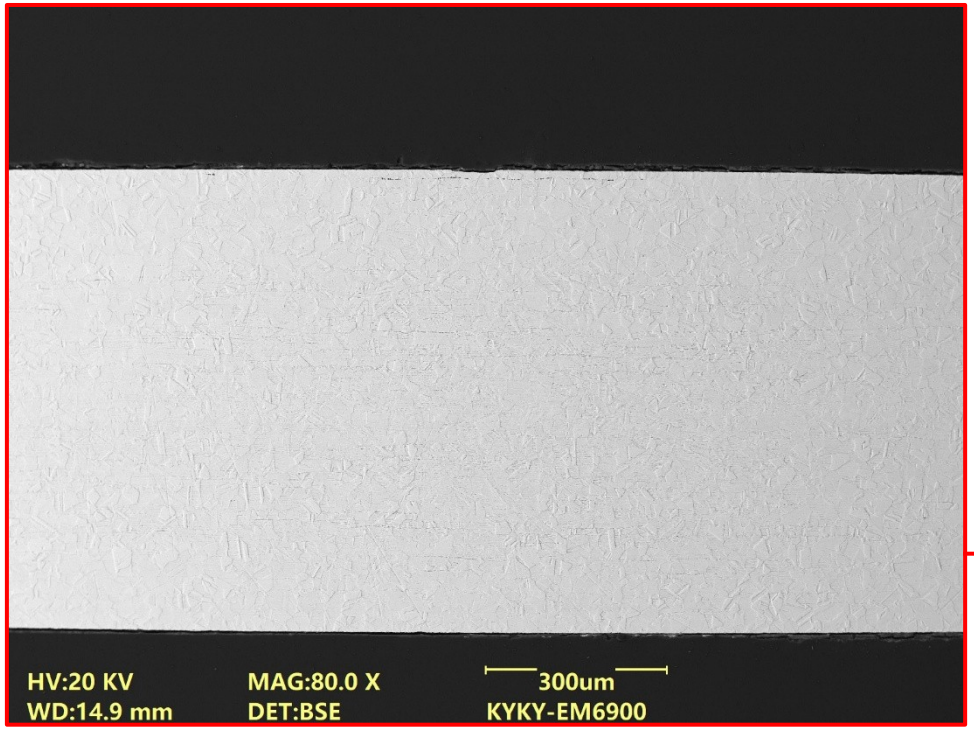


Вид образцов после испытаний на общую коррозию в автоклаве

Состав жидкой фазы (водный раствор) 5% NaCl + 0,5% CH_3COOH

Состав газовой фазы:

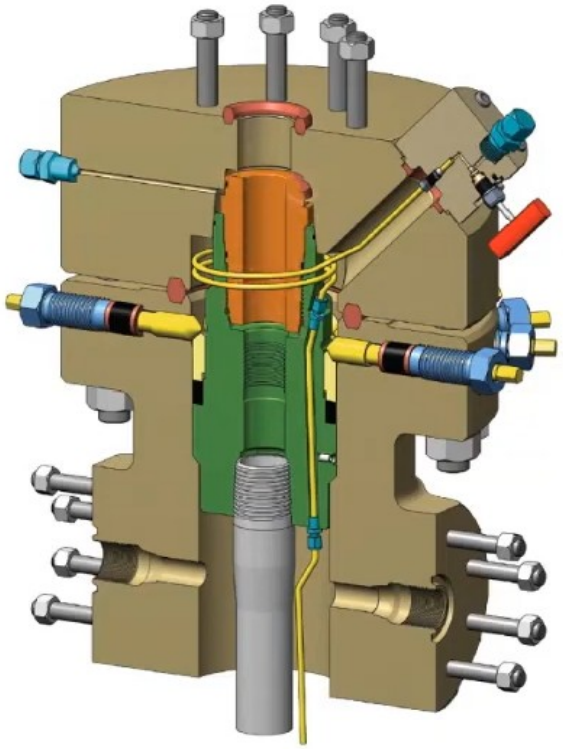
P_{CO2}	P_{H2S}	$P_{общ}$
1,5 МПа	1,5 МПа	5МП

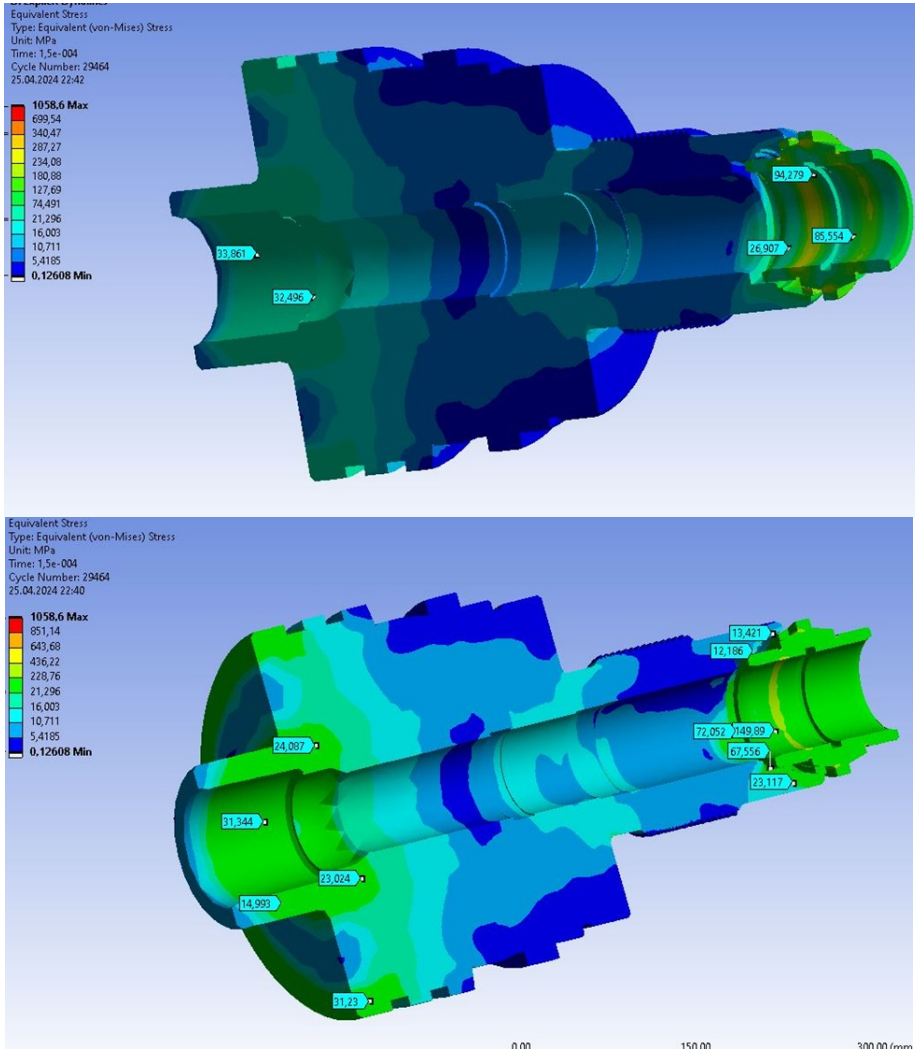






Концентрация напряжений в изделии при эксплуатации на примере корпуса подвески НКТ





Подбор аналогов

Параметр сравнения	ЭП33 (10Х11Н23Т3МР)	A-286 (UNS S66286)	Inconel 718 (UNS N07718)	ХН55МБЮ (ЭП975)
Стандарт / ТУ	ГОСТ 5949-75	ASTM A638	ASTM B637	ТУ 14-1-4247-87
Базовая основа сплава	(Fe) ~50%, Ni ~23%, Cr ~11%	(Fe) ~50%, Ni ~25%, Cr ~15%	(Ni) 50-55%, Cr ~19%, Nb ~5%	(Ni) ~55%, Cr ~15%, Nb, Al, Mo
Класс	Железоникелевая сталь, аустенитный	Железоникелевая сталь, аустенитный	Никелевый суперсплав, аустенитный	Никелевый сплав, аустенитный
Предел текучести, МПа	750 - 850	700 - 850	1030 - 1150	950 - 1050
Предел прочности, МПа	1000 - 1100	950 - 1100	1240 - 1400	1150 - 1300
Твердость (полная ТО)	285-341 HB (~30-36 HRC)	277-363 HB (~29-39 HRC)	36 - 44 HRC	34 - 39 HRC
Стойкость к СКРН (H2S)	Низкая (склонна к МККР при укороченном старении)	Умеренная (требует строгого контроля ТО)	Исключительно высокая	Высокая (оптимальный аналог РФ для Sour Service)
Ограничения NACE MR0175	Строго не регламентирован	Допускается строго до ≤35 HRC	Допускается до ≤40 HRC	Допускается до ≤ 38 HRC
Основное назначение	Крепеж и пружины турбин до 700 °C	Высокотемпературный крепеж, элементы ГТД	Скважинная арматура, диски двигателей, ЭЦН	Высокопрочный крепеж и пружины для сред с H2S

Выводы

- **Ограниченная применимость сплава ЭП33 в средах с H_2S**
- **Опасный механизм локального разрушения**
- **Критическая роль термической обработки**
- **Отсутствие рекомендаций по применению ISO 15156**

Благодарю за внимание!

Гукин
Антон Евгеньевич
Ведущий инженер ОИМ
ООО «ИТ-Сервис»
+7 937 064 9247
gukin@its-samara.com