ПРОГРАММА
VIII Научно-технической конференции
«КОРРОЗИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

3 сентября

8.00 – 8.30 Регистрация участников.

8.30 - 09.00 – Приветственный кофе-брейк.

09.00 – Начало конференции.

Секция «Оценка коррозионной стойкости сталей и сплавов»

1. Попкова Юлия Ивановна, БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»

«Влияние микролегирования стали на коррозионную стойкость насосно-компрессорных труб в условиях углекислотной коррозии».

2. проф. Выбойщик Михаил Александрович, д.ф.-м.н., ФГБоУ ВО «Тольяттинский Государственный Университет»

«Самопассивация трубных сталей в нефтепромысловых средах».

3. Левахина Анна Николаевна., ООО «ИТ-Сервис»

«Особенности коррозионного воздействия меркаптанов, растворенных в попутном нефтяном газе и ШФЛУ, на трубопроводы».

10.30-11.00 - Кофе-брейк.

4. Чистопольцева Елена Александровна, ООО «ИТ-Сервис»

«Исследование процесса сероводородной коррозии низко- и высоколегированных сталей в различных термобарических условиях».

5. Колесников Владимир Владимирович, ПАО «ТМК»

«Выкидные линии скважин из стали 13Cr».

6. Гукин Антон Евгеньевич, ООО «ИТ-Сервис»

«Результаты ОПИ различных марок стали в условиях сред ачимовских залежей Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения».

7. Крюков Никита Алексеевич, ООО «ИТ-Сервис»

«Репликация как неразрушающий метод оценки структуры металла оборудования технологических установок и ЗРА».

12.30-13.30 – Бизнес-ланч.

Секция «Металлографическая экспертиза. Исследования причин отказов нефтепромыслового оборудования и трубопроводных систем»

8. Клименко Инна Сергеевна, ООО «Газпромнефть-Оренбург»

«Система обеспечения надежности работы стойкой к сероводородсодержащим средам запорной арматуры фонда ООО «Газпромнефть-Оренбург».

9. Петров Сергей Степанович, ООО «НПЦ «Самара»
«Коррозия нефтепромыслового оборудования».

10. Костин Дмитрий Владимирович, ООО «ИТ-Сервис»
«Риски применения высокопрочных материалов для внутрискважинного оборудования в коррозионно-активных средах».

11. Шайхинуров Азамат Салихянович., ООО «Сладковско-Заречное»
«Полеты НКТВ».

15.00-15.30 - Кофе-брейк.

Секция «Физическое и математическое моделирование, предиктивная аналитика, стандарты отечественные и зарубежные»

12. Блажнов Никита Михайлович, ООО НИПП «Вальма»
«Установление зависимости коэффициента KISSC металла НКТ, определяемого методом D по стандарту NACE TM 0177, от геометрических размеров ДКБ-образцов».

13. Пирожков Павел Александрович, ООО «ИТ-Сервис»
«Изучение кинетики процесса углекислотной коррозии в лабораторных условиях».

14. Букатый Алексей Станиславович, д.т.н., ООО «НКФ «СБК»
«Моделирование напряжённо-деформированного состояния объектов добычи нефти и газа с целью выявления наиболее нагруженных зон и прогнозирования возможных разрушений».

15. Набиев Алексей Валериевич, ООО «Газпромнефть-Восток»
«Комплексный подход по защите погружного оборудования от аномально агрессивной среды».

17.00 – завершение первого дня конференции.
19:00 – Торжественный ужин.

4 сентября
09.00 – Начало второго дня конференции.

16. Крук Павел Евгеньевич, НТК «Новые технологии и материалы», СПбПУ
«Оценка взаимного влияния процессов эрозионного и коррозионного износа на деградацию трубных материалов трубопроводов и скважин».

17. Букатый Алексей Станиславович, д.т.н., ООО «НКФ «СБК»
«Выбор материала насосных штанг на основе конечно-элементного моделирования коррозионных воздействий».

18. Дерябин Максим Геннадьевич, ПАО «ТМК»
«Трубные решения для строительства скважин на месторождениях с высоким газовым фактором и повышенным содержанием H_2S и CO_2».

19. Потылицын Максим Николаевич, ООО «СТИМ»
«Трубки витые для теплообменных аппаратов из высоколегированных сталей».

10.30-11.00 – Кофе-брейк.

Секция «Защита от коррозии объектов добычи и переработки нефти и газа»

20. Комиссаров Александр Александрович, Университет науки и технологий МИСИС
«Новые марки сталей для производства бесшовных труб».

21. Хадеев Григорий Евгеньевич, АО «Северсталь Менеджмент»
«Высокопрочная сталь 05ХГ2БА для оборудования, эксплуатируемого в сероводородсодержащих средах».

22. Кудашов Дмитрий Викторович, НИТУ МИСИС
«Исследование локальной и общей коррозии сталей с различным содержанием хрома».

23. Цыбин Александр Игоревич, ООО «Техновацинк»
«Преимущества дуплексной защиты от коррозии Majorpack MPLAG 96 в сероводородсодержащих средах».

12.30-13.30 – Бизнес-ланч.

24. Семернин Глеб Владиславович, ПАО «ОМК»
«Исследование области применения биметаллических труб с различными материалами плакирующего слоя».

25. Удод Кирилл Анатольевич, АО «ВМЗ»
«Освоение продуктов из нержавеющих сталей для нефтегазовой промышленности».

26. Давыдов Артем Дмитриевич, НТК «Новые технологии и материалы», СПбПУ
«Применение биметаллических труб в качестве эффективного метода обеспечения надежности трубопроводов при транспортировке увлажненного газа».

27. Худяков Артем Олегович, ООО «РН-БашНИПИнефть»
«Разработка технологии односторонней сварки плакированных (биметаллических) труб с применением разнородных сварочных материалов».

15.00-15.30 – Кофе-брейк.

28. Веревкин Александр Григорьевич, ООО «НПЦ «Самара»
«Разрушение внутренних антикоррозионных покрытий нефтепромыслового оборудования».

29. Кощеев Кирилл Игоревич, ООО «ИТ-Сервис»
«Оценка эксплуатационной надежности сварного соединения типа «раструб-раструб» труб ТВЧ с внутренним антикоррозионным покрытием. Результаты ОПИ».

30. Линов Евгений Сергеевич, АО «Томскнефть ВНК»
«Применение НКТп на месторождениях АО Томскнефть ВНК»

31. Ковалев Марк Андреевич, НТК «Новые технологии и материалы», СПбПУ
«Актуальные методы испытаний покрытий и ПКМ и пути их развития».

18.00 – завершение второго дня конференции.
18:30 – обсуждение и подведение итогов конференции.
19:00 – **Закрытие конференции.**



ПОЛИТЕХ
Научно-технологический комплекс
новые технологии и материалы

ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Актуальные методы испытаний покрытий и ПКМ и пути их развития

Ковалев Марк

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

VIII Научно-технической конференции «КОРРОЗИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

Цели и задачи испытаний

Зачем испытываем?

- Оценка качества
- Оценка применимости
- Разработка или модернизация

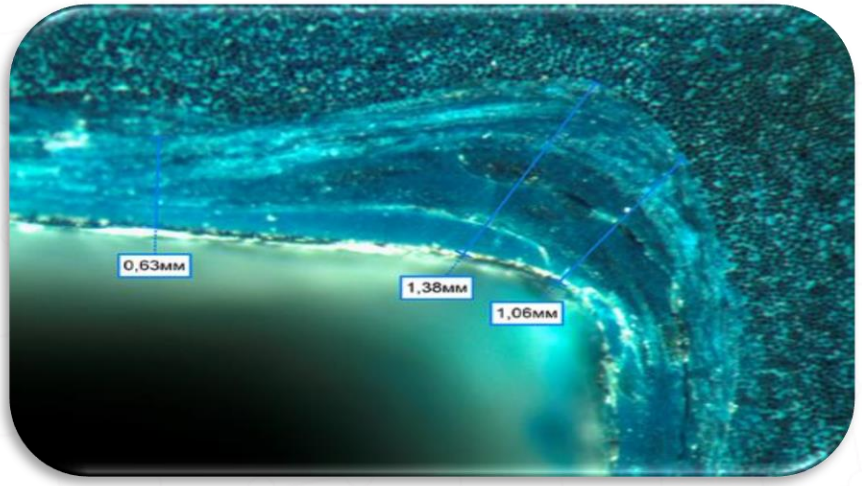
Что испытываем?

- Покрытия
- Полимерные композитные материалы
- Полимеры

Как испытываем?

- Лабораторные и натурные испытания
- Стандартные методики
- Методики лабораторий





Объекты и методы испытаний

Объекты

- Трубная продукция;
- Конструкции (пример: обустройство месторождений);
- Другие изделия (пример: электронные платы);
- Уплотнения;

Задачи испытаний

- Качество;
- Оценка стойкости в условиях эксплуатации;
- Оценка ресурса.

Методы испытаний

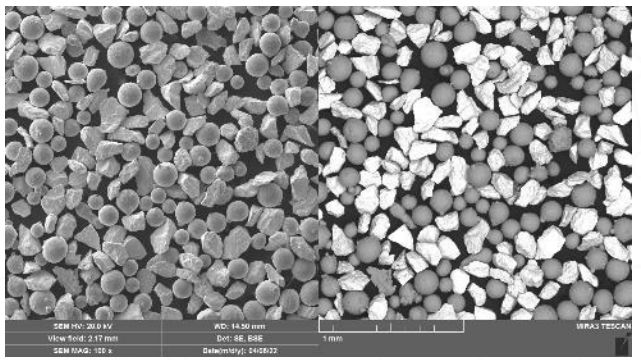
- Качество покрытий – оценка адгезии, сплошность, толщина, внешний вид;
- Качество ПКМ и полимеры – мех. свойства, влагопоглощение, твердость;
- Оценка стойкости – климатические испытания, жидкие среды, автоклавы, газы, механические воздействия;
- Ресурс – комбинация воздействий, продолжительная выдержка, натурные испытания.













Проекты | Покрытия
Трубные изделия

Проект
Классификация внутренних защитных трубных покрытий
Стандарт
ГОСТ Р 58346

- Оценка качества покрытий
- Климатические испытания
- Выдержка в растворах (кислота, щелочь, нефтепродукты)
- Автоклавные испытания (давление, температура, газы)



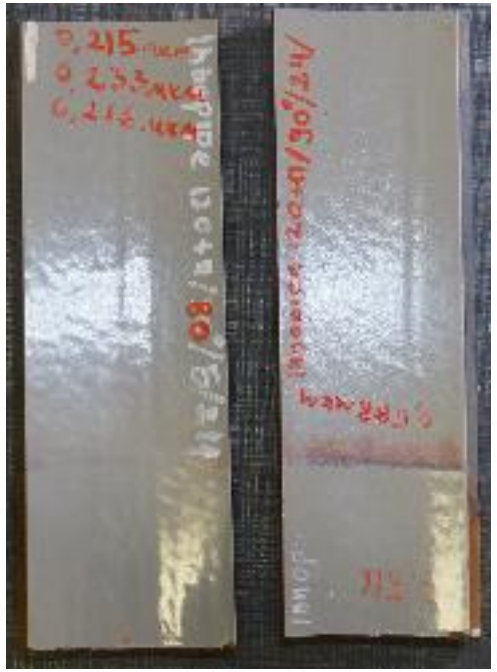
Объекты – трубы с внутренним покрытием, пластины с покрытием

- **Цель** – оценка качества существующих защитных систем для промысловых трубопроводов
- **Особенности проекта** – создание классификатора, фокус на автоклавных испытаниях (декомпрессия)
- **Актуальное испытание** – декомпрессионное автоклавное испытание
- **Развитие:**
  - комбинированное влияние всех испытаний на покрытие
  - обратная связь с эксплуатации





Проекты | Покрытия
Трубные изделия



+80 °C +90 °C



+80 °C



+90 °C

Автоклавные испытания, декомпрессия | Одинаковая система покрытий от разных производителей

Проекты | Покрытия | ПКМ |
Мостовые переходы

Проект
Строительство Крымского моста
Проект
Строительство Климовского моста
Стандарт
ГОСТ Р 9.307, ТУ

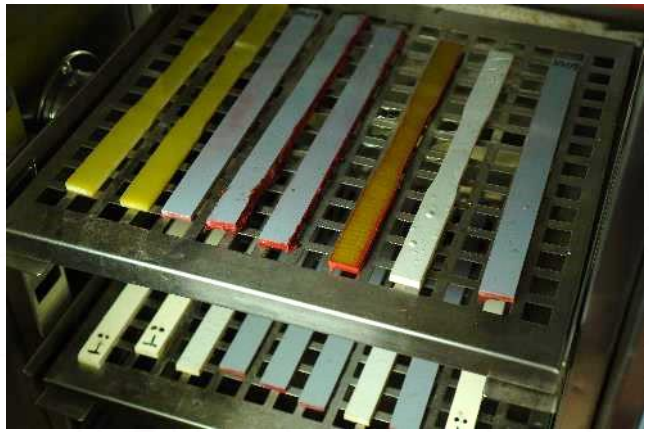
- Оценка качества покрытий и ПКМ
- Климатические испытания
- Выдержки в растворах (ПКМ)
- Натурные испытания (цинковые покрытия)
- Заключение о надежности и сроке службы материалов



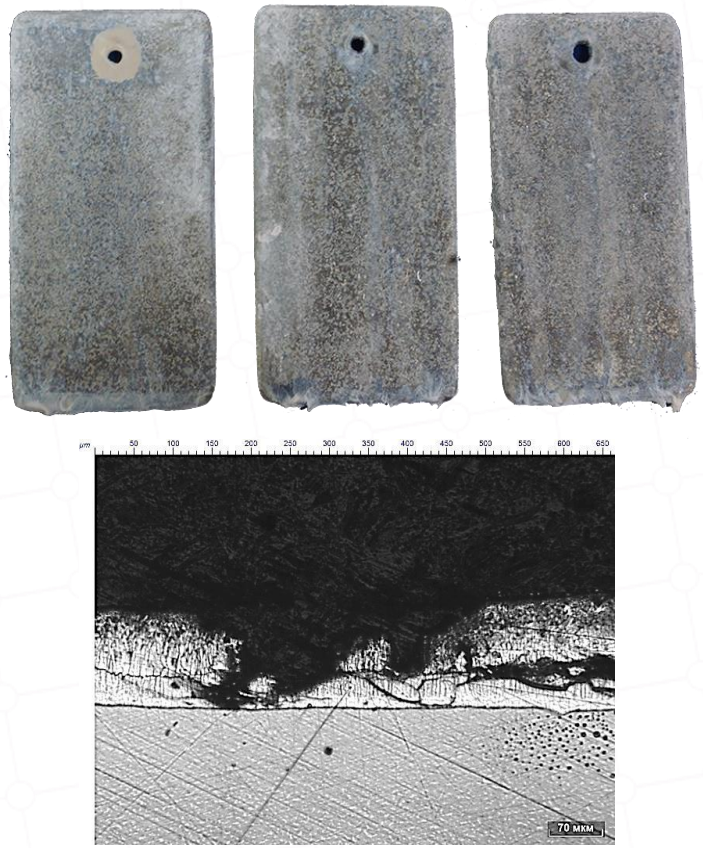
Объекты – цинковые покрытия, ПКМ (стеклопластик)

- **Крымский мост |** Цель – оптимизация программы испытаний цинковых покрытия для получения прогноза по долговечности
- **Климовский мост |** Цель – оценка физ-мех свойств полимерных композитных материалов

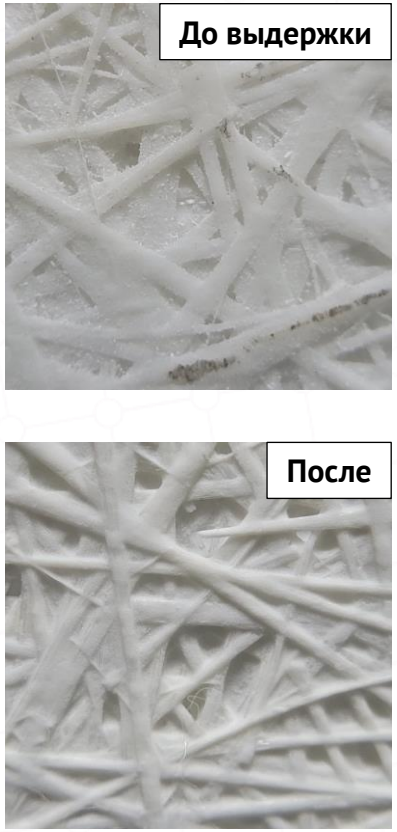
- **Актуальные испытания** – комбинация натурных и лабораторных для снижения общей продолжительности испытаний
- **Развитие:**
  - разработка методик прогнозирование ресурса материалов
  - нормативные документы по оценке стойкости ПКМ



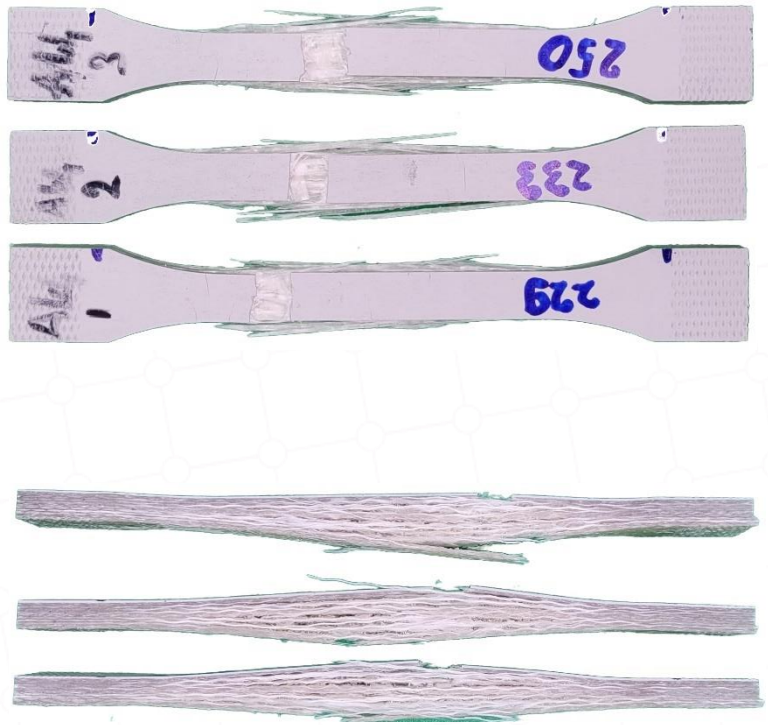
Проекты | Покрытия | ПКМ |
Мостовые переходы



Цинковые покрытия
камера солевого тумана



ПКМ раствор NaOH

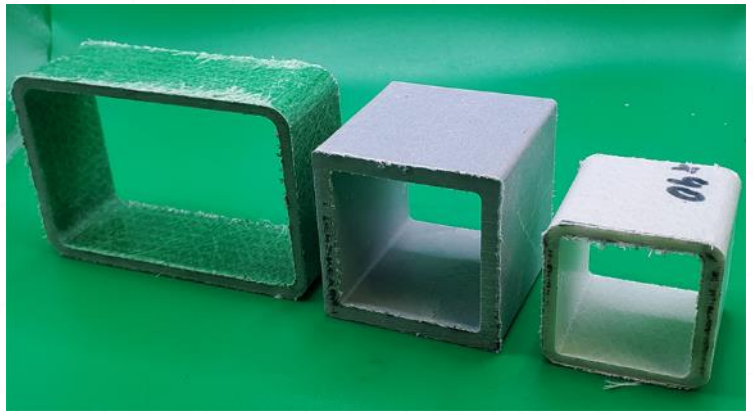


ПКМ испытания на растяжение

Проекты | ПКМ |
Обустройство месторождений

Проект
Оптимизация конструкций из ПКМ для обустройства месторождений

- Климатические испытания
- Выдержки в растворах
- Натурные испытания
- Моделирование нагрузок
- Перерасчет стальной конструкции на ПКМ



Объекты – пултрузионные профиля и листы (стеклопластик)

- **Цель** – оптимизация конструкции для перехода на ПКМ материалы и экономическое обоснование применения новых материалов

- **Актуальные испытания – оценка влияния дефектов ПКМ на их стойкость**

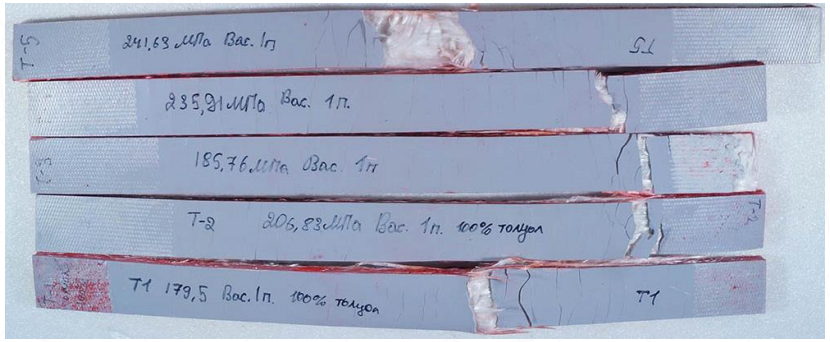
- **Развитие:**
  - обоснование необходимых испытаний для ПКМ
  - актуализация нормативных документов



Проекты | ПКМ |
ПКМ конструкции

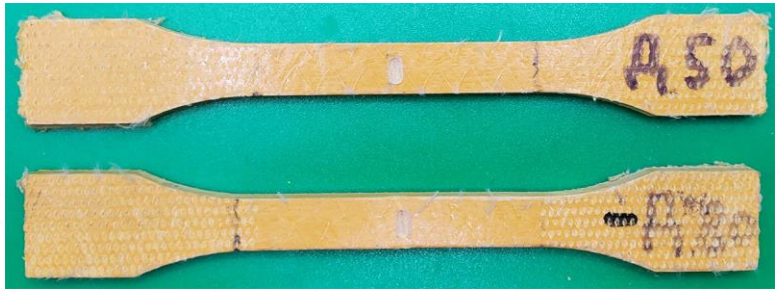






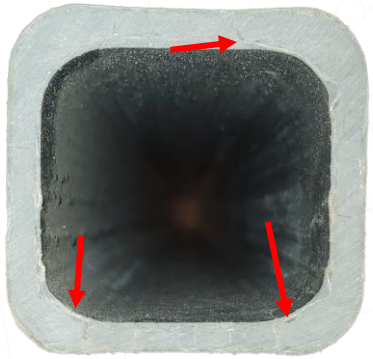


Оценка качества ПКМ изделий

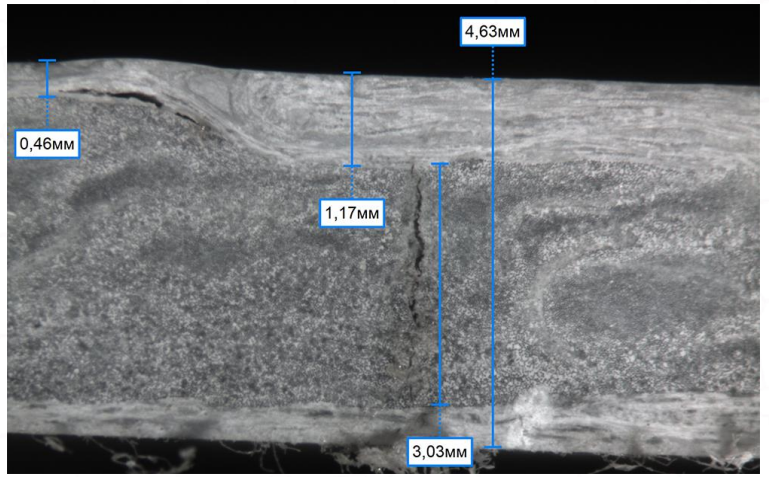












Испытания образцов с дефектами (растяжение, ударные нагрузки)

Проекты | Полимеры |
Прогнозирование ресурса

Проект
Прогнозирование ресурса реактора вскрытия колумбитовой руды

- Выдержки в растворе серной и плавиковой кислоты
- Натурные испытания
- Комбинация образцов и изделий
- Прогнозирование ресурса



Объекты – полимеры (полипропилен, фторопласт, полиэтилен)

- **Цель** – оптимизация конструкции за счет полимерных материалов и обоснование их стойкости

- **Актуальные испытания – комбинация натурных и лабораторных испытаний**

- **Развитие:**
  - Подтверждение сформированных методик прогнозирования
  - Накопление испытательной и эксплуатационной базы



Проекты | Полимеры |
Прогнозирование ресурса



Деградация материала с течением времени испытаний





Деградация изделий в процессе испытаний

Заключение

Уточнение критериев оценки и необходимых испытаний

Актуализация нормативной документации

Прогнозирование ресурса материалов

Развитие методик, испытательная база и обратная связь

Спасибо за внимание!



Применение НКТп на месторождениях АО «Томскнефть ВНК»

Введение

Проблема борьбы с коррозией на месторождениях АО «Томскнефть ВНК» в последние годы стала особенно актуальна на фоне роста обводнённости скважин в следствии старения эксплуатационного фонда. Большая часть месторождений Общества в данный момент находится на 3 и 4 стадии разработки. В настоящее время количество скважин осложненных коррозией и находящиеся в пред коррозионном фонде составляет 1517.

До 2010года на месторождения Общества эксплуатировалась исключительно чёрная НКТ. Рост аварийности и отказности по причинам связанным коррозией НКТ побудили искать пути решения данной проблемы.

С 2010 по 2016г в Обществе широко велись Опытно промысловые испытания(ОПИ) защиты НКТ от коррозии, такие как:

-Применение стеклопластиковых труб ООО НПП «Завод Стеклопластиковых труб»;

-Применение НКТ с содержанием Хром-1%, Хром-3%, Хром-5%, Хром-13%(Отечественные производители);
-Применение НКТ с содержанием Хром-13% (JFE-13CR-80 JFEBEARJFE Steel Corporation (Япония);
-Применение НКТ с различными внутренним защитным покрытиями, такими **ТЕРМО-110,ТЕРМО-150,ТС-3000F,MPLAG-17,33,96 Ecomast Pipe и.т.п.**

По результатам ОПИ, в условиях месторождений Общества лучше всего зарекомендовали себя НКТ с внутренними эпоксидно-фенольными защитными покрытиями: -
-**ТС-3000F;**
-MPLAG-17,33,96
-Ecomast Pipe.
После успешно проведённых ОПИ данный вид защиты от коррозии начал тиражироваться в Обществе.

Сведения о проведённых ОПИ подвесок НКТ с покрытием ТС-3000F

Скв	Месторождение	УЭЦН	До внедрения НКТ «ТС-3000F»			После внедрения НКТ «ТС-3000F»					
			Qж	%	СНО по НКТ	Qж	%	СНО по НКТ	Причина отказа	СПО	Состояние НКТ после подъёма
856	Первомайское	59-2150	70	48	174	70	48	450	Не комиссия (более 365сут)	0,5	НКТ «ТС-3000F» - без коррозионных повреждений
859	Первомайское	44-2200	36	82	190	52	82	442	в работе	0,5	
879	Первомайское	79-2200	107	92	117	78	89	438	в работе	0,5	
2289р	Первомайское	79-2200	74	30	176	80	25	430	Брак ремонта кабеля (321 сут)	1,5	НКТ «ТС-3000F» - спущено повторно (+109 суток)
547	Первомайское	44-2200	34	56	286	42	54	412	в работе	0,5	
427	Зап-Полуденное	700-1200	278	98	593	748	98	403	в работе	0,5	
882	Первомайское	125-2530	63	78	90	139	80	395	Брак ремонта ПЭД (238 сут)	1,5	НКТ «ТС-3000F» - спущено повторно (+157 суток)
516	Первомайское	125-2250	100	65	109	115	65	397	в работе	0,5	
931	Первомайское	79-2400	75	65	150	105	72	394	Негерметичность лифта, ТКРС (42 сут)	1,5	Отбраковано 4 НКТ: две при подъёме (подклапанная НКТ – промытость, раковины, коррозия ниппеля; 263НКТ – нарушение профиля нипп.части резьбы) и две при повторн. спуске (нарушение профиля муфтовой и нипп.части резьб) Остальные НКТ «ТС-3000F» - спущены повторно (+351 суток)
155	Первомайское	59-2150	61	96	94	62	96		Не рентабельно	1	НКТ «ТС-3000F» - без корр.повреждений. Спуск повторно в скв. 1049
228	Первомайское	59-2350	56	70	202	67	70	392	в работе	0,5	
1044	Первомайское	59-2150	20	59	210	70	59	389	в работе	0,5	
671	Первомайское	125-2250	120	97	59	130	97	327	Не рентабельно	1	Отбраковано 5 НКТ: 2 при подъёме (смятие торца нипп.части резьбы). 3 штуки НКТ с солеотложениями (интервал 2450-2480 м)
1049	Первомайское	79-2200	53	80	130	87	83	220	в работе	1,5	(НКТ со скважины 155 с наработкой 126 суток) +94 суток.
Средняя величина наработки НКТ					184сут			370сут			

Средняя наработка НКТ до внедрения составляла **184 суток**, после внедрения «ТС-3000F» (на 01.10.2014) составляет **370 суток**. Коэффициент увеличения наработки **k=2,01**.

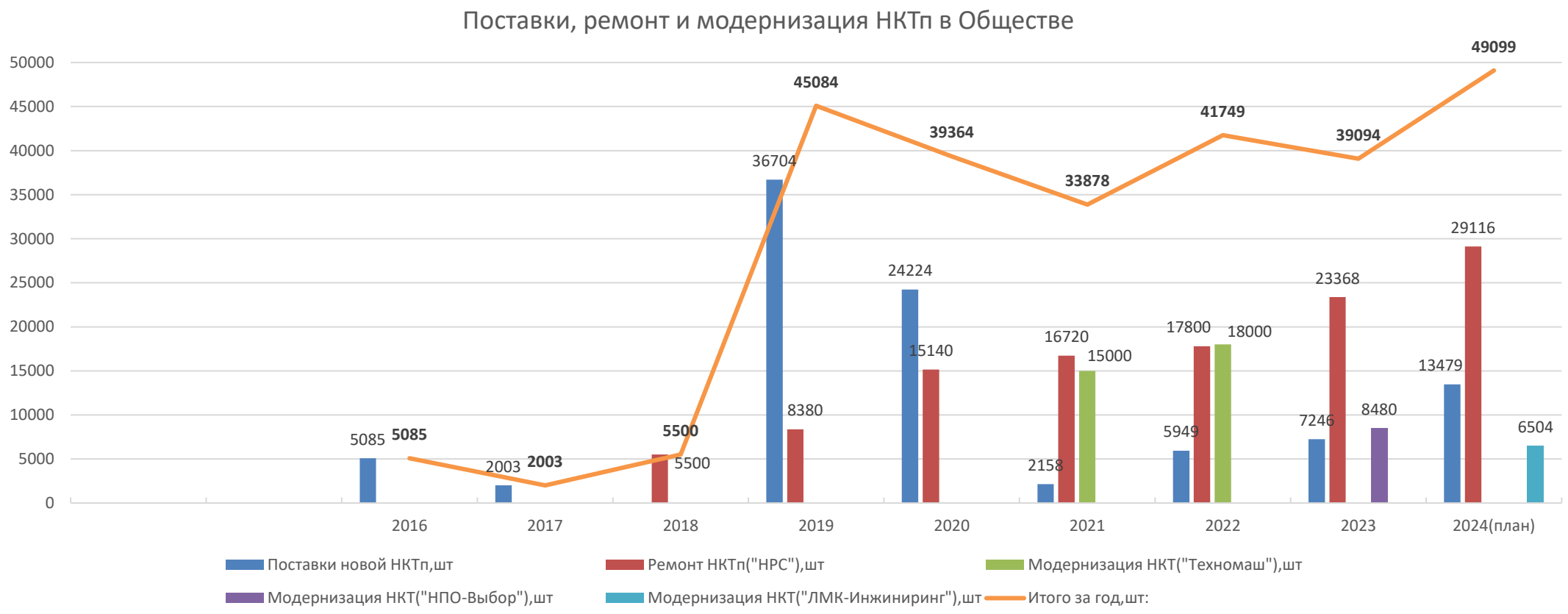
Сведения о проведённых ОПИ подвесок НКТ с покрытием MPLAG33/E

Скв	Место-рождение	УЭЦН	До внедрения НКТ «MPLAG33/E»			После внедрения НКТ «MPLAG33/E»							
			Qж	%	СНО* по НКТ	Qж	%	НнО** по НКТ	Причина отказа	СПО	Интервал спуска, м		Состояние НКТ после подъёма
											1ое СПО	1+n СПО	
510	Крапивинское	D285EZ	39	69	**288**	40	72	**537**	в работе	1,5	0÷1061	+ 417 (0÷1478)	НКТ «MPLAG33/E» - без коррозионных повреждений, после 1 СПО (240 сут) спущена повторно, с дозавозом НКТ 39шт
102	Крапивинское	D2100EZ	336	97	**339**	340	97	**531**	в работе	2,5	0÷973	+701 (0÷1659)	НКТ «MPLAG33/E» - без коррозионных повреждений, после 2 СПО (242 и 209 сут) спущена повторно, с дозавозом НКТ 55 шт
395	Крапивинское	D1760EZ	330	97	**259**	380	97	**541**	в работе	0,5	0÷995		
517	Крапивинское	D285EZ	33	71	**266**	47	82	**469**	в работе	6,5	0÷918	+102 (0÷1020)	НКТ «MPLAG33/E» - без коррозионных повреждений, после 6 СПО спущено повторно 32 шт, остальные 64 шт отбракованы по сколам покрытия на торцах (по причине некачеств.работы Бригады: не снабжены резьбовые части защитными колпачками)
544	Крапивинское	D530EZ	28	70	**210**	40	70	**512**	в работе	2,5	0÷1394	+1377 (0÷2771)	НКТ «MPLAG33/E» - без коррозионных повреждений, после 2 СПО (236 и 48 сут) спущена повторно, с дозавозом НКТ 134шт
1303	Крапивинское	D530EZ	78	74	**299**	80	74	**512**	в работе	1,5	0÷1552		НКТ «MPLAG33/E» - без коррозионных повреждений, после 1 СПО (109 сут) была спущена повторно
314	Двуреченское	D420EZ	40	77	**366**	43	81	**508**	в работе	1,5	0÷1389	+ 1542 (0÷2931)	НКТ «MPLAG33/E» - без коррозионных повреждений, после 1 СПО (293 сут) спущена повторно, с дозавозом НКТ 150 шт
609	Двуреченское	D700EZ	13	66	**433**	13	66	**519**	останов 13.12.2015 (негерм. НКТ)	1	0÷987	+ 366 (0÷1353)	НКТ «MPLAG33/E» - без коррозионных повреждений, после 1 СПО (519 сут) спущена повт., с дозавозом 35шт б/у НКТ (НнО 552 сут, 6СПО)
647	Крапивинское	D285EZ	42	70	**450**	42	75	**98**	останов 27.11.2014 (R-0)	1	0÷998		при подъёме – полёт по перев.патрубку. 89/73мм (коррозия). НКТ «MPLAG33/E» - без коррозионных повреждений, но после 1 СПО и полёта – нарушение геометрии, отбракована. **Завоз новой подвески, 146 шт**
						42	86	**389**	в работе	0,5		0÷1501	
359	Крапивинское	D1000EZ	144	91	**196**	151	91	**494**	в работе	0,5	0÷1143		
Средняя величина наработки НКТ					**310 сут**			**501**			11 410 м	5 640 м	(11 410 метров – первый интервал защиты, +5 640 для увеличения интервала)

Средняя наработка НКТ до внедрения составляла **310 суток**, после внедрения «MPLAG33/E» (на 01.01.2016) составляет **501 суток**.
Коэффициент увеличения наработки **k=1,62**.

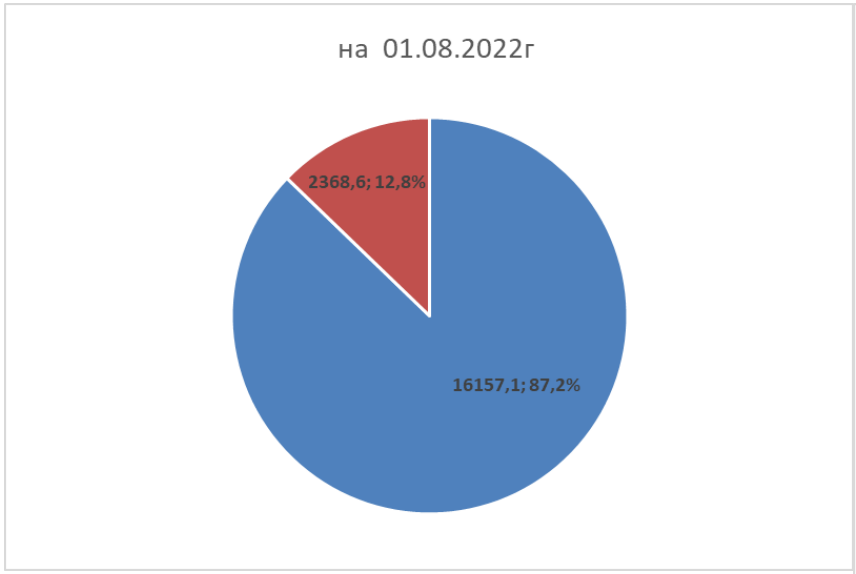
* СНО – средняя наработка НКТ на отказ «чёрной трубы» (выбраковка труб по причинам коррозионных поражений)
** НнО – наработка (текущая) НКТ с покрытием MPLAG33/E. В средней наработке по проекту – исключена наработка 98 сут по скв 647., как некатегорийная.

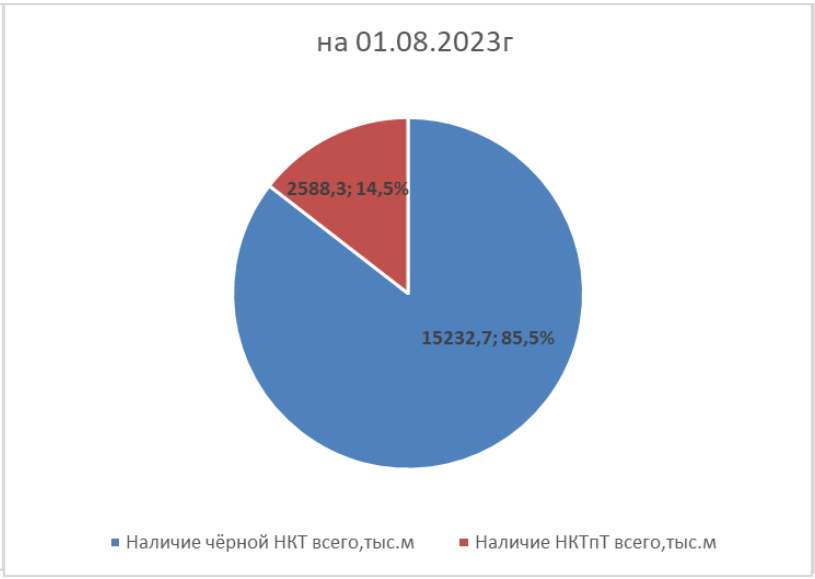
Поступление НКТп на месторождения АО «Томскнефть ВНК» по годам

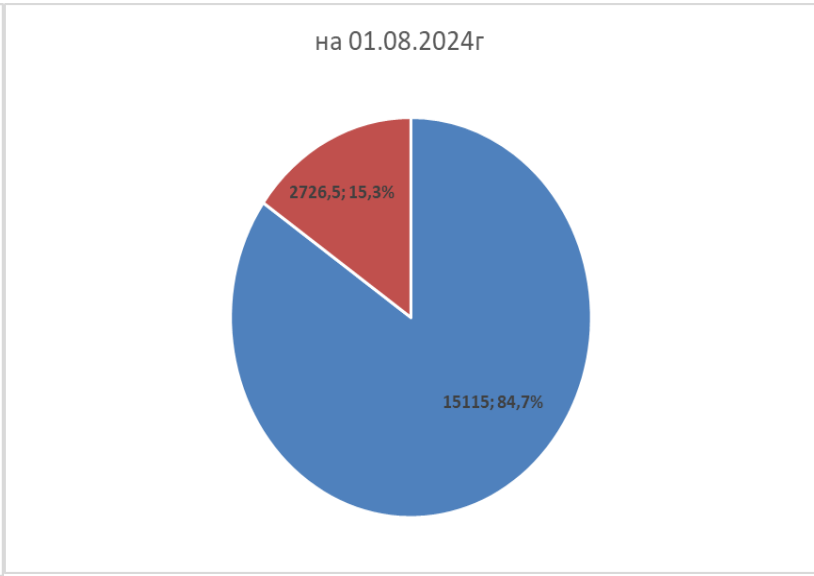


-2016год: начались поставки новой НКТп на месторождения Общества;
-2018год: заключён договор на ремонт НКТп с ООО «Нефть-Рем-Сервис»;
-2021год началась модернизация чёрной НКТ в НКТп

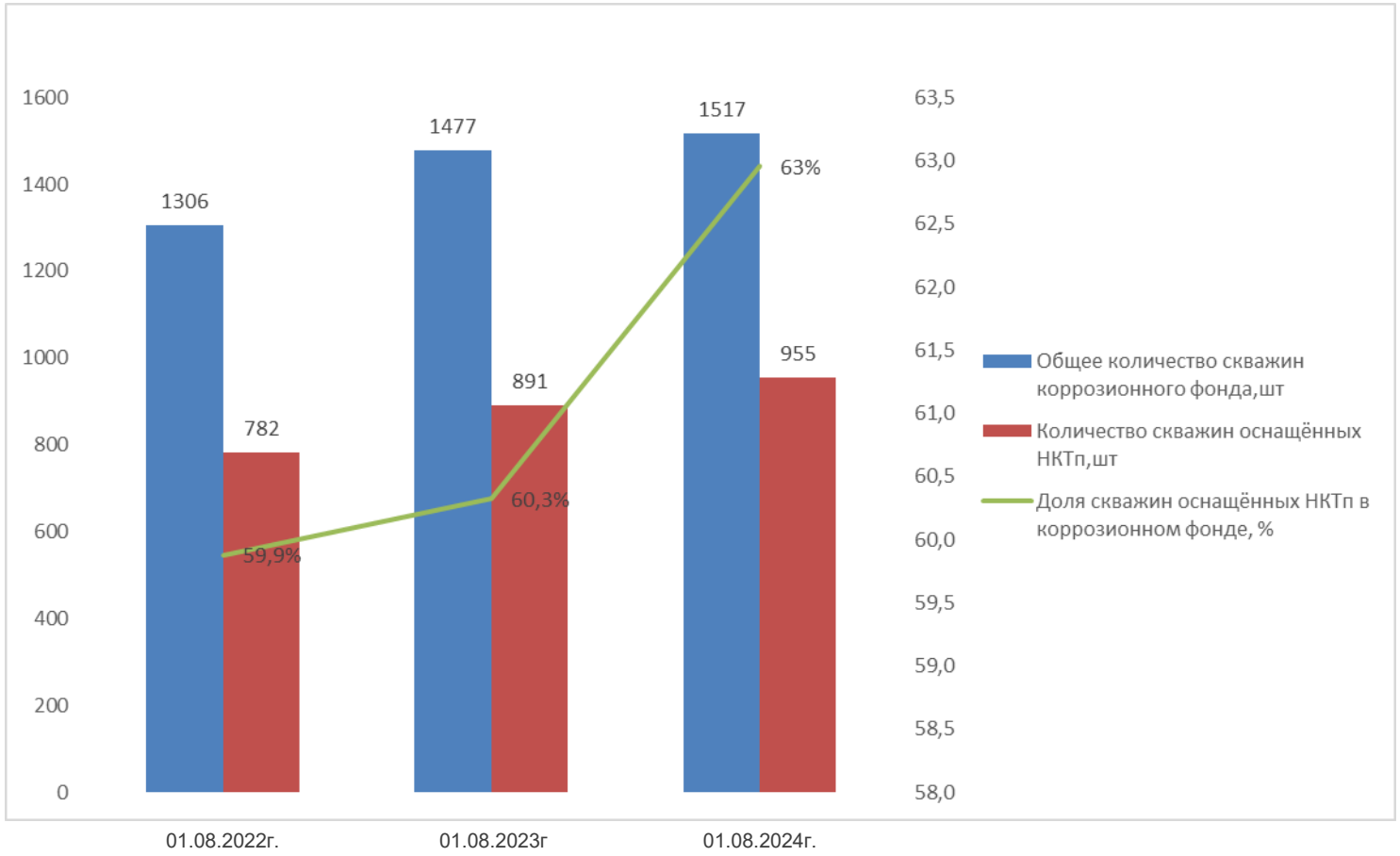
Доля НКТп в общем парке НКТ Общества



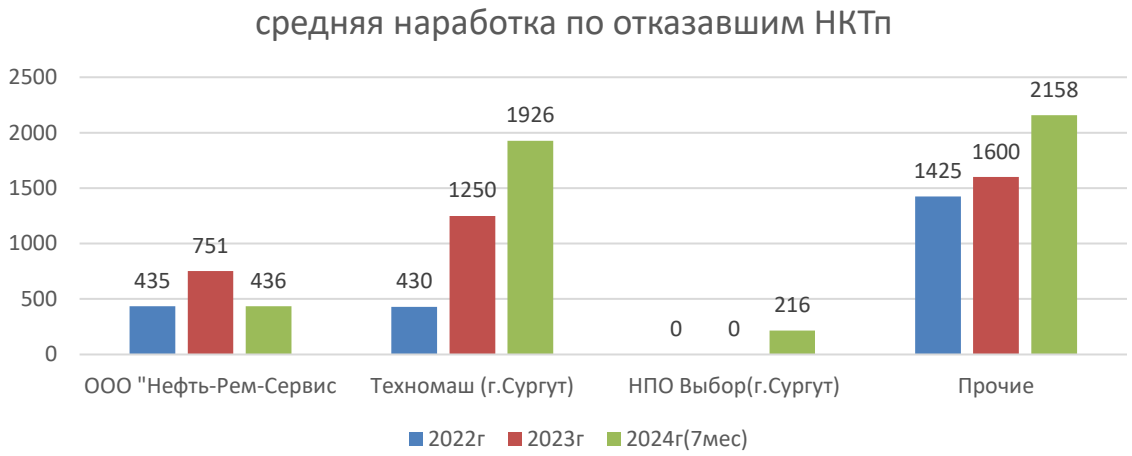


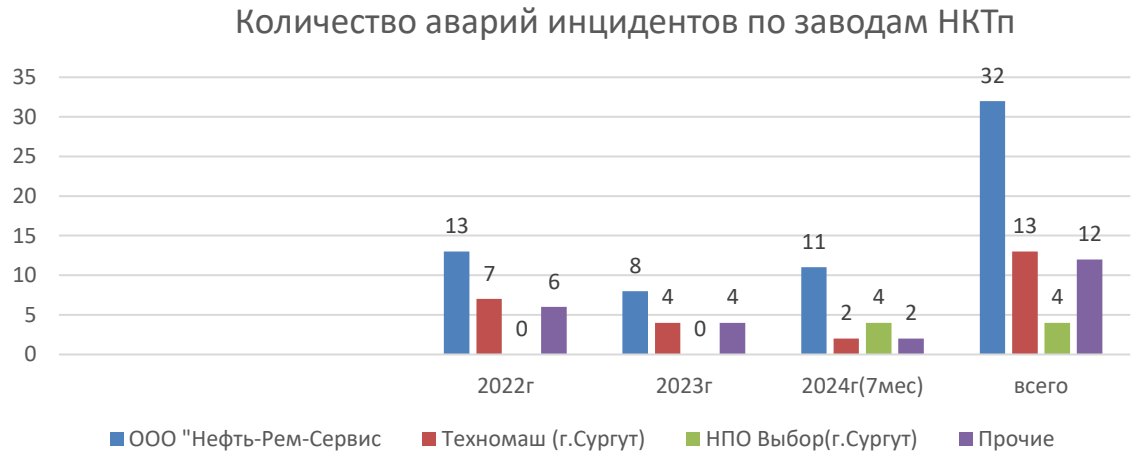


Соотношение скважин коррозионного фонда, к скважинам оснащённым НКТп



Статистика по авариям и инцидентам с НКТп









Плюсы и минусы применения НКТп на месторождениях АО «Томскнефть» ВНК

+

-Применение НКТп на осложнённом коррозией фонде по данным ОПИ показал рост наработки по сравнению с чёрной НКТ в 1,62-2,01раза;

-Простота ремонта НКТп: в большинстве случаев не требуется полное перепокрытие всего тела отработавшей нормативный срок НКТп-достаточно перепокрыть резьбовую часть;

-Увеличение общего количество возможных ремонтов ведёт к значительному увеличению общего жизненного цикла НКТп в сравнении с черной НКТ;

-Близость базы по ремонту НКТп к г. Стрежевой.

-

-По отремонтированной НКТп периодически наблюдаются повышенная отказность и аварийность по нерабочему(заводскому) соединению из-за нестабильного качества муфт. Также наблюдаются случаи отслоения покрытия из-за нарушения технологии нанесения. При входном контроле данные дефекты выявить невозможно. Данный факт требует присутствия на заводе представителя заказчика для контроля технологии проведения ремонта и модернизации.

-При отслоение покрытия возможно нарушение работы ГНО с риском отказа, а также забитие проходных сечений фонтанной арматуры скважины(штуцера).

-Дополнительные требования при проведении СПО с НКТп(применение направляющих воронок, обрезиненного ломика),

- Значительное число инцидентов и аварий по вине ТКРС: требуется присутствие специалиста-супервайзера для контроля качества проведения СПО;

-Требуется «деликатность» при очистке внутренней полости забитой АСПО и другими отложениями НКТп при ремонте.

-Зависимость от подрядчика по ремонту НКТп: не всегда успевают в срок выполнять производственную программу по ремонту НКТп по различным организационным причинам, а также в связи с одновременной работой с несколькими заказчиками..

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Оценка эксплуатационной надежности сварного соединения типа «раструб-раструб» труб ТВЧ АО «ВМЗ» с внутренним антикоррозионным покрытием. Результаты ОПИ.

Докладчик:
Начальник отдела исследований металлопродукции
ООО «ИТ-Сервис»
Кощеев Кирилл Игоревич

Характерный вид коррозионных повреждений трубопроводов, вызванных воздействием растворенного CO2









Трубы и СДТ с внутренним антикоррозионным покрытием (ВАКП)



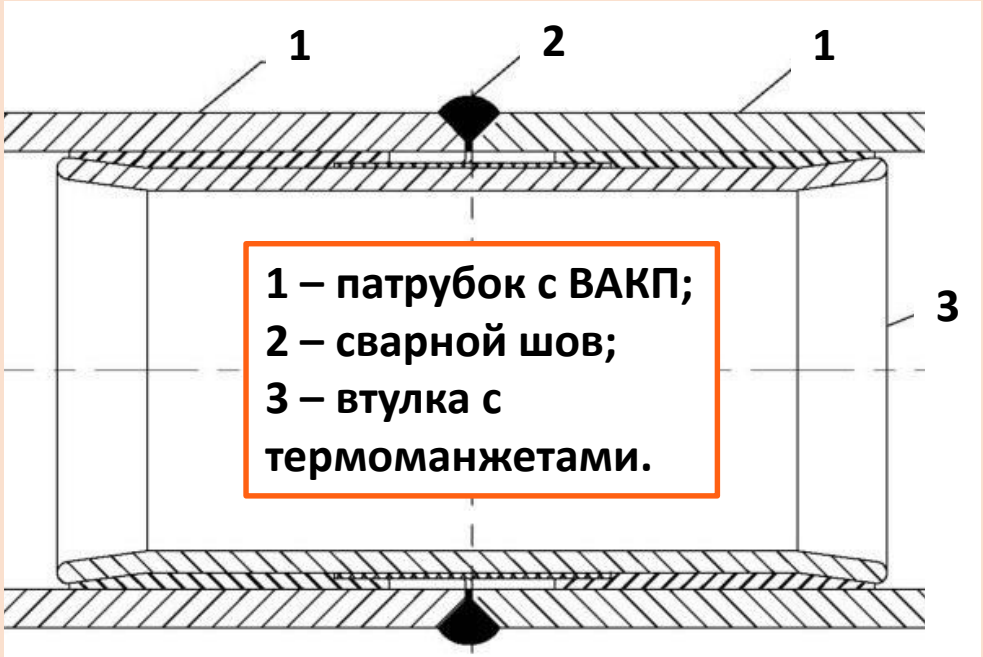


Отводы



Тройники

Втулки защиты сварного стыка для труб с ВАКП



1 – патрубок с ВАКП;
2 – сварной шов;
3 – втулка с термоманжетами.

Схематическое представление расположения защитной втулки внутри трубы

Недостатки стандартных защитных втулок:

1) сложность установки;
2) локальное сужение проходного диаметра;
3) отрыв втулки;
4) сколы покрытия на торцах втулки.



Примеры аварий в области сварных соединений труб с ВАКП и защитными втулками



Сколы покрытия на торцах втулки

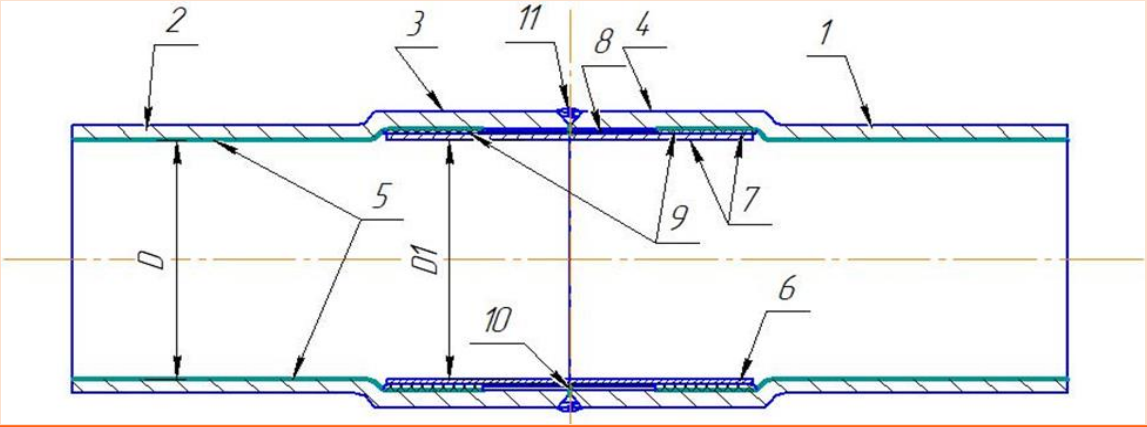


Негерметичность втулки





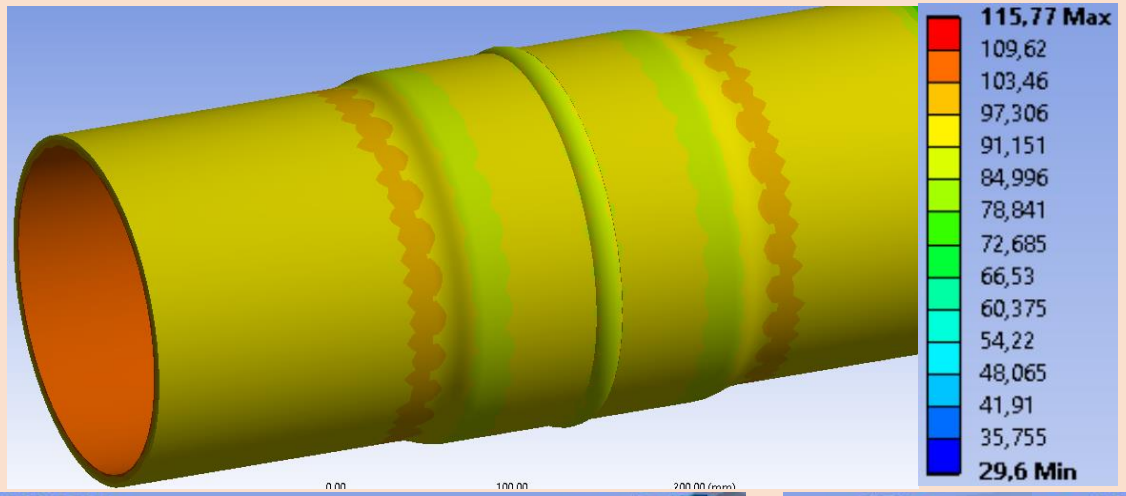
Технология АО «ВМЗ – сварное соединение «раструб-раструб»

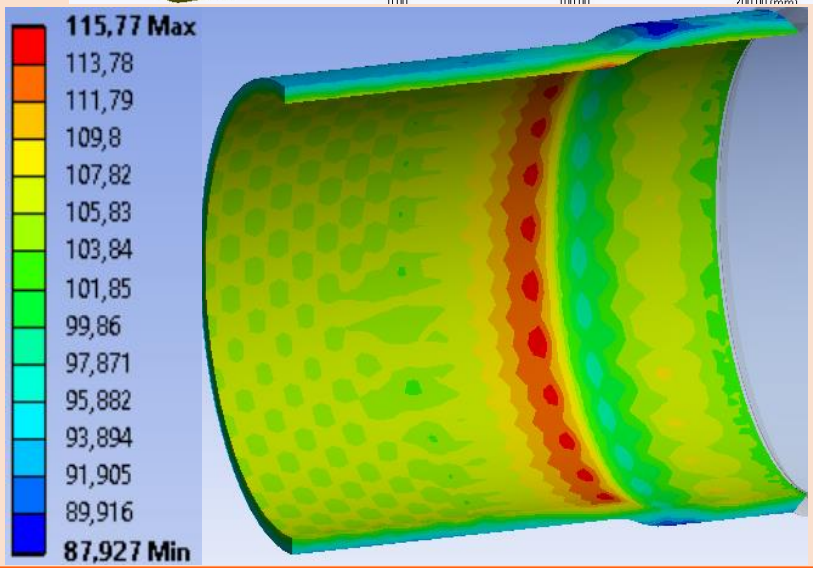


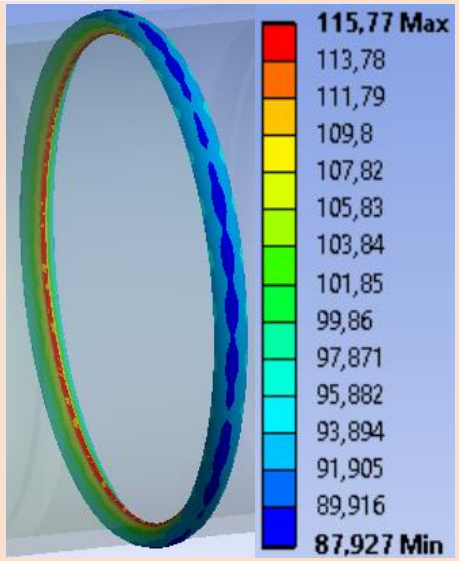
1,2 - соединяемые трубы с раструбами 3,4 на концах, длина которых превышает длину зоны термического влияния; 5 – ВАКП; 6 - цилиндрическая втулка с защитным покрытием 7; 8 - термоизолирующий материал; 9 - герметизирующий материал; 10 - центрирующие элементы втулки; 11 - сварной шов.



Результаты прочностных расчетов соединения «Р-Р»







Распределение эквивалентных напряжений в сварном соединении «раструб-раструб» трубы 219х8 под воздействием внутреннего давления 8 МПа

Образцы ТВЧ труб АО «ВМЗ» после стендовых испытаний соединения «Р-Р»



Патрубки ТВЧ 219х8 со сварным соединением «раструб-раструб» после стендовых испытаний на растяжение с усилием 860 кН и внутренним давлением 8 МПа

Опытно-промысловые испытания (ОПИ) сварных соединений «раструб-раструб»

РОСНЕФТЬ
ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
НЕФТЯНАЯ КОМПАНИЯ

«СОГЛАСОВАНО»
Директор по науке
ООО «ИТ-Сервис»
_____ В.А. Ревякин
«____» _____ 2022г.
М.П.

«УТВЕРЖДАЮ»
Первый заместитель
генерального директора по
производству – главный инженер
АО «Самаранефтегаз»
_____ С.С. Ульянов
«__» _____ 2022г.
М.П.

ПРОГРАММА
АО «Самаранефтегаз»

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ:
сварного соединения труб с ВАКП типа «раструб-раструб»
Ø159х6

г. Самара, 2022 г.

Согласовано:

Руководитель направления по
эксплуатации трубопроводов
ООО «Газпромнефть-Восток»
_____ Севостьянов В.В.
«___»_____2022 г.

Зам. Директора ИТЦ АО «ВМЗ»
_____ Мунтин А.В.
«___»_____2022 г.

Директор по науке
ООО «ИТ-Сервис»
_____ Ревякин В. А.
«___»_____2022г.

Главный инженер
ООО «Си-Пи-Эс технолоджи»
_____ Новиков С. В.
«___»_____2022 г.

Согласовано:

Начальник Управления
эксплуатации трубопроводов и
ремонта нефтепромыслового
оборудования
ООО «Газпромнефть-Восток»
_____ Рубежанский С.А.
«___»_____2022 г.

ПРОГРАММА
ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ
сварного соединения труб с ВАКП типа «Раструб-Раструб» Ø219х8, оснащенного втулкой защиты сварного стыка, в составе нефтесборного коллектора «Куст№4 – УДР УПН» Урманского м/р ООО «Газпромнефть-Восток»

г. Томск
2022

ОПИ сварных соединений «раструб-раструб» на Урманском месторождении

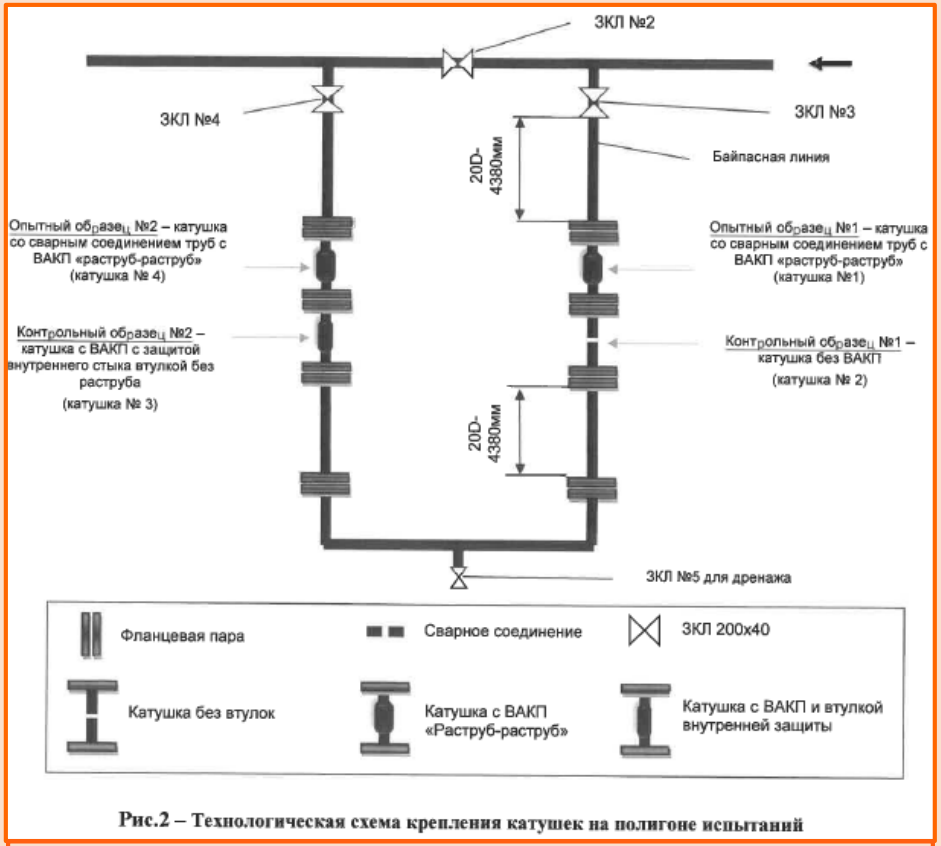
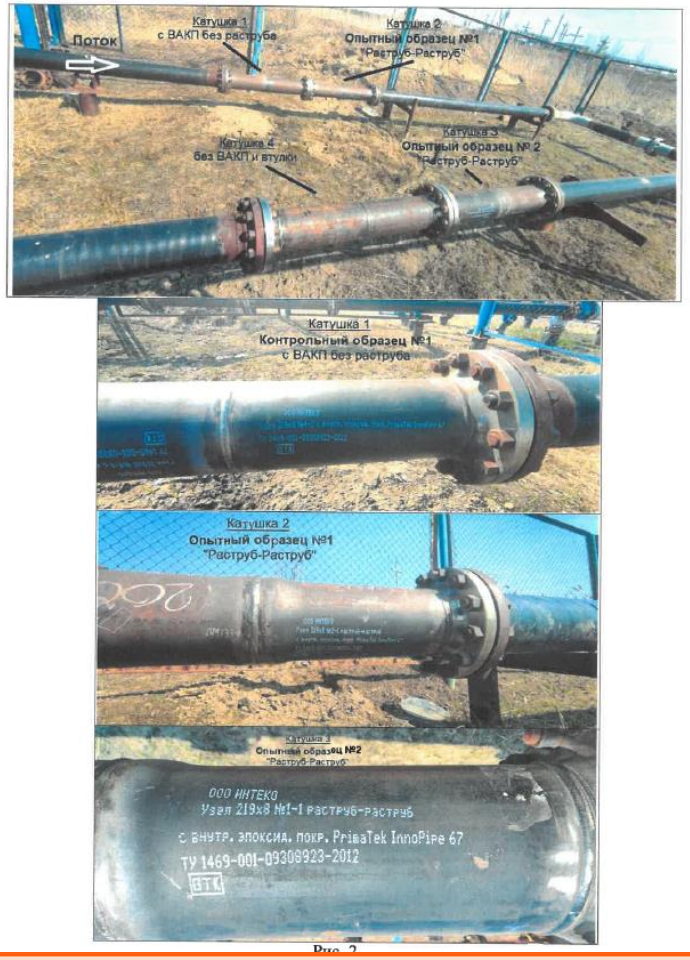


Рис.2 – Технологическая схема крепления катушек на полигоне испытаний

Схема байпасной установки катушек на месторождении в рамках ОПИ



Вид установленных катушек в рамках ОПИ

Параметры среды Урманского месторождения и схема проведения УЗК толщины стенки во время ОПИ

- протяженность – 8881 м;
- диаметр 219х8;
- объем транспортируемой жидкости – 590 м3/сут;
- транспортируемой нефти – 65 т/сут;
- объем газа – 83,96 тыс. м3/сут;
- обводненность – 87 %;
- скорость смеси – 3,28 м/с;
- скорость коррозии (средняя фоновая) – 1,56 мм/год;
- давление в трубопроводе – 22 атм;
- температура рабочей среды max + 60 ^{O}C.

Таблица 2. Характеристики эксплуатационных сред нефтепровода

Плотность воды, г/см^3	pH воды	Минеральный состав закачиваемой воды, мг.экв/дм3 мг/дм^3						Минерализация, мг/л	Тип воды по Сулину
		Ед. изм	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^{+}+K^{+}$	Cl^{-}	HCO_3^{-}	Общая жесткость мг.экв/дм3	
1,038	6,82	мг.экв/дм^3 мг/дм^3	70,2 1406,6	25,8 313,8	723,2 16633,6	814,5 28913,3	4,7 289,1	96	47556,5	ХК

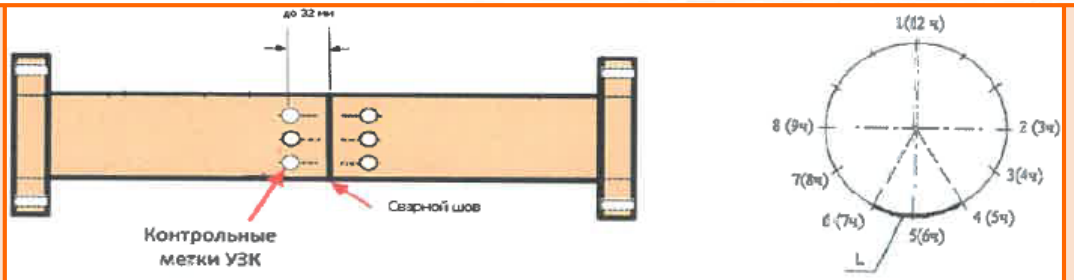


Рис.3 – Схема нанесения маркеров на испытываемой катушке

Вид поступивших на исследования катушек после ОПИ в течение 389 суток

Опытная катушка №1 «раструб-раструб»



Опытная катушка №2 «раструб-раструб»



Контрольная катушка №1 с ВАКП и втулкой



Контрольная катушка №2 без ВАКП и втулки



Вид внутренний поверхности катушек после ОПИ в области сварного шва

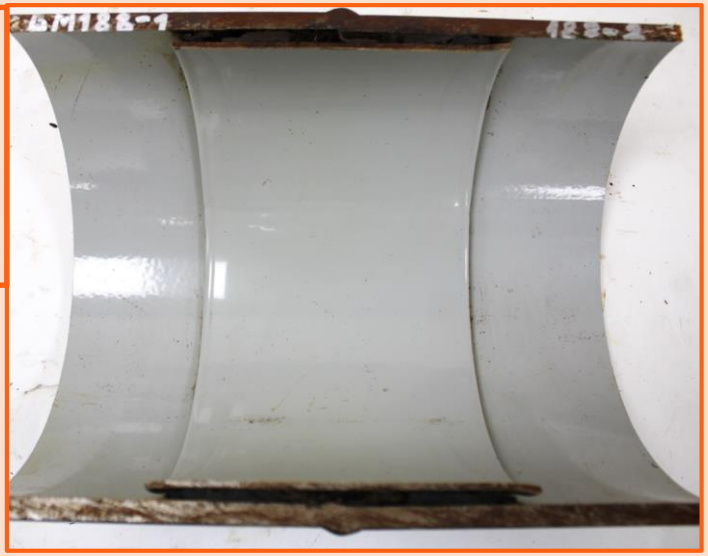
Опытная катушка №1 «раструб-раструб»





Опытная катушка №2 «раструб-раструб»

Контр. катушка №1 с ВАКП и втулкой





Контр. катушка №2 без ВАКП и втулки

Вид поверхности защитных втулок после ОПИ в области сварного шва

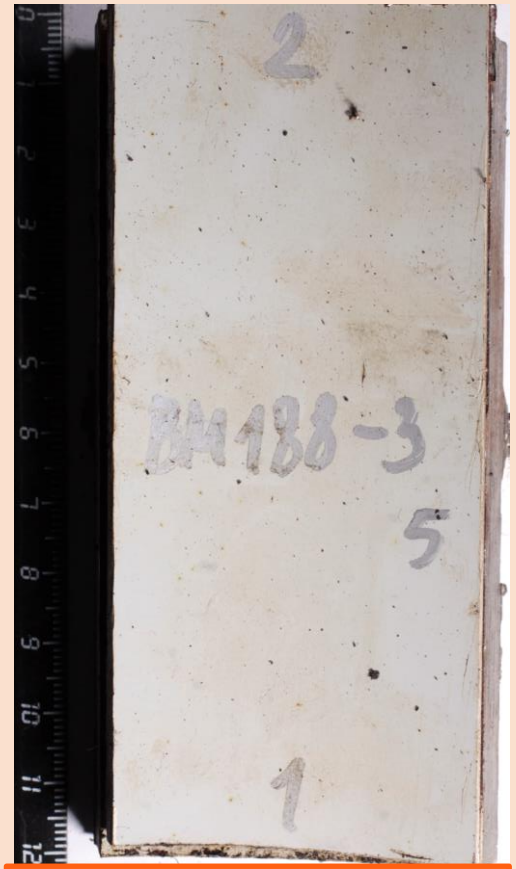
Следы перегрева покрытия



Опытная катушка №1 «раструб-раструб»



Опытная катушка №2 «раструб-раструб»



Контрольная катушка №1 с ВАКП и втулкой

Вид внутренней поверхности под защитными втулками у опытных катушек №1,2 и контрольной катушки №1



Опытная катушка №1 «раструб-раструб»



Опытная катушка №2 «раструб-раструб»

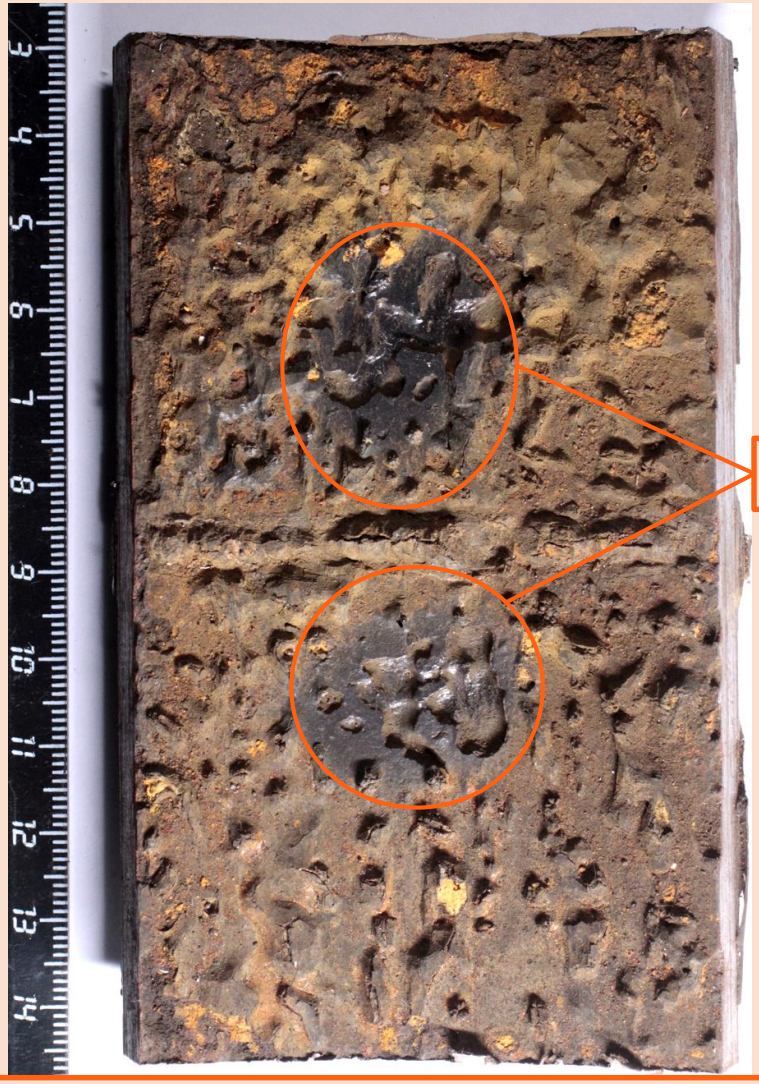


Контрольная катушка №1 с ВАКП и втулкой

Вид внутренней поверхности контрольного образца №2 без ВАКП и втулки

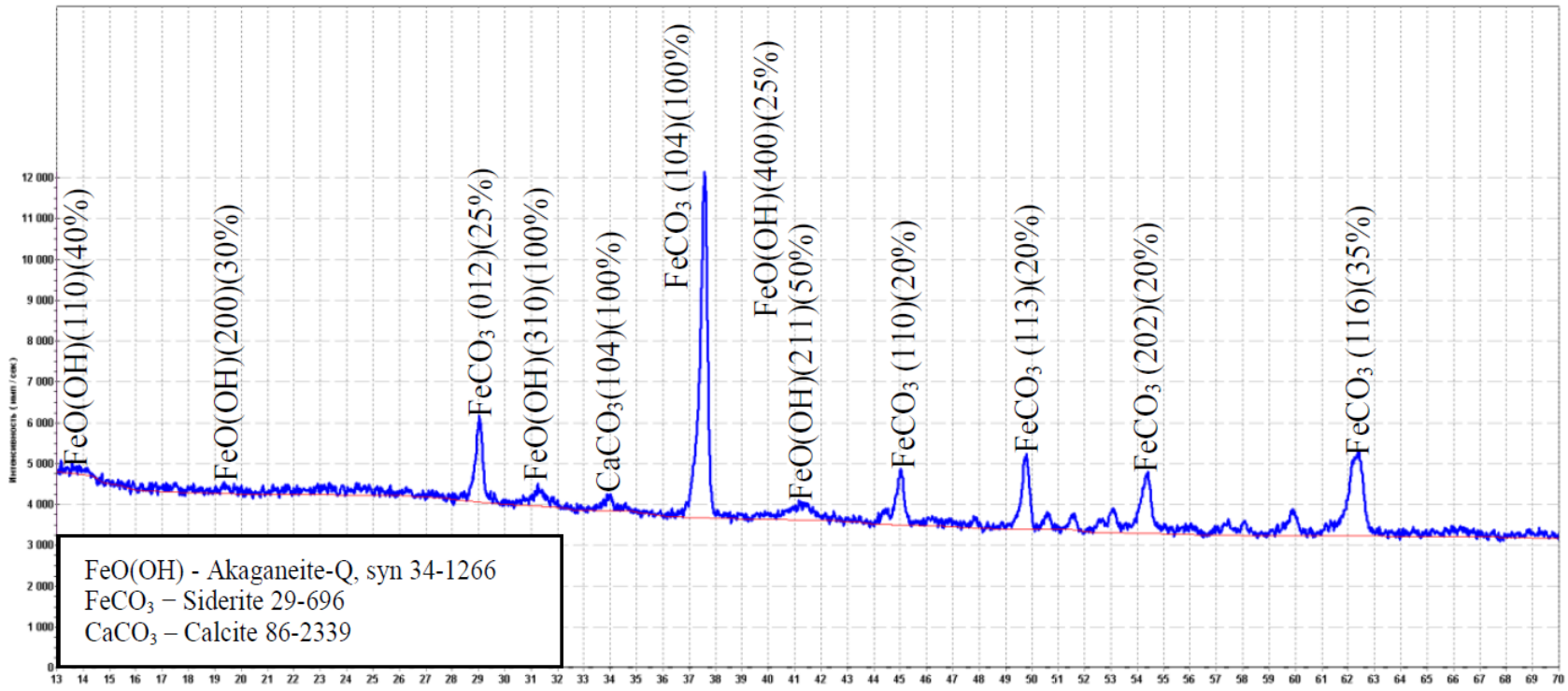


До очистки от ПК



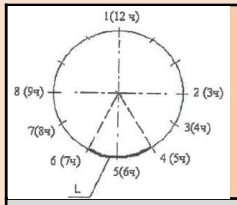
После очистки от ПК в области замера УЗК

Фазовый состав ПК на внутренней поверхности контрольного образца №2 без ВАКП и втулки



Продукты коррозии – гидроксиды и карбонаты железа, а также карбонаты кальция

Толщина стенки труб в околошовной зоне катушек после ОПИ в течение 389 суток

	Точка замера, мм								Ср. знач., мм	Ср. скорость локальной коррозии, мм/год
Маркировка	1 (12 ч.)	2 (3 ч.)	3 (4 ч.)	4 (5 ч.)	5 (6 ч.)	6 (7 ч.)	7 (8 ч.)	8 (9 ч.)		
Опытная катушка №1. Труба 1 (замер)	7,48	7,40	7,65	7,59	7,60	7,46	7,39	7,46	-	-0,06
Опытная катушка №1. Труба 1 (исх.)	7,43	7,58	7,48	7,44	7,46	7,37	7,36	7,44	7,45	
Потеря толщины	-0,05	0,18	-0,17	-0,15	-0,14	-0,09	-0,03	-0,02	-0,06	
Опытная катушка №1. Труба 2 (замер)	7,47	7,66	7,59	7,56	7,55	7,50	7,50	7,51	-	-0,07
Опытная катушка №1. Труба 2 (исх.)	7,49	7,52	7,45	7,49	7,45	7,44	7,44	7,44	7,47	
Потеря толщины	0,02	-0,14	-0,14	-0,07	-0,10	-0,06	-0,06	-0,07	-0,08	
Опытная катушка №2. Труба 1 (замер)	7,60	7,70	7,55	7,48	7,64	7,64	7,57	7,55	-	-0,13
Опытная катушка №2. Труба 1 (исх.)	7,41	7,46	7,44	7,43	7,44	7,54	7,45	7,47	7,46	
Потеря толщины	-0,19	-0,24	-0,11	-0,05	-0,20	-0,10	-0,12	-0,08	-0,14	
Опытная катушка №2. Труба 2 (замер)	7,63	7,49	7,60	7,55	7,51	7,47	7,56	7,48	-	-0,19
Опытная катушка №2. Труба 2 (исх.)	7,43	7,54	7,46	7,44	7,43	7,39	7,45	7,41	7,44	
Потеря толщины	-0,20	0,05	-0,14	-0,11	-0,08	-0,08	-0,11	-0,07	-0,20	
Контр. катушка №1 с ВАКП. Труба 1 (замер)	7,63	7,49	7,60	7,55	7,51	7,47	7,56	7,48	-	0,11
Контр. катушка №1 с ВАКП. Труба 1 (исх.)	7,67	7,65	7,74	7,67	7,60	7,61	7,65	7,62	7,65	
Потеря толщины	0,04	0,16	0,14	0,12	0,09	0,14	0,09	0,14	0,12	
Контр. катушка №1 с ВАКП. Труба 2 (замер)	7,81	7,84	7,88	7,61	7,75	7,74	7,83	7,80	-	-0,10
Контр. катушка №2 с ВАКП. Труба 1 (исх.)	7,68	7,63	7,67	7,66	7,62	7,74	7,73	7,68	7,68	
Потеря толщины	-0,13	-0,21	-0,21	0,05	-0,13	0,00	-0,10	-0,12	-0,11	
Контр. катушка №2 без ВАКП. Труба 1 (замер)	6,44	6,78	7,23	7,27	7,38	7,35	6,60	7,38	-	1,07
Контр. катушка №2 без ВАКП. Труба 1 (исх.)	7,74	8,30	8,30	8,38	8,19	8,37	8,12	8,12	8,19	
Потеря толщины	1,30	1,52	1,07	1,11	0,81	1,02	1,52	0,74	1,14	
Контр. катушка №2 без ВАКП. Труба 2 (замер)	7,04	6,58	7,19	7,49	7,47	7,55	7,16	8,01	-	1,09
Контр. катушка №2 без ВАКП. Труба 2 (исх.)	7,95	8,26	8,43	8,49	8,60	8,71	8,53	8,78	8,47	
Потеря толщины	0,91	1,68	1,24	1,00	1,13	1,16	1,37	0,77	1,16	

Выводы

- **Во избежание термического разрушения эпоксидно-полимерного покрытия защитных втулок необходимо скорректировать режим сварки и/или доработать компоновку втулок для снижения теплопередачи при сварке катушек;**

- **Соединение «раструб-раструб» со втулкой по своим защитным свойствам не уступает стандартной технологии защиты сварного шва при помощи втулок, при этом исключается недостатки, связанные с локальным снижением проходного сечения трубопровода.**

- **Дальнейшие ОПИ и бóльшая выборка образцов позволит обосновать повышенную эксплуатационную надежность соединения «раструб-раструб» по сравнению с обычными сварными соединениями с защитными втулками.**

КОЩЕЕВ
Кирилл Игоревич

+ 7 (903) 300-75-16
koscheevki@its-samara.com

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
«САМАРА»

Механизмы разрушения антикоррозионных защитных покрытий и методы прогнозирования ресурса эксплуатации

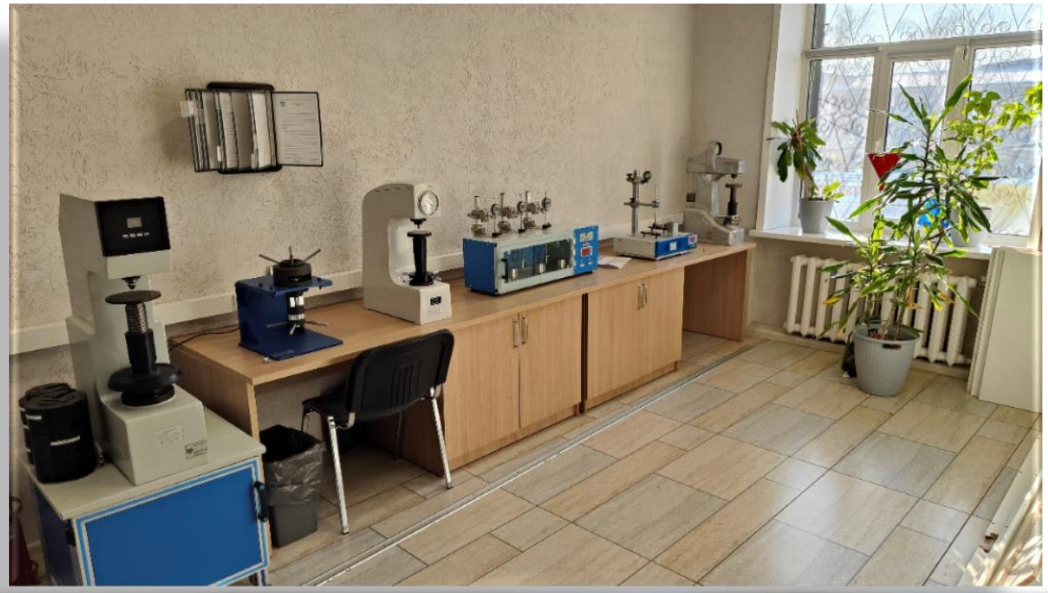
Докладчик:
Директор по развитию , к.х.н. Веревкин Александр

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
«САМАРА»

- С 2005 года оказываем наукоёмкие услуги и производим высокотехнологичное оборудование;
- Более 70 высококвалифицированных сотрудников в Самаре (8 кандидатов наук)
  + 40 сотрудников отдела инспекционного контроля;
- Аккредитация Федеральной службой по аккредитации, НИИ «Транснефть», Интергазсерт, Морской регистр, Арбитражные суды;
- Один из крупнейших центров по исследованиям сталей и покрытий нефтегазопроводных труб;
- Более 100 комплексных исследований и 70 судебных экспертиз в год;
- Более 60 научных работ в области защиты от коррозии,
  9 патентов, внедренных на производстве
  и приносящих прибыль заказчику;
- Область присутствия от Европы (Германия, Англия) до Азии (Узбекистан, Казахстан);
- Собственный конструкторский отдел и производство;

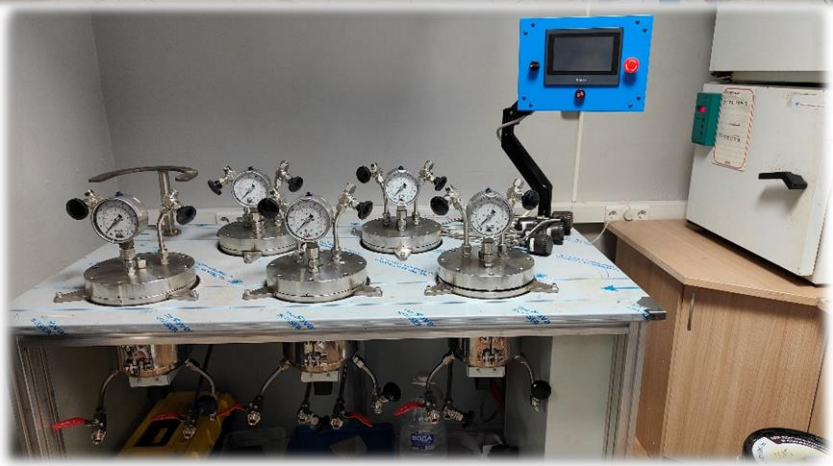
Лаборатория НПЦ Самара

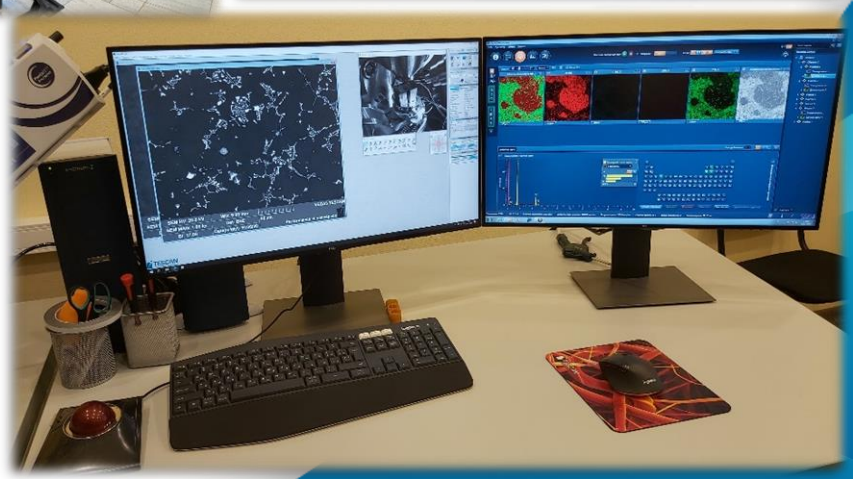












ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Технологические

Брак при производстве труб с покрытием

- дефекты подготовки поверхности;
- дефекты нанесения покрытия и нарушения режимов сушки и полимеризации.

Эксплуатационные

Дефекты, обусловленные технологическими режимами эксплуатации трубопровода или скважины

- превышение температуры эксплуатации;
- высокий газовый фактор;
- воздействие механических примесей.

- обработка химическими реагентами, СКО и другие виды обработки.

Прочие

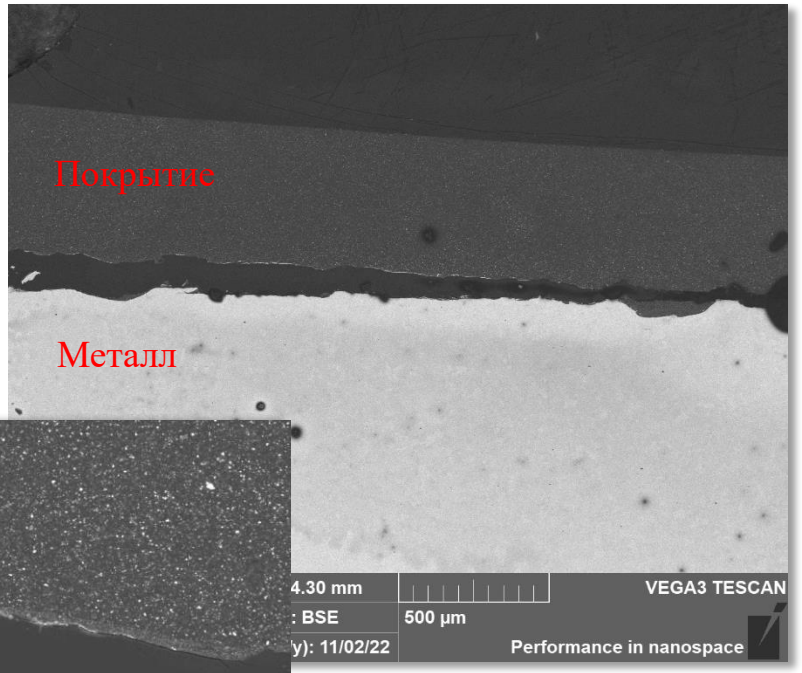
- неправильный подбор материалов под условия эксплуатации;
- дефекты, полученные при СМР или КРС;
- несоблюдение условий транспортировки и хранения.

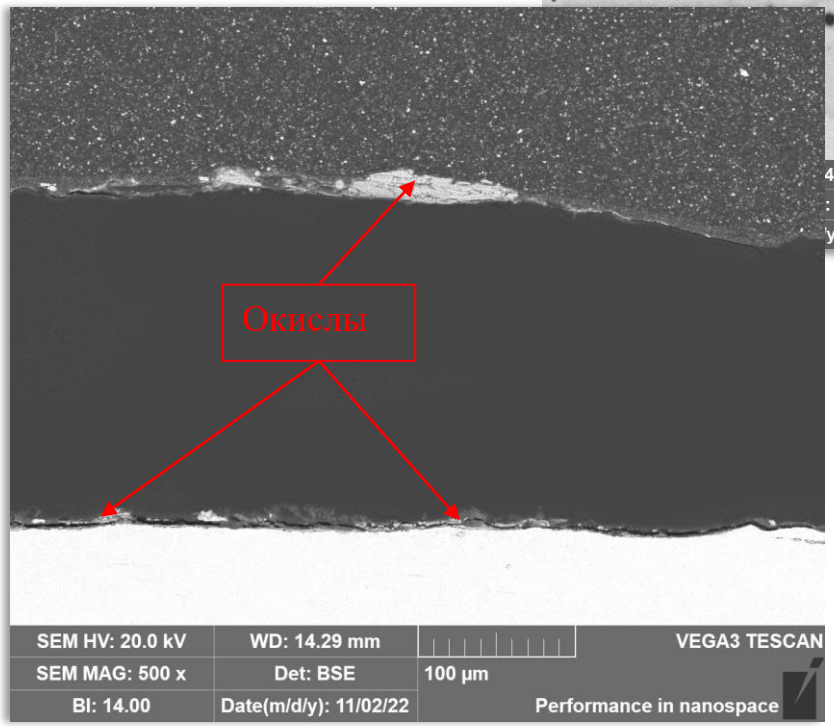
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ

НКТ Ø73,0х5,5 мм









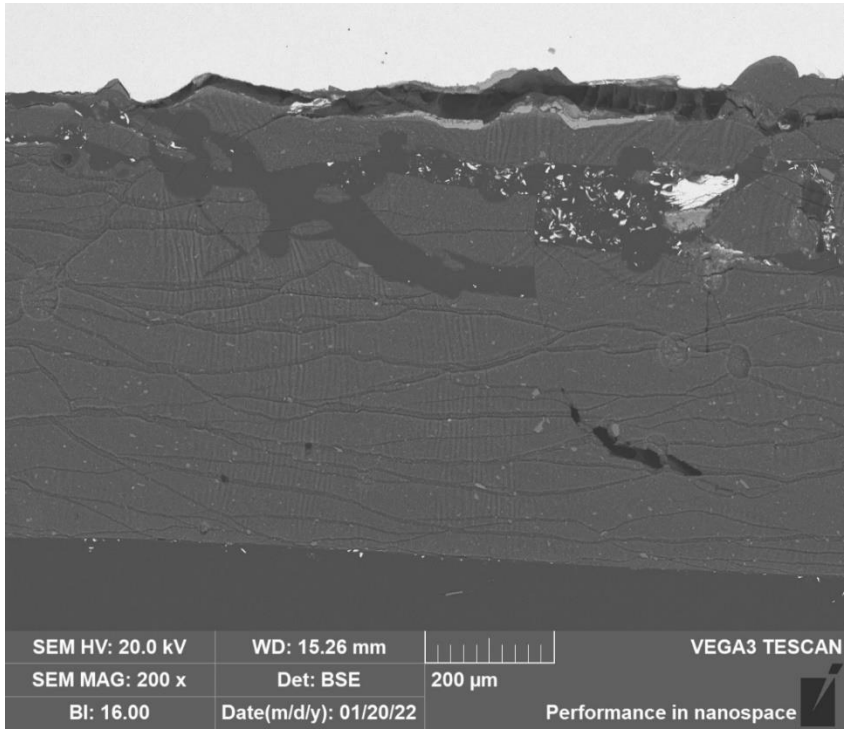
- Масштабные отслоения покрытия
- Наличие окалины под слоем покрытия
- Разрушение адгезионных связей на границе «грунт-металл»

Разрушение внутреннего покрытия вследствие нарушения технологического процесса подготовки поверхности трубы перед окрашиванием

ПРОЧИЕ

Трубопровод Ø325х8 мм





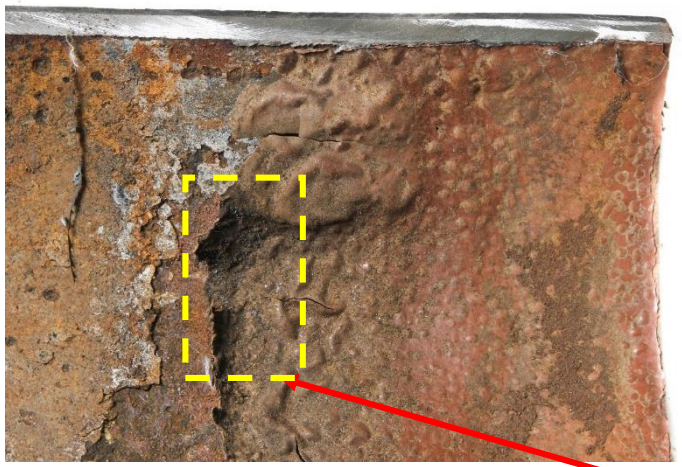
- Внутриобъемные растрескивания
- Изменение структуры покрытия
- Отслоение покрытия
- Локальные прожоги покрытия

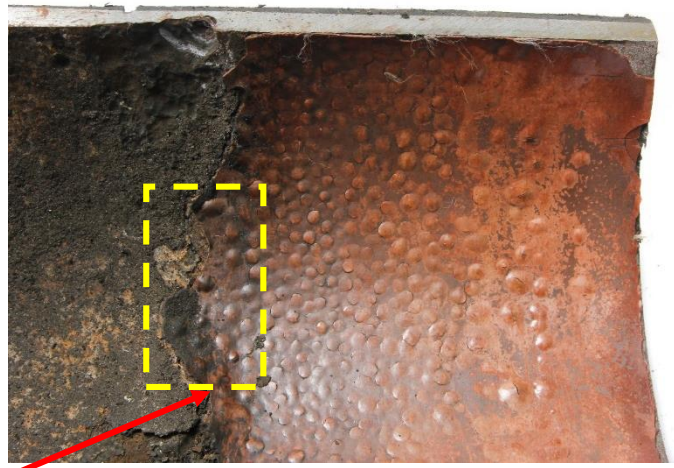
Разрушение внутреннего покрытия вследствие высокотемпературного воздействия в процессе сварки трубопровода

ПРОЧИЕ

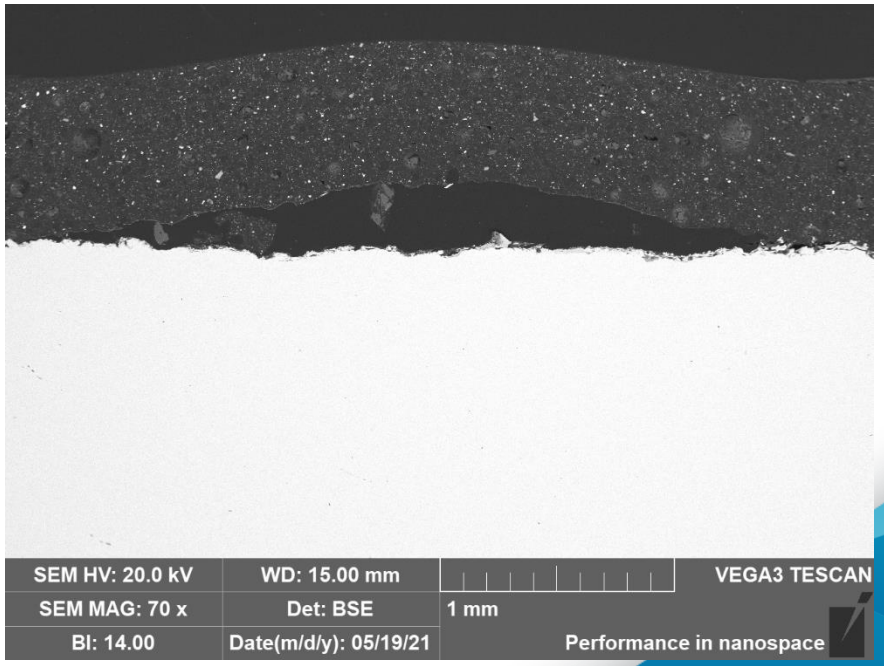
Трубопровод Ø159х8 мм







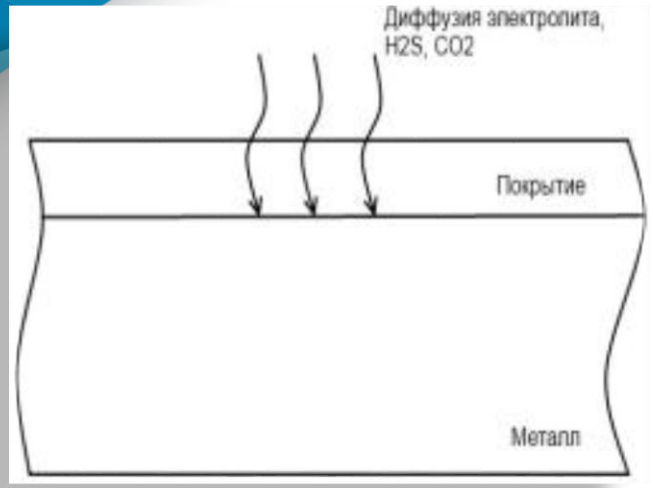
Изменение цвета покрытия



- **Прожоги покрытия**
- **Отсутствие продуктов коррозии под вздутиями покрытия**
- **Диффузия газа к границе «металл-покрытие»**

Разрушение покрытия протекает по механизму декомпрессионного отслаивания в комбинации с локальным термическим воздействием

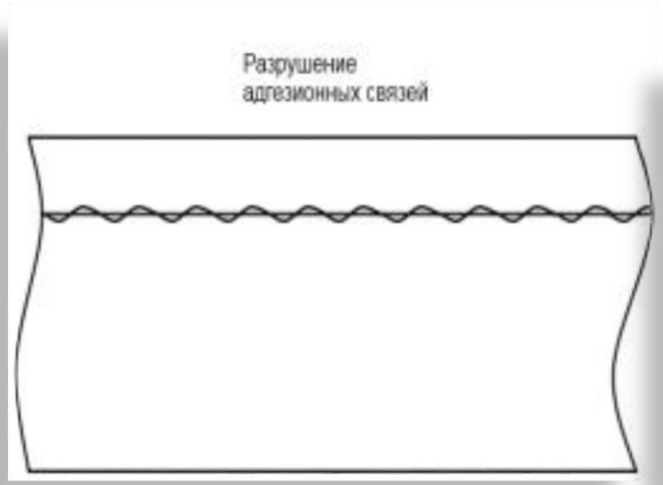
Механизмы разрушения внутренних антикоррозионных покрытий НКТ



$t_{диффузии}$

Основные факторы:

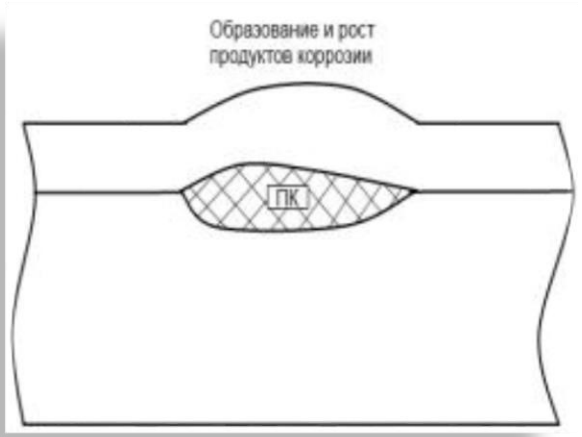
- Барьерные свойства полимерной основы
- Типы наполнителей
- Толщина покрытия



$t_{разрушения\ адгезионных\ связей}$

Основные факторы:

- Сила адгезии



$t_{образования\ продуктов\ коррозии}$

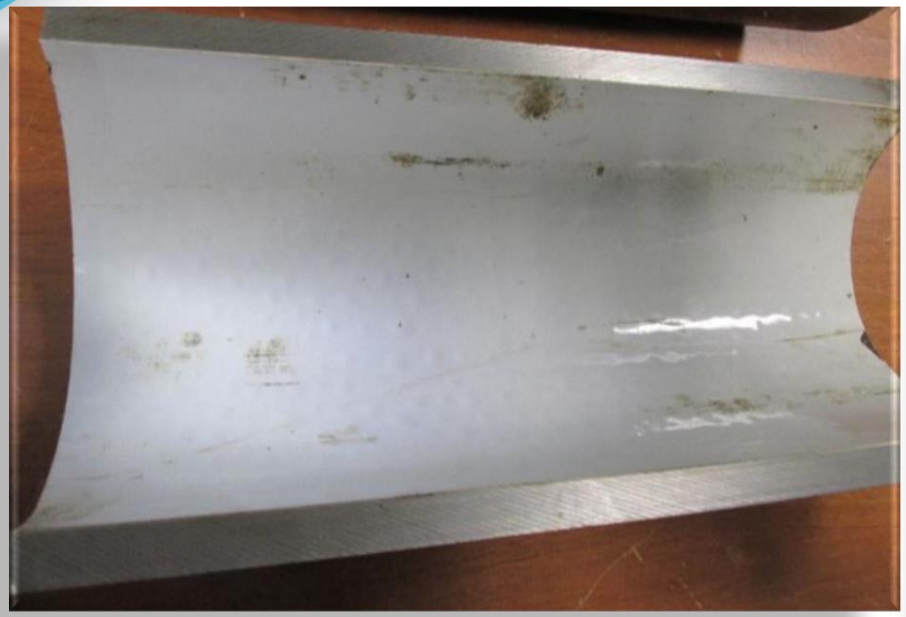
Основные факторы:

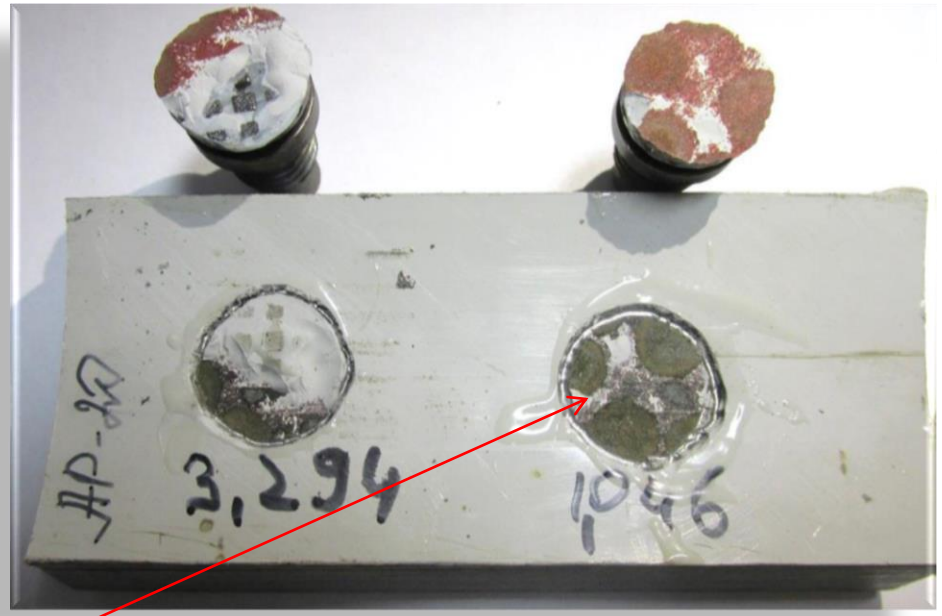
- Скорость массопереноса коррозионно-активных компонентов через покрытие
- Коррозионная стойкость материала подложки

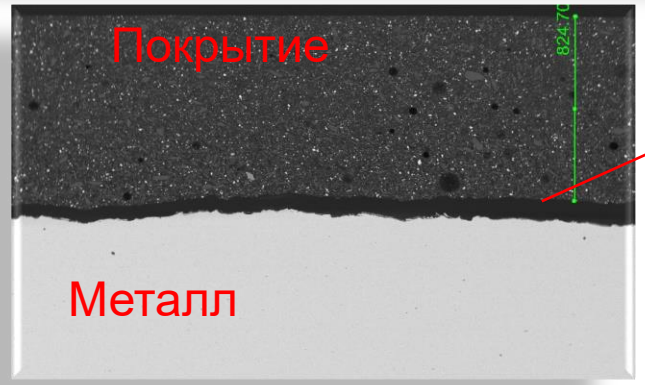


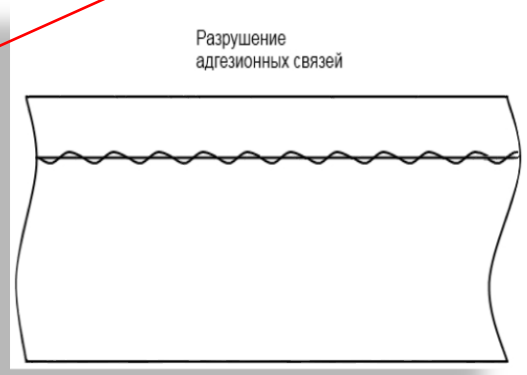
Время работы покрытия (в случае отсутствия других механизмов разрушения) = $t_{диффузии}$ + $t_{разрушения\ адгезионных\ связей}$ + $t_{образования\ продуктов\ коррозии}$

Стадии разрушения внутренних антикоррозионных покрытий





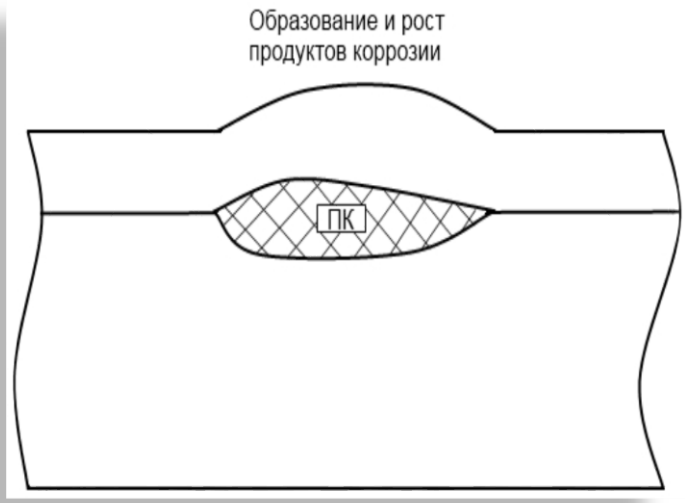


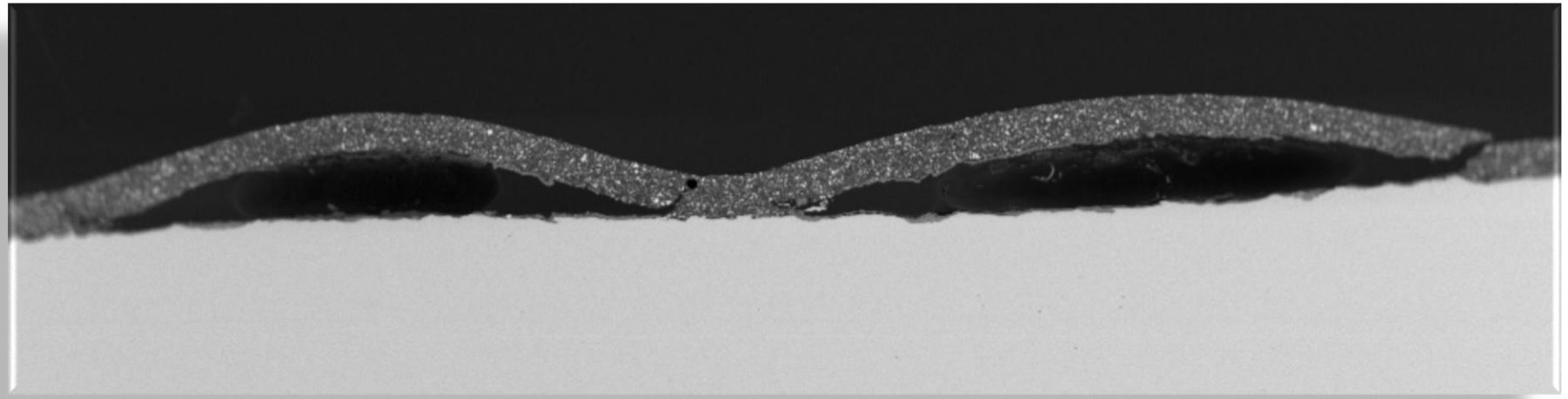


Локальные отслоения и снижение адгезии, вызванные образованием продуктов коррозии под покрытием

Стадии разрушения внутренних антикоррозионных покрытий





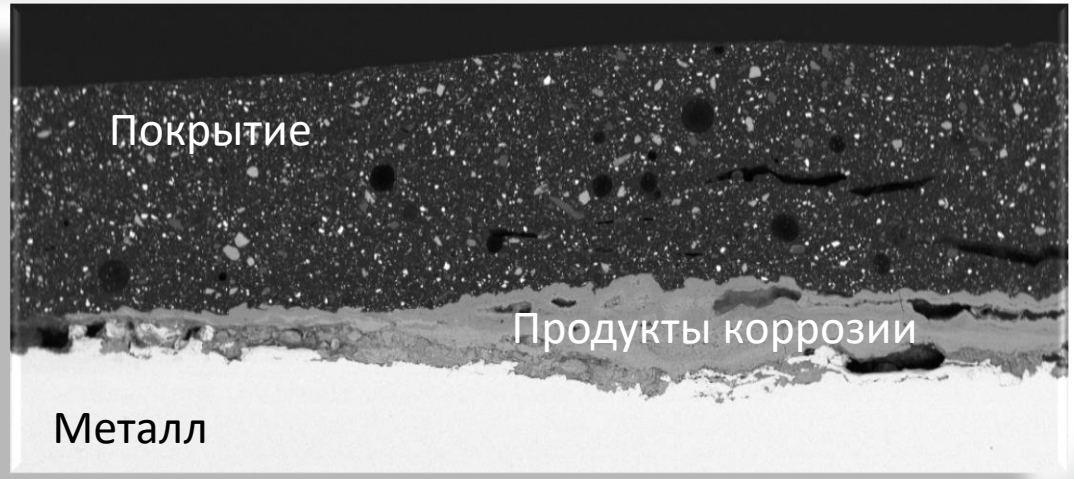


Типичные виды разрушений внутренних антикоррозионных покрытий

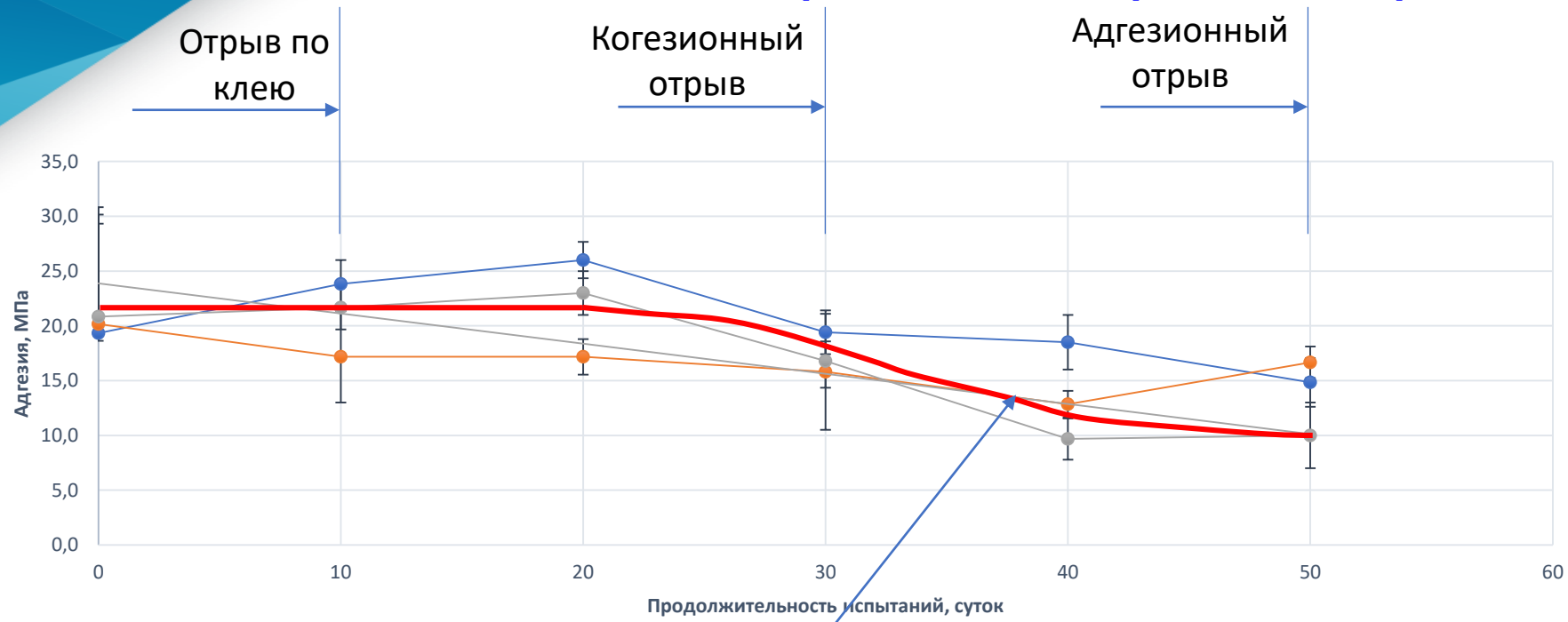






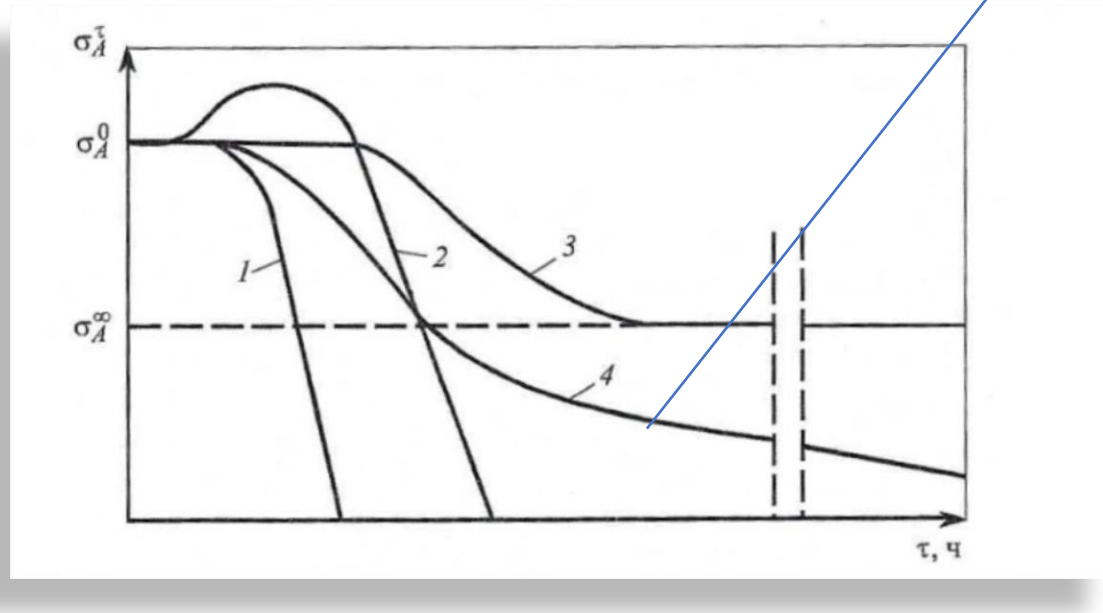


Зависимость адгезионной прочности полимерного покрытия от времени пребывания в агрессивной среде



360 часов автоклавных испытаний

8007+585Т
8007+585
0245+585



1,2 образцы с нестойкой
3 малостойкой
4 стойкой
адгезионной связью

* *Муров, В.А.* Итоги науки и техники. Коррозия и защита от коррозии / В.А. Муров, А.А. Шевченко. – М., 1986. –Т. II. – С. 54

Построение модели зависимости свойств покрытия от большого количества факторов

Задача: прогнозирование свойств покрытий в условиях эксплуатации с помощью результатов лабораторных испытаний

Содержат, но не ограничиваются

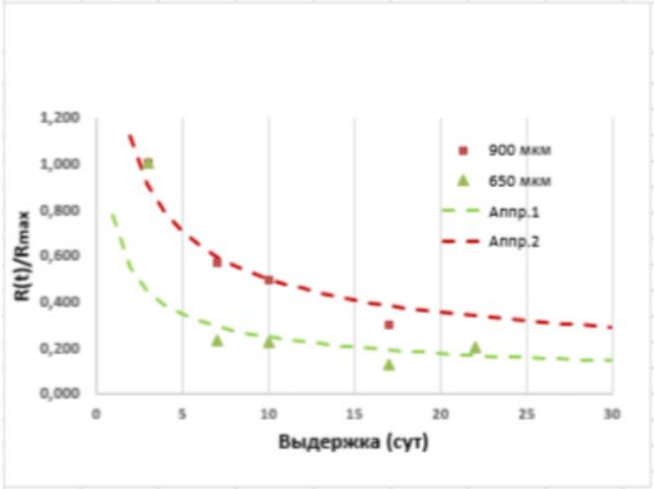
1. **Контролируемые свойства покрытия в исходном состоянии (до эксплуатации)**
    1. Адгезия
    2. EIS-спектры (Диаграммы Найквиста и Боде)
    3. ИК-спектры защитных покрытий
    4. Стойкость покрытия при изгибе
    5. Потеря массы покрытия при истирании
    6. Диэлектрическая сплошность покрытия
2. **Условия эксплуатации покрытия**
    1. Температура, общее давление в системе, расход/скорость потока
    2. Парциальные давления CO_2 и H_2S.
    3. КВЧ
    4. Минерализация
3. **Условия проведения испытаний покрытий**
    1. Время выдержки покрытия в условиях эксплуатации
    2. Изменение свойств покрытия в условиях эксплуатации
4. **Контролируемые свойства покрытия в результате нахождения в условиях эксплуатации**
    1. Адгезия
    2. EIS-спектры (Диаграммы Найквиста и Боде)
    3. ИК-спектры защитных покрытий
    4. Стойкость покрытия при изгибе
    5. Потеря массы покрытия при истирании
    6. Диэлектрическая сплошность покрытия

Построение модели зависимости свойств покрытия от большого количества факторов



Построение модели зависимости свойств покрытия от большого количества факторов

Толщина слоя		Выдержка (сут)				
см	мкм	3	7	10	17	22
0,03	300	1,54E+08	5,30E+07	7,50E+07	6,13E+07	1,46E+08
		1,00	0,35	0,49	0,40	0,95
0,065	650	5,70E+08	1,30E+08	1,25E+08	7,00E+07	1,13E+08
		1,00	0,23	0,22	0,12	0,20
0,09	900	2,08E+09	1,18E+09	1,03E+09	6,25E+08	1,45E+09
		1,00	0,57	0,49	0,30	0,70
0,11	1100	1,35E+09	2,50E+09	2,25E+09	6,95E+08	2,63E+09
		1,00	1,85	1,67	0,51	1,94



Переходное сопротивление

1/t (сек)-1			1,65E-06	1,1574E-06	6,80828E-07	5,261E-07	
Время выдержки (сут)			7	10	17	22	
0,03	300	300	2,45E-09	8,5631E-10	7,55256E-10	1,025E-10	1,04E-09
0,065	650	650	2,64E-08	1,9955E-08	3,74306E-08	1,12E-08	2,37E-08
0,09	900	900	8,22E-09	7,5581E-09	3,59744E-09	1,717E-09	5,27E-09
0,11	1100	1100	1,14E-09	9,8943E-10	6,10001E-09	3,304E-10	2,14E-09
			9,54E-09	7,3397E-09	1,19708E-08	3,337E-09	

$$\frac{C(h,t)}{C_0} = \frac{h}{2\sqrt{\pi D t}}$$

t (сут)	C0	h (см)	D x10(+9) (см2/с)	APPR1
1	0,950	0,065	6,50	0,7739359
2	0,950	0,065	6,50	0,5472553
3	0,950	0,065	6,50	0,4468321
4	0,950	0,065	6,50	0,3869679
5	0,950	0,065	6,50	0,3461147
6	0,950	0,065	6,50	0,3159580
7	0,950	0,065	6,50	0,2925203
8	0,950	0,065	6,50	0,2736277
9	0,950	0,065	6,50	0,2579786
10	0,950	0,065	6,50	0,2447400
11	0,950	0,065	6,50	0,2333505
12	0,950	0,065	6,50	0,2234160
13	0,950	0,065	6,50	0,2146512
14	0,950	0,065	6,50	0,2068431
15	0,950	0,065	6,50	0,1998294
16	0,950	0,065	6,50	0,1934840
17	0,950	0,065	6,50	0,1877070
18	0,950	0,065	6,50	0,1824184
19	0,950	0,065	6,50	0,1775531
20	0,950	0,065	6,50	0,1730573
21	0,950	0,065	6,50	0,1688867
22	0,950	0,065	6,50	0,1650037
23	0,950	0,065	6,50	0,1613768
24	0,950	0,065	6,50	0,1579790
25	0,950	0,065	6,50	0,1547872
26	0,950	0,065	6,50	0,1517813
27	0,950	0,065	6,50	0,1489440
28	0,950	0,065	6,50	0,1462601
29	0,950	0,065	6,50	0,1437163
30	0,950	0,065	6,50	0,1413007

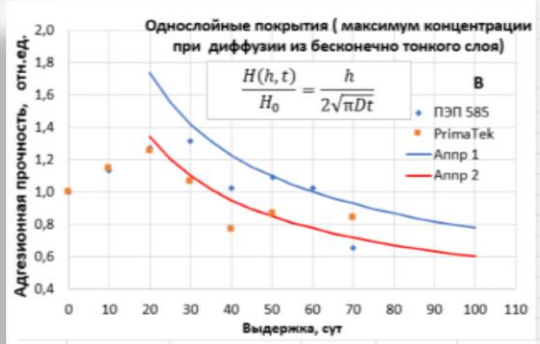
t (сут)	C0	h (см)	D x10(+9) (см2/с)	APPR1
	0,950	0,090	3,00	#ДЕЛ/0!
2	0,950	0,090	3,00	1,1153603
3	0,950	0,090	3,00	0,9106879
4	0,950	0,090	3,00	0,7886789
5	0,950	0,090	3,00	0,7054158
6	0,950	0,090	3,00	0,6439536
7	0,950	0,090	3,00	0,5961852
8	0,950	0,090	3,00	0,5576802
9	0,950	0,090	3,00	0,5257859
10	0,950	0,090	3,00	0,4988043
11	0,950	0,090	3,00	0,4755912
12	0,950	0,090	3,00	0,4553439
13	0,950	0,090	3,00	0,4374803
14	0,950	0,090	3,00	0,4215666
15	0,950	0,090	3,00	0,4072720
16	0,950	0,090	3,00	0,3943394
17	0,950	0,090	3,00	0,3825654
18	0,950	0,090	3,00	0,3717868
19	0,950	0,090	3,00	0,3618707
20	0,950	0,090	3,00	0,3527079
21	0,950	0,090	3,00	0,3442077
22	0,950	0,090	3,00	0,3362938
23	0,950	0,090	3,00	0,3289018
24	0,950	0,090	3,00	0,3219768
25	0,950	0,090	3,00	0,3154715
26	0,950	0,090	3,00	0,3093453
27	0,950	0,090	3,00	0,3035626
28	0,950	0,090	3,00	0,2980926
29	0,950	0,090	3,00	0,2929080
30	0,950	0,090	3,00	0,2879848

$$\frac{R(t)}{R_{max}} = \frac{h}{4}\sqrt{\frac{\pi}{Dt}}$$

t (сут)	C0	h (см)	D x10(+9) (см2/с)	APPR1

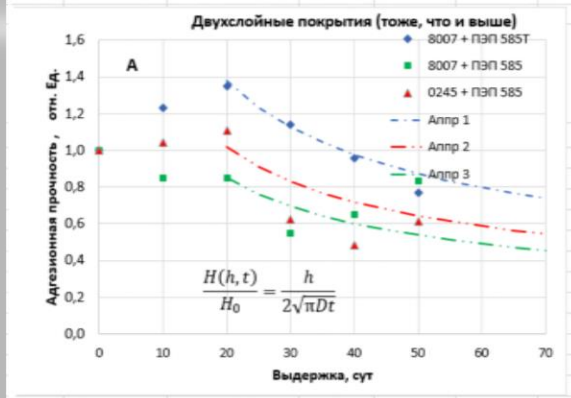
t (сут)	C0	h (см)	D x10(+9) (см2/с)	APPR1

Построение модели зависимости свойств покрытия от большого количества факторов



t (сут)	Co	h (см)	D x10(10) (см2/с)	Const	APPR1
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
20	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,7361111
25	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,5528250
30	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,4175288
35	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,3123766
40	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,2276159
45	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,1574074
50	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,0980131
55	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,0469144
60	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,0023442
65	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,9630212
70	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,9279904
75	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,8965239
80	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,8680556
85	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,8421376
90	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,8184106
95	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,7965824
100	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,7764125
500	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,3472222

t (сут)	Co	h (см)	D x10(10) (см2/с)	Const	APPR1
	0,080	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
	0,080	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
20	1,000	0,0500	2,0000	1,0	1,3447859
25	1,000	0,0500	2,0000	1,0	1,2028131
30	1,000	0,0500	2,0000	1,0	1,0980131
35	1,000	0,0500	2,0000	1,0	1,0165626
40	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,9509072
45	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,8965239
50	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,8505173
55	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,8109364
60	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,7764125
65	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,7459530
70	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,7188183
75	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,6944444
80	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,6723929
85	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,6523170
90	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,6339381
95	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,6170301
100	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,6014065
500	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,2689572



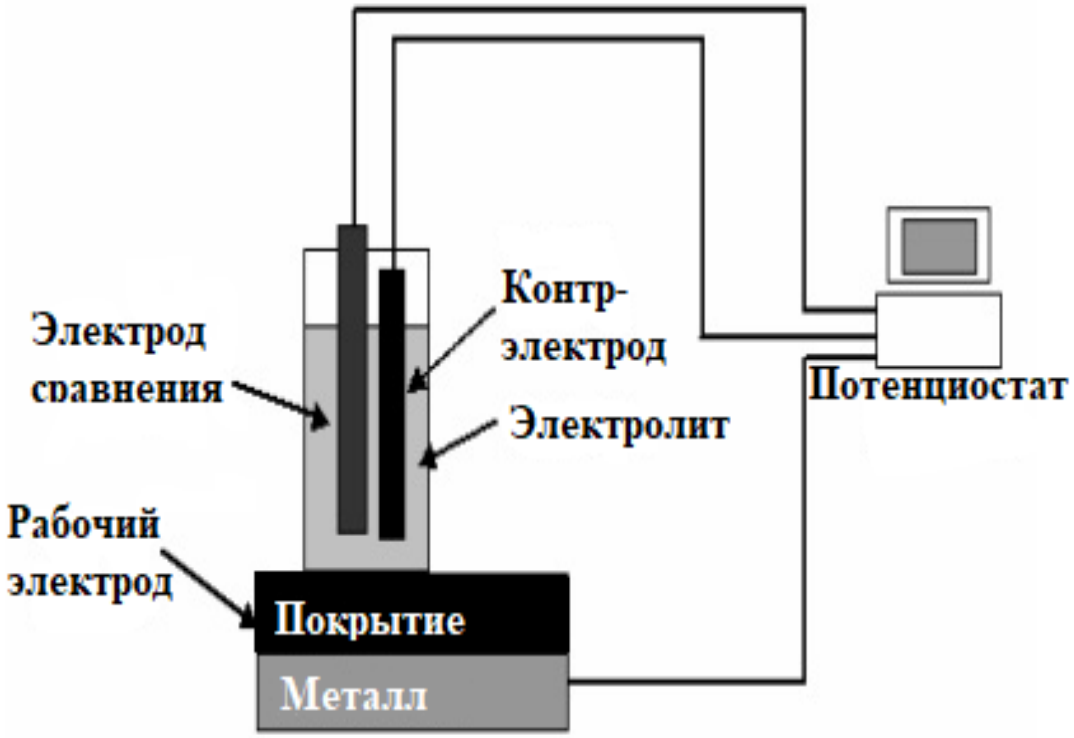
t (сут)	Co	h (см)	D x10(10) (см2/с)	Const1	APPR1
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
20	1,000	0,050	1,9000	1,0	1,3797212
25	1,000	0,050	1,9000	1,0	1,2340602
30	1,000	0,050	1,9000	1,0	1,1265376
35	1,000	0,050	1,9000	1,0	1,0429712
40	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,9756102
45	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,9198141
50	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,8726123
55	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,8320032
60	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,7965824
65	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,7653316
70	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,7374920
75	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,7124850
80	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,6898606
85	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,6692631
90	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,6504068
95	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,6330595
100	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,6170301
500	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,2759442

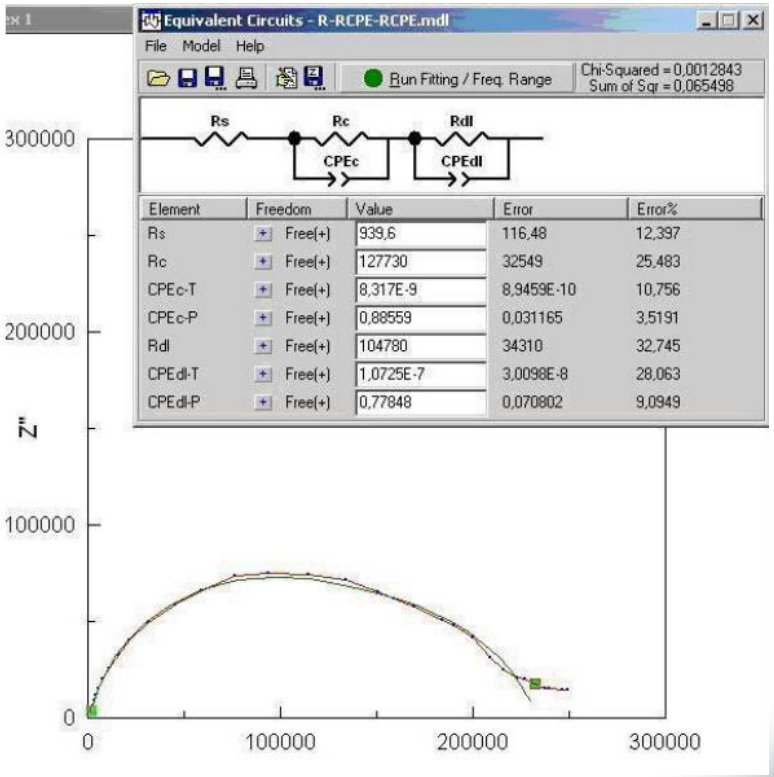
t (сут)	Co	h (см)	D x10(10) (см2/с)	Const2	APPR2
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
20	1,000	0,050	3,5000	1,0	1,0165626
25	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,9092412
30	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,8300199
35	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,7684491
40	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,7188183
45	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,6777084
50	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,6429306
55	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,6130103
60	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,5869127
65	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,5638875
70	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,5433756
75	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,5249507
80	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,5082813
85	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,4931053
90	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,4792122
95	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,4664309
100	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,4546206
500	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,2033125

Адгезионная прочность

EIS спектроскопия как один из основных инструментов исследования покрытий

Электрохимическая импедансная спектроскопия (EIS) широко применяется для исследования антикоррозионных покрытий за счет ее способности оценивать целостность, проницаемость и адгезию покрытий к металлическим основаниям. Используя EIS, можно выявлять наличие микропор, трещин или других дефектов в покрытии, которые могут способствовать коррозии под покрытием. Этот метод позволяет изучать долговременную защитную эффективность антикоррозионных покрытий, предоставляя ценную информацию для разработки новых материалов и технологий защиты от коррозии.



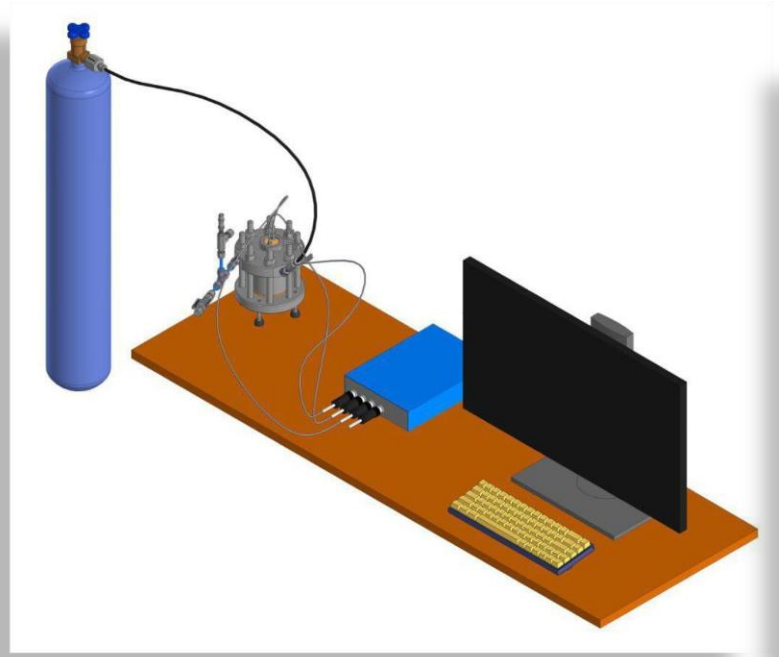


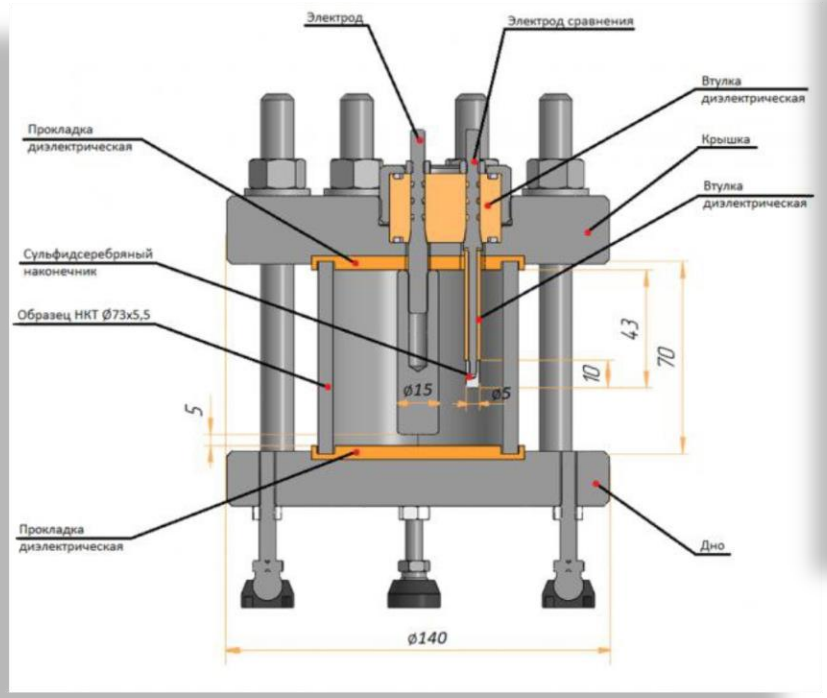
EIS спектроскопия как один из основных инструментов исследования покрытий

Процесс разрушения

Расшифровка диаграмм, полученных методом EIS, позволит получить следующие данные о состоянии покрытия:

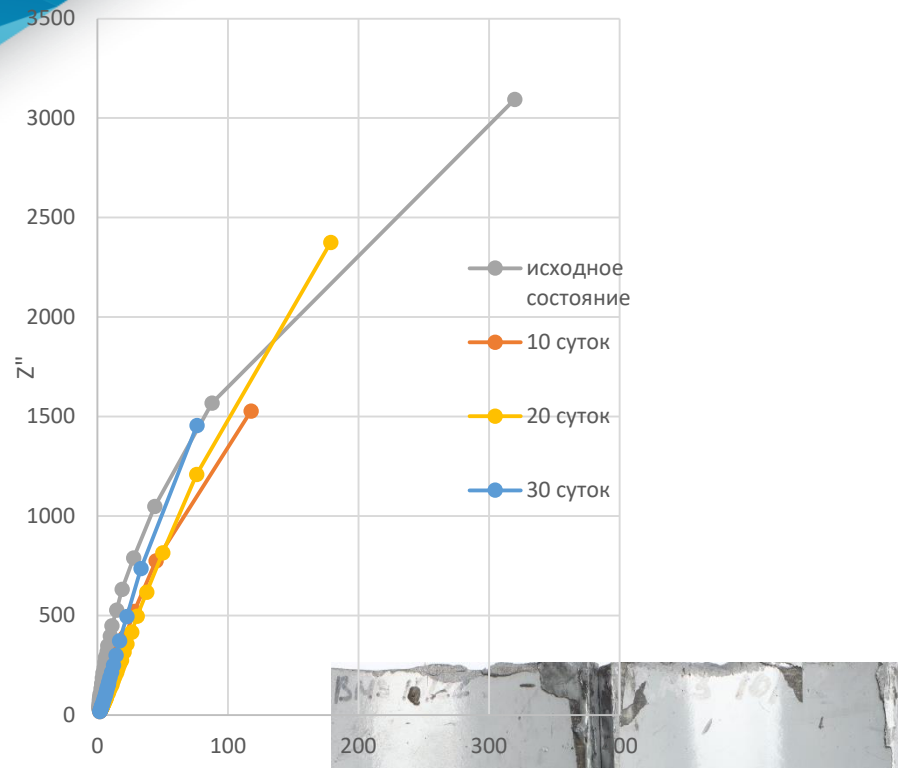
- Покрытие без видимых повреждений и нарушений барьерных свойств
- В покрытии происходит процесс водопоглащения
- Покрытие полностью пропитано водой
- Нарушение барьерных свойств покрытия
- Начало процесса коррозии на металле под покрытием
- Развитие коррозионного процесса под покрытием
- Разрушение защитного покрытия





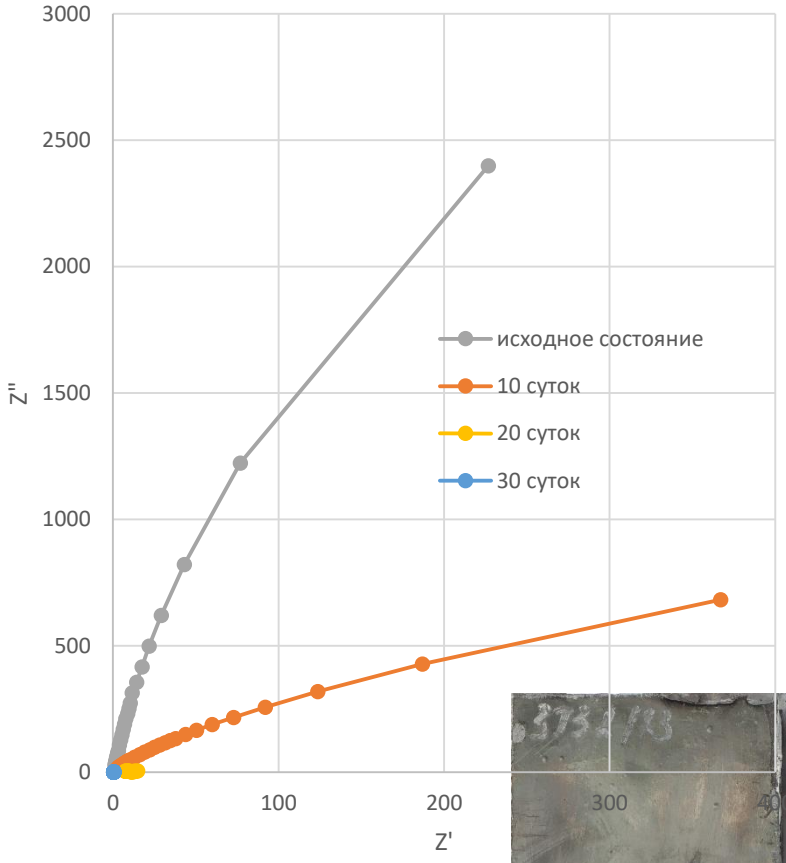


EIS спектроскопия как один из основных инструментов исследования покрытий



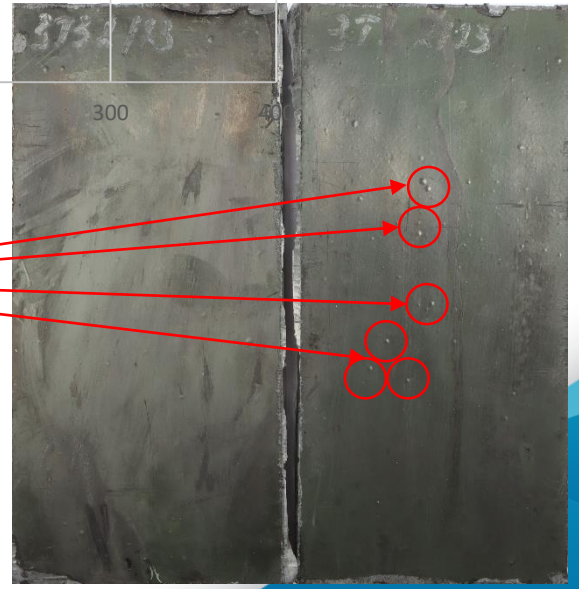


После выдержки в автоклаве в течение 10 суток
30 МПа отрыв по клею



Многочисленные вздутия

После выдержки в автоклаве в течение 10 суток
18 МПа когезионное разрушение



НПЦ САМАРА

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
«САМАРА»

Готовы к решению новых задач!

Тел. +7 (846) 932-03-23
Сайт: www.npcsamara.ru
E-mail: office@npcsamara.ru



РОСНЕФТЬ

Разработка технологии односторонней сварки плакированных (биметаллических) труб с применением разнородных сварочных материалов

А.О. Худяков, Д.А. Абдульманов
ООО «РН-БашНИПИнефть»

VIII Научно-техническая конференция «КОРРОЗИЯ И УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ В НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»,
г. Самара, 2024

АКТУАЛЬНОСТЬ И НОВИЗНА РАБОТЫ

Актуальность

- Высокая коррозионная агрессивность перекачиваемых сред в нефте-газодобывающей отрасли диктует условия для поиска наиболее эффективных способов защиты трубопроводов от коррозии;
- Одним из перспективных способов защиты промысловых и технологических трубопроводов от коррозии является применение биметаллических труб;
- Применение биметаллов позволяет обеспечить комплекс механических и коррозионных свойств труб, которые трудно сочетаемы в отдельном монометалле;
- В настоящее время для сварки плакированных (биметаллических) труб используют дорогостоящие нержавеющие материалы. Качественная технология сварки комбинированными материалами (нержавеющие + низколегированные) отсутствует.

Новизна

- Впервые разработана технология ручной дуговой сварки биметаллических труб с применением разнородных сварочных материалов, снижающая затраты на сварочные материалы в 3-7 раз в зависимости от толщины свариваемых труб и обеспечивающая высокое качество сварных швов.

ЦЕЛЬ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ РАБОТЫ

Цель

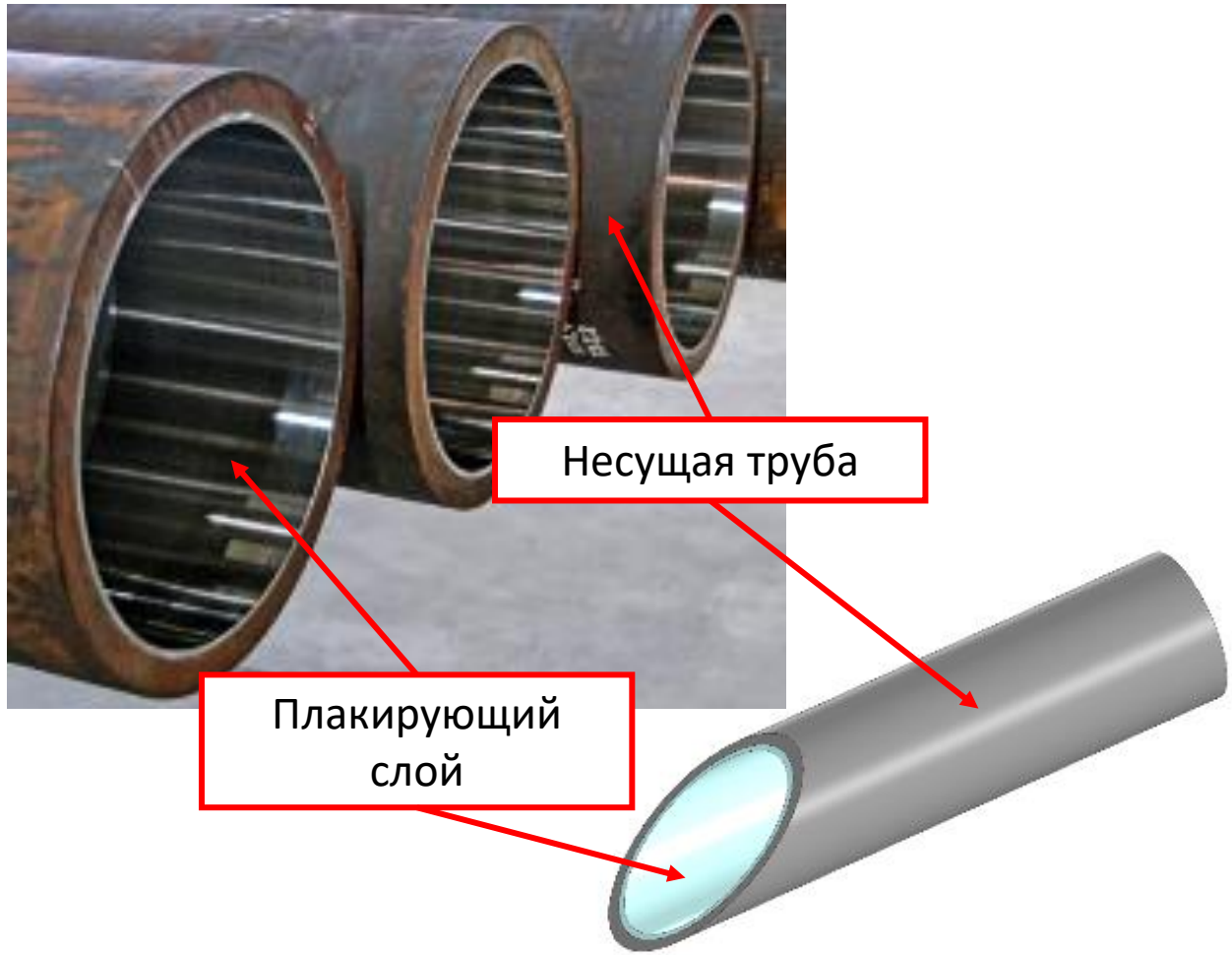
Разработка технологии односторонней ручной дуговой сварки биметаллических труб с помощью разнородных сварочных материалов.

Задачи

1. Изучить и проанализировать сварные соединения биметаллических труб, выполненные комбинированными и «нержавеющими» сварочными материалами;
2. Изучить формирование структуры и свойств переходного слоя при сварке разнородными материалами;
3. Произвести поиск технологических решений, позволяющих снизить твердость переходного слоя при односторонней сварке биметаллических конструкций.

БИМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ТРУБЫ

Конструкция биметаллических труб

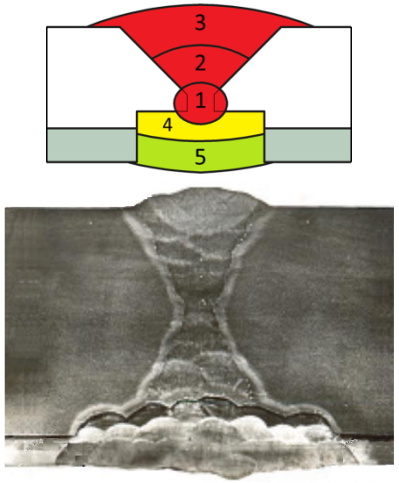


Качественная защита от коррозии может быть обеспечена за счет применения труб из двуслойных сталей.

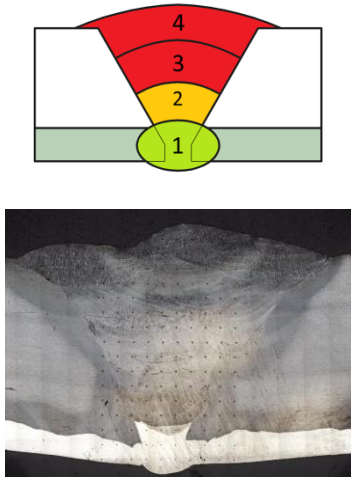
Двуслойные стали широко используются в химической, нефтегазодобывающей, атомной промышленности и других отраслях, где необходимо применение коррозионностойких к различным химическим средам материалов. Двухслойные стали состоят из основного слоя углеродистой или низколегированной стали для обеспечения необходимой механической прочности и материала более тонкого относительно общей толщины защитного высоколегированного коррозионностойкого плакирующего слоя. Таким способом достигается с одной стороны химическая стойкость материала, а с другой необходимая прочность за счет общей толщины.

ПРОБЛЕМАТИКА ОДНОСТОРОННЕЙ СВАРКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

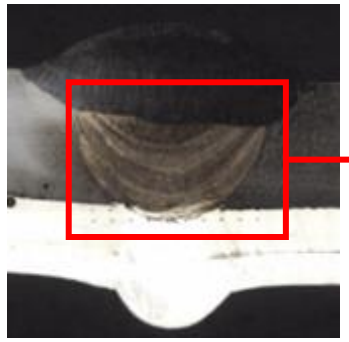
Сварка с двусторонним доступом



Сварка с односторонним доступом



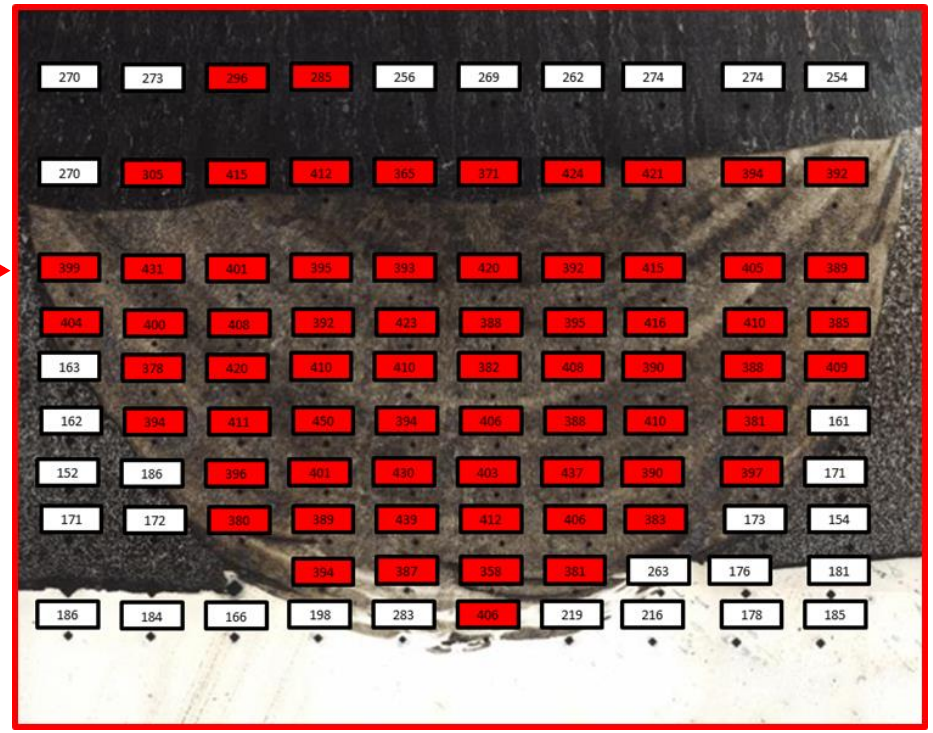
Пример сварного шва биметаллических труб



Требование ГОСТ 55990

HV≤280

Измерения твёрдости, HV1



1. При сварке труб диаметром менее 820 мм отсутствует доступ к сварному соединению изнутри, поэтому сварка выполняется односторонним доступом с наружной стороны;
2. При односторонней сварке биметаллических конструкций (труб) выполнение переходного слоя сопровождается расплавлением высоколегированного нержавеющего слоя и переходом легирующих элементов в металл сварочного валика. Это приводит к получению слоя шва с чрезвычайно высокими значениями твердости и низкими вязкопластическими характеристиками;
3. Для того, чтобы избежать повышения твердости в переходном слое, сварку биметаллических труб с односторонним доступом выполняют нержавеющими сварочными материалами.

СВАРКА НЕРЖАВЕЮЩИМИ СВАРОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Режимы сварки

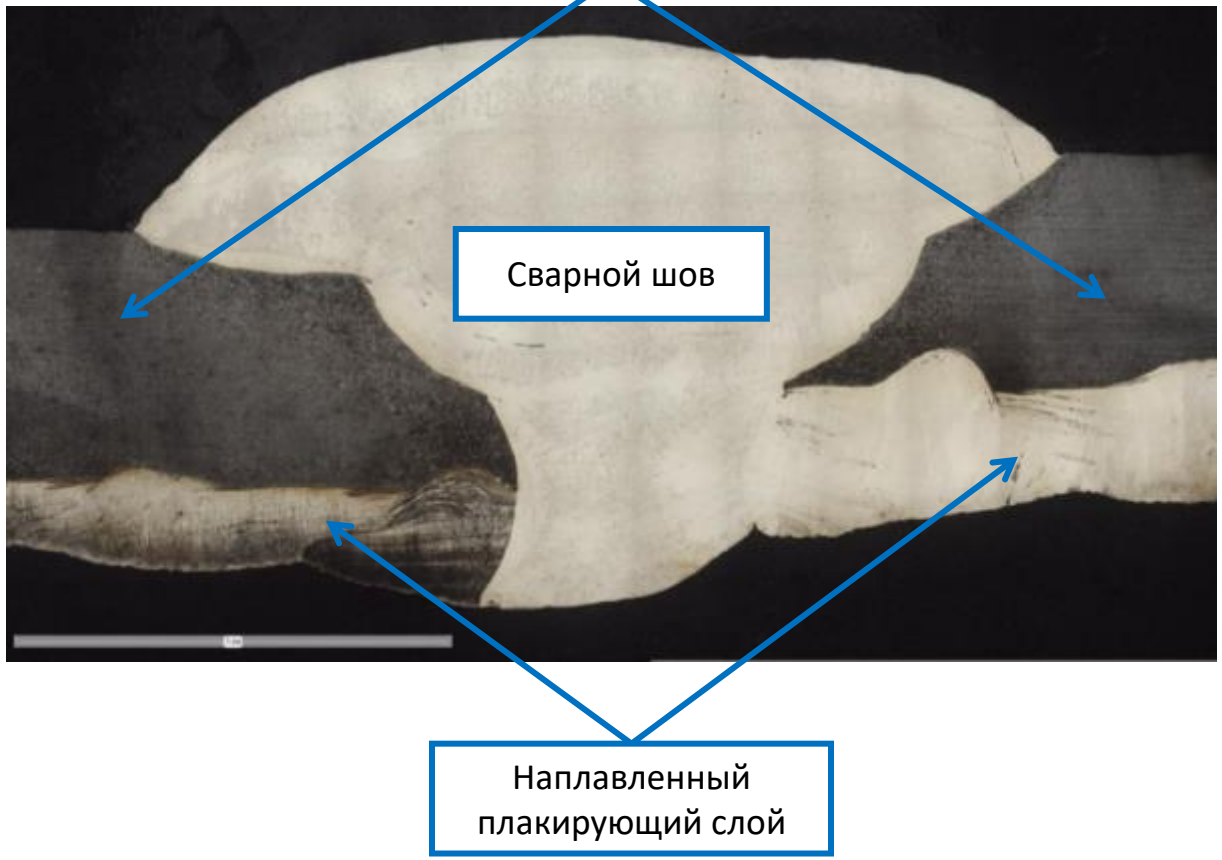
Труба Ø159х6 мм,
класс прочности К48

Корень шва:
Электроды марки **Esab OK 67.75**;
Dэ=**2,6 мм**;
Iсв= **50-55 А**.

Заполнение:
Электроды марки **Esab OK 67.75**;
Dэ= **3,2 мм**;
Iсв= **90-100 А**.

Облицовка:
Электроды марки **Esab OK 67.75**;
Dэ=**3,2 мм**;
Iсв=**100-110 А**.

Сварное соединение

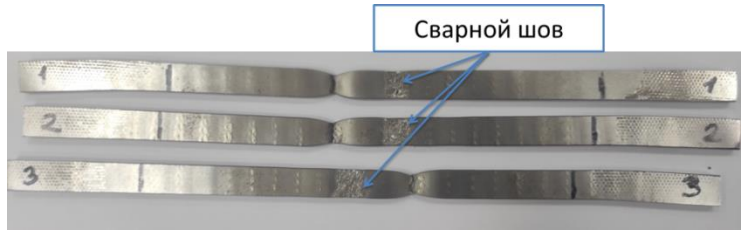


СВАРКА НЕРЖАВЕЮЩИМИ СВАРОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Механические испытания сварных соединений

Испытания на растяжение

№ Образца	Временное сопротивление, $\sigma_в$, МПа	Предел текучести, $\sigma_т$, МПа	Область разрушения
1	568	463	Основной металл
2	576	480	Основной металл
3	563	471	Основной металл
Среднее	**569**	**471**	

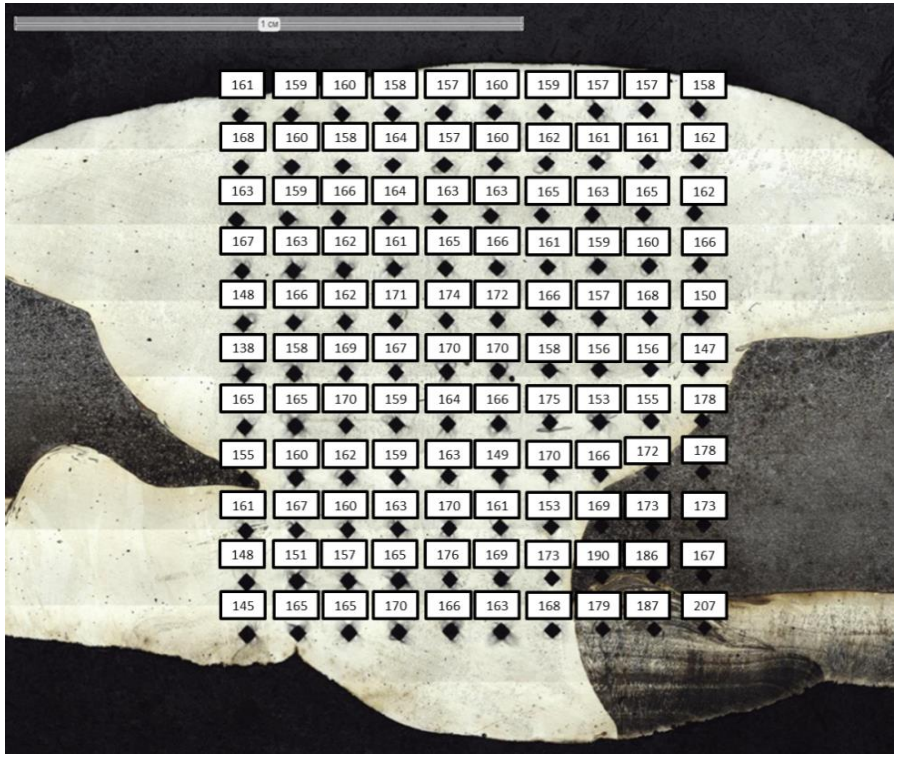


Испытания на статический изгиб

Примечание	Угол изгиба	Результат испытаний
Корень шва наружу	120°	Отсутствие трещин
Усиление шва наружу	120°	Отсутствие трещин
Боковой изгиб	120°	Наличие трещин



Измерение твердости по Виккерсу



Испытания на ударный изгиб

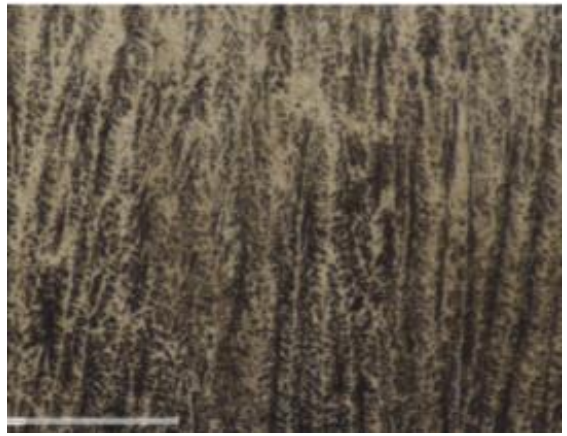
Расположение надреза	№ образца	Температура испытаний	Ударная вязкость KCV, Дж/см^2	
			по образцу	среднее
Центр шва	1	-20С	170	147
	2		121	
	3		149	
Линия сплавления	1	-20С	84	76
	2		60	
	3		84	

1. Сварное соединение равнопрочно основному металлу;
2. Трещина при испытании на боковой изгиб;
3. Ударная вязкость высокая, соответствует требованиям;
4. Снижение ударной вязкости по линии сплавления в 2 раза;
5. Твердость 138-190 HV, соответствует требованиям.

СВАРКА НЕРЖАВЕЮЩИМИ СВАРОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Металлографические исследования сварных соединений

Структура металла шва

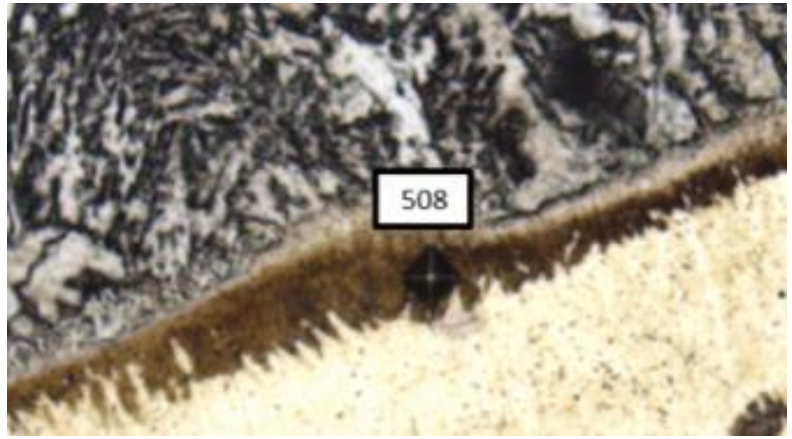


Структура металла в ЗТВ



Структура металла на линии сплавления



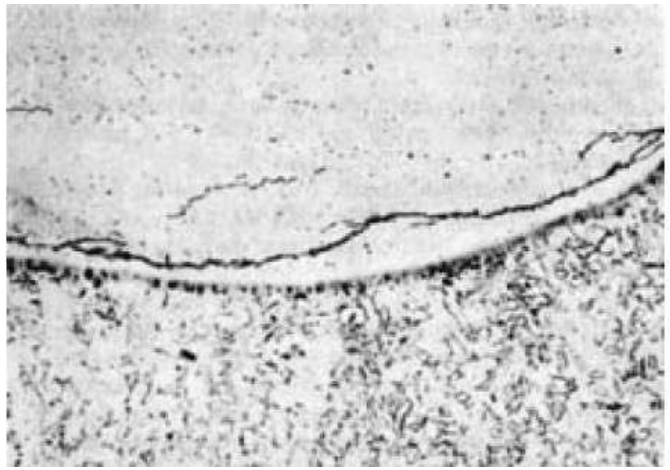


1. Сварной шов имеет структуру аустенита;
2. В зоне термического влияния формируется типичная для низколегированной стали феррит-перлитная структура;
3. На линии сплавления в металле сварного шва вследствие диффузии углерода образуется твердая и хрупкая прослойка карбидо-мартенситной гряды;
4. Твердость карбидо-мартенситной гряды достигает более 500 HV;
5. Формирование карбидо-мартенситной гряды обуславливает сильное снижение ударной вязкости на линии сплавления;
6. Сварное соединение обладает ярко выраженной неоднородностью.

РАЗРУШЕНИЕ РАЗНОРОДНЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

1. Область с повышенным содержанием карбидов в металле сварного шва обладает повышенной твердостью и хрупкостью и может приводить к зарождению трещин под действием остаточных сварочных напряжений;
2. Формирование карбидно-мартенситной гряды на линии сплавления может приводит к хрупкому разрушению сварного соединения.

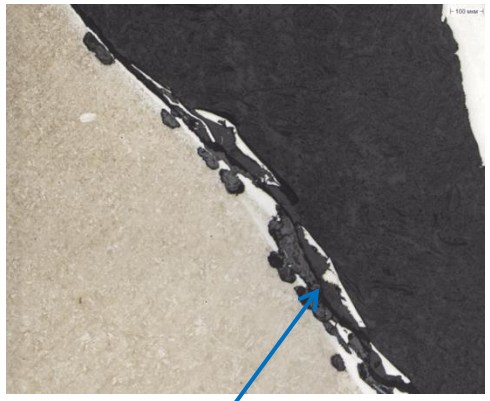
Зарождение и развитие трещин в сварном шве под действием остаточных сварочных напряжений

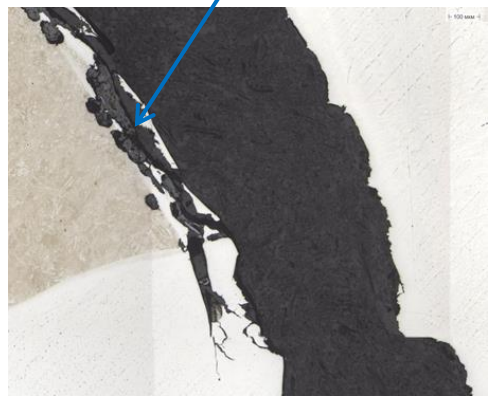


Хрупкое разрушение разнородного сварного соединения



Микрошлифы





ПОДЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выполнение всего сварного шва с применением высоколегированных («нержавеющих») сварочных материалов не гарантирует стойкости к хрупкому разрушению сварного соединения биметаллических труб и несет собой повышенные затраты на сварочные материалы. Поэтому актуальность поиска технологических решений для возможности применения комбинированных сварочных материалов не вызывает сомнений

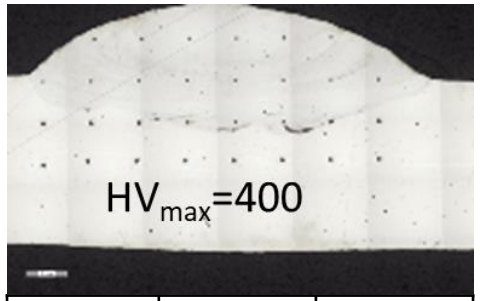
Подзадачи



1. Проанализировать влияние сварочных материалов и параметров режима сварки на твердость переходного слоя;
2. Произвести поиск технологических решений для снижения проплавляющей способности дуги;
3. Выполнить анализ влияния доли переплавленного «нержавеющего» металла на твердость переходного слоя;

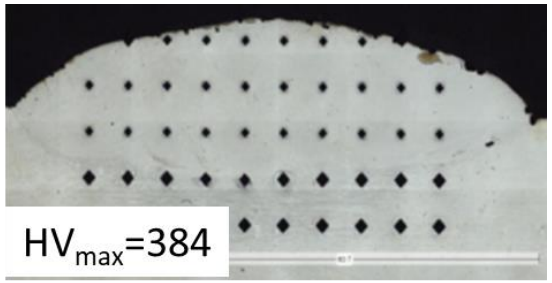
ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО НАПЛАВКЕ ВАЛИКОВ НА ПЛАСТИНУ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12Х18Н10Т

УОНИ 13/55 Dэ=2,5 мм
$I_{св}$=60 А



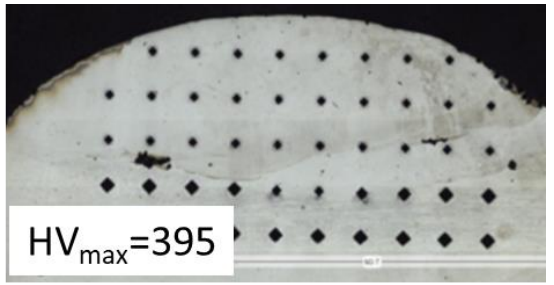
Mn	Cr	Ni
1,24	7,04	4,14

УОНИ 13/55 Dэ=2,5 мм
$I_{св}$=120 А



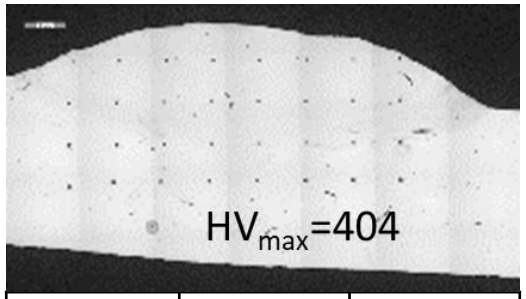
Mn	Cr	Ni
1,36	8,17	4,36

УОНИ 13/55 Dэ=2,5 мм
$I_{св}$=150 А



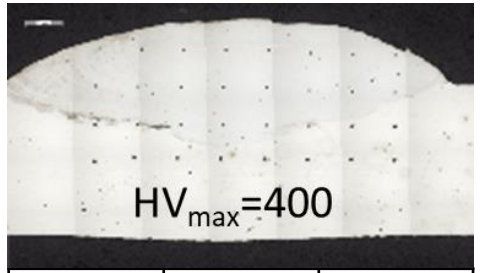
Mn	Cr	Ni
1,41	8,48	4,71

УОНИ 13/55 Dэ=2 мм
$I_{св}$=80 А



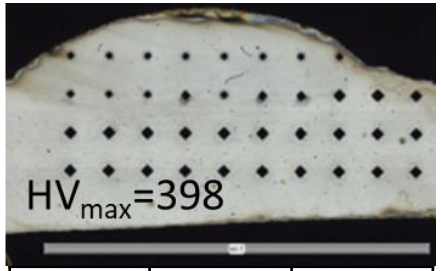
Mn	Cr	Ni
1,5	8,87	4,57

УОНИ 13/45 Dэ=2 мм
$I_{св}$=60 А



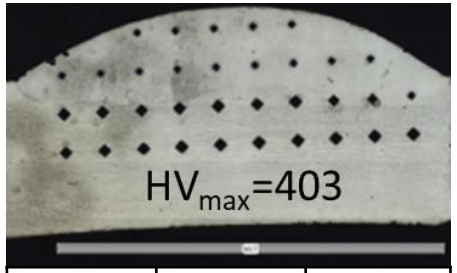
Mn	Cr	Ni
1,08	9,11	4,65

УОНИ 13/45 Dэ=2 мм
$I_{св}$=80 А



Mn	Cr	Ni
1,12	9,17	4,53

УОНИ 13/45 Dэ=2 мм
$I_{св}$=120 А

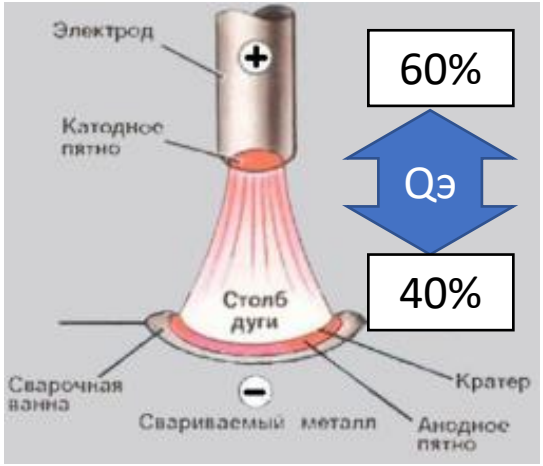


Mn	Cr	Ni
1,15	8,93	4,72

1. Изменение силы сварочного тока и диаметра электрода не приводят к снижению твердости наплавленного валика;
2. Применение электродов меньшей прочности также не привело к снижению твердости наплавленного валика.

ПРИЧИНА ВЫСОКОЙ ТВЕРДОСТИ МЕТАЛЛА ПЕРЕХОДНОГО ВАЛИКА

Распределение эффективной энергии дуги



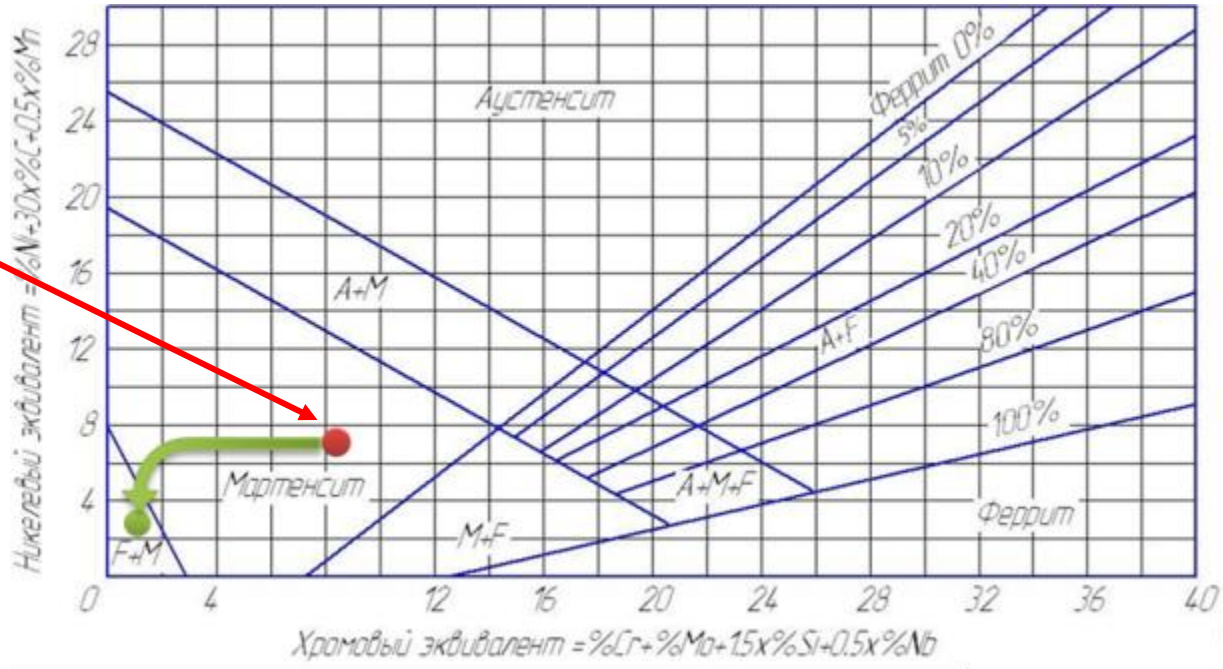
Сварной шов биметаллических труб



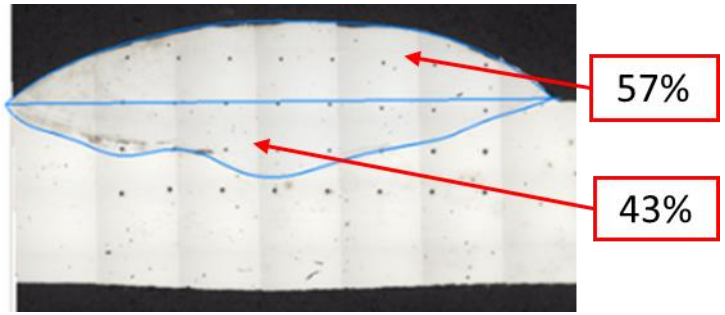
Химический состав переходного слоя

C	Mn	Si	Ni	Cr
0,094	1,03	0,38	3,52	7,48

Диаграмма Шеффлера



Наплавленный валик УОНИ 13/55 Dэ=2,5 мм Iсв=80А

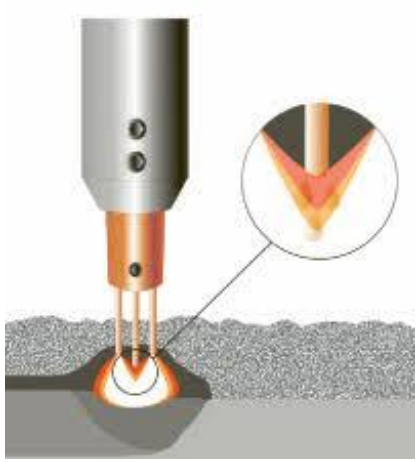


1. Из-за высокого содержания хрома и никеля согласно диаграмме Шеффлера в металле переходного слоя формируется структура мартенсита, что приводит к крайне высокой твердости;
2. Для снижения твердости в переходном слое необходимо снижать содержание хрома и никеля, т.е. долю расплавленного «нержавеющего материала».

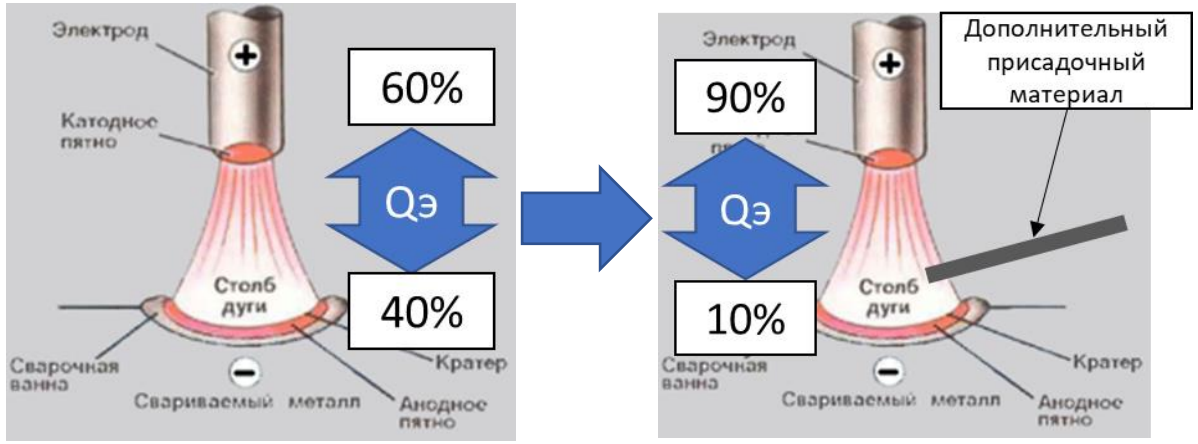
РЕШЕНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ ПРИ СВАРКЕ КОМБИНИРОВАННЫМИ СВАРОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

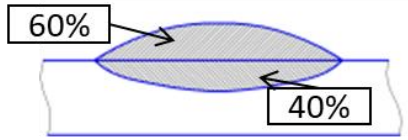
1. Для снижения твердости валика переходного слоя необходимо перераспределить энергию сварочной дуги и снизить ее проплавляющую способность;
2. Для снижения проплавляющей способности в зону сварочной дуги необходимо вводить дополнительный присадочный материал;
3. Прототипом для идеи послужила сварочная головка для автоматической сварки под флюсом Esab «Ice».

Сварочная головка Esab «Ice»

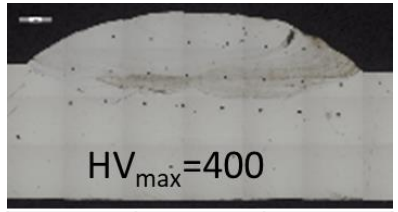


Перераспределение энергии в сварочной дуге

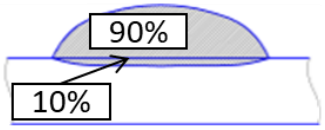




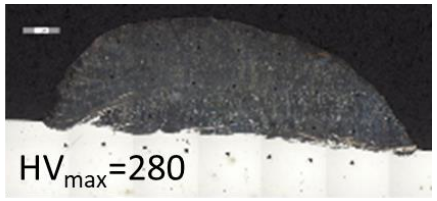
УОНИ 13/45 Dэ=2 мм
$I_{св}$=60 А



Mn	Cr	Ni
0,76	6,56	3,73



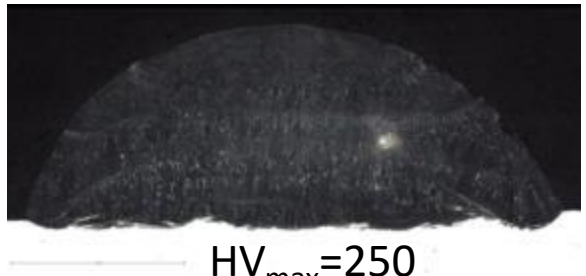
УОНИ 13/45 Dэ=2 мм +СВ-08Г2С
$I_{св}$=60 А



Mn	Cr	Ni
1,10	1,98	1,21

ЗАВИСИМОСТЬ ТВЕРДОСТИ ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ ОТ ДОЛИ РАСПЛАВЛЕННОГО «НЕРЖАВЕЮЩЕГО» МЕТАЛЛА

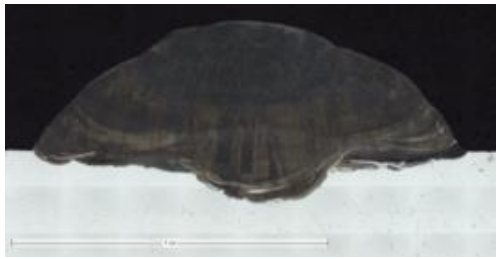
Макрошлифы наплавленных экспериментальных валиков



HV_{max}=250
Доля НЖ=8,8%



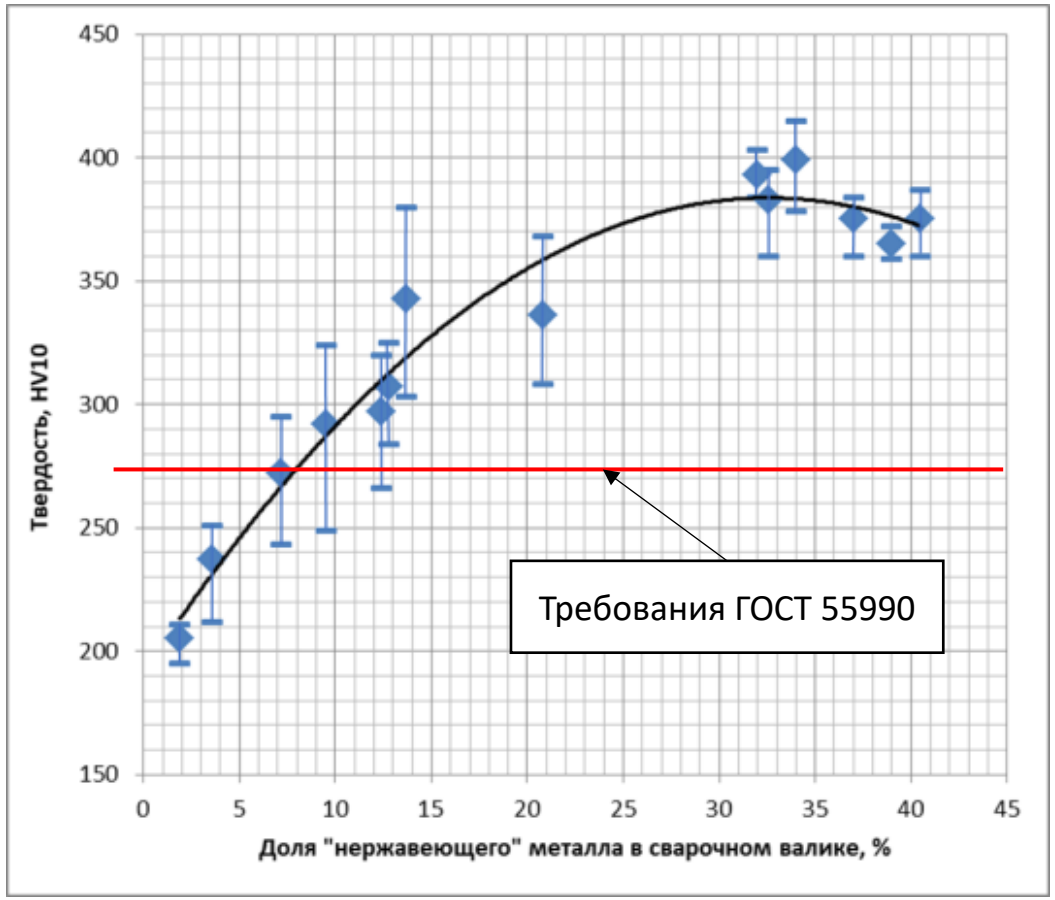
HV_{max}=325
Доля НЖ=12,4%



HV_{max}=368
Доля НЖ=20,8%

Для снижения твердости валика переходного слоя до нормируемых значений необходимо чтобы доля расплавленного металла составляла менее 10%.

Зависимость твердости переходного слоя от доли расплавленного «нержавеющего» металла



АПРОБАЦИЯ НАЙДЕННОГО РЕШЕНИЯ. ЭЛЕКТРОДЫ УОНИ 13/55

Режимы сварки

Труба 530х12 мм,
класс прочности К52

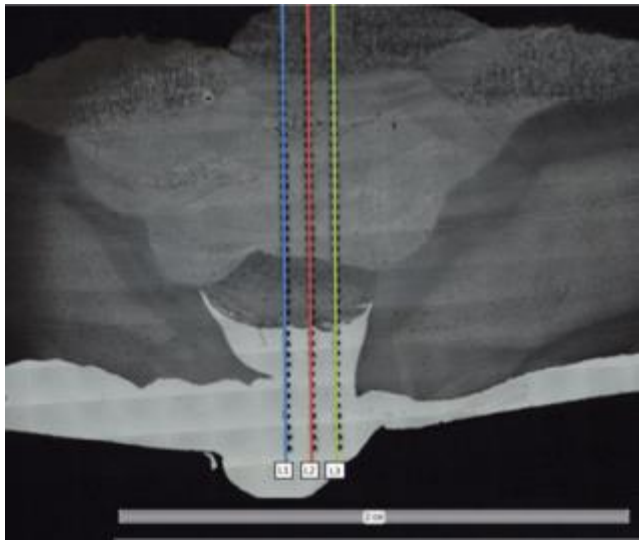
Корень шва:
Электроды марки **ЦЛ-11**;
Dэ=**2,5 мм**;
Iсв= **50-55 А**.

Переходный слой:
Электроды марки **УОНИ 13/55***;
Dэ= **2,5 мм**;
Iсв=**80-90 А**.

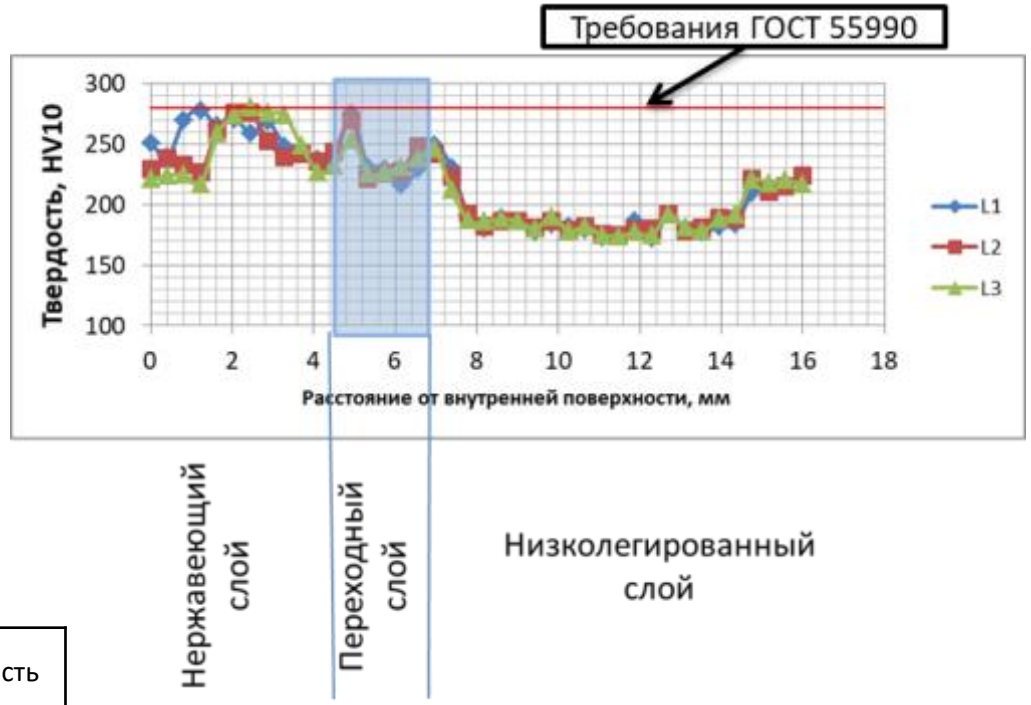
Заполнение и облицовка:
Электроды марки **АНО-11**;
Dэ=**3 мм**;
Iсв=**110-130 А**.

**с дополнительной присадкой*

Макрошлиф сварного соединения



Распределение твердости по сечению шва



Испытания на растяжение

№ Образца	Временное сопротивление, $\sigma_в$, МПа	Предел текучести, $\sigma_т$, МПа	Область разрушения
1	577	480	ОМ
2	586	470	ОМ
Среднее	**582**	**475**	



Испытания на ударный изгиб

Расположение надреза	t° исп, °С	Ударная вязкость KCV, Дж/см²	
		по образцу	среднее
Центр шва	-20°С	68	67
		62	
		67	
Линия сплавления	-20°С	83	84
		79	
		87	

Испытание на статический изгиб корнем наружу



АПРОБАЦИЯ НАЙДЕННОГО РЕШЕНИЯ. ЭЛЕКТРОДЫ LB-52U

Режимы сварки

Труба 530х12 мм,
класс прочности К52

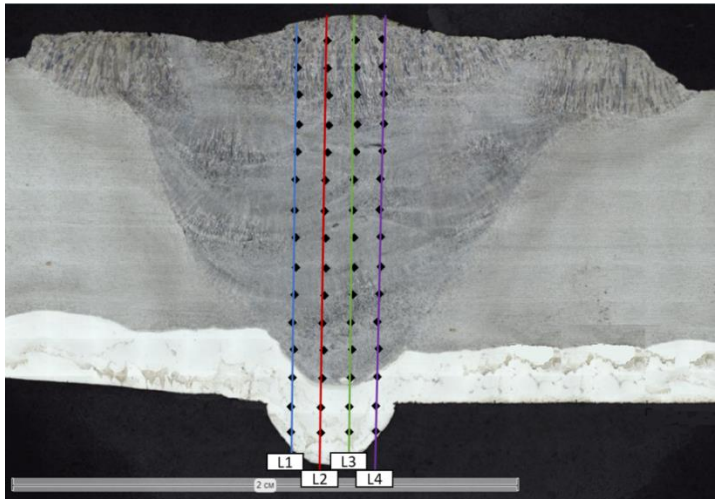
Корень шва:
Электроды марки **ОЗЛ-8**;
Dэ=**2,5 мм**;
Iсв= **50-55 А**.

Переходный слой:
Электроды марки **LB-52U***;
Dэ=**3,2 мм**
Iсв=**120-130 А**

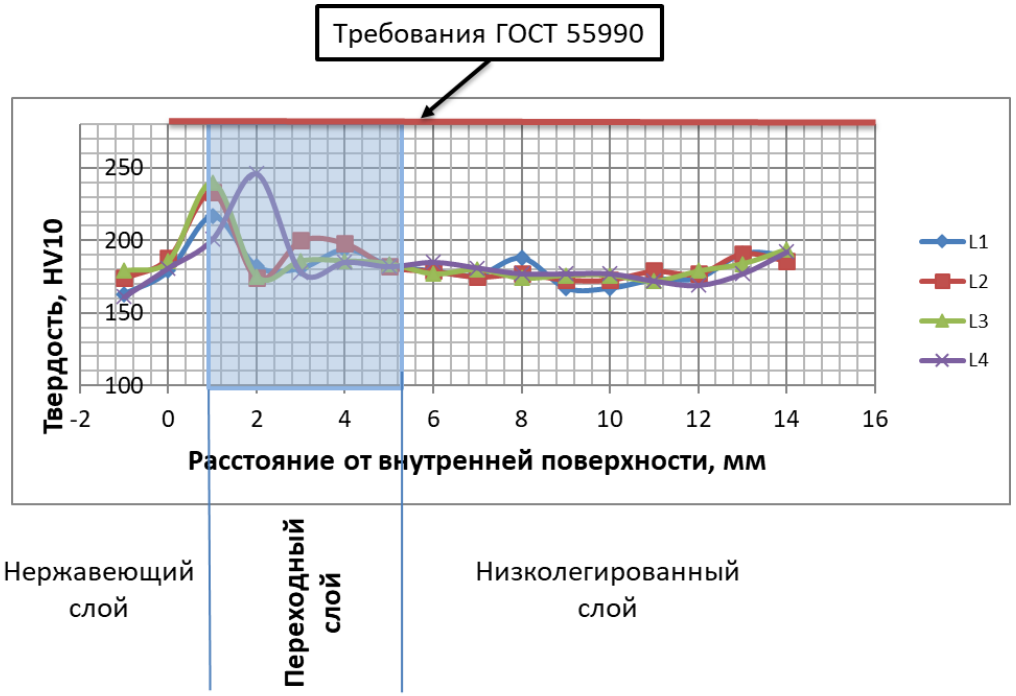
Заполнение и облицовка:
Электроды марки **LB-52U**;
Dэ=**3,2 мм**;
Iсв=**110-130 А**.

**с дополнительной присадкой*

Макрошлиф сварного соединения



Распределение твердости по сечению шва



Испытания на ударный изгиб

Расположение надреза	t° испт, °С	Ударная вязкость KCV, Дж/см²	
		по образцу	среднее
Центр шва	-20°С	123	124
		115	
		134	
Линия сплавления	-20°С	112	112
		108	
		117	

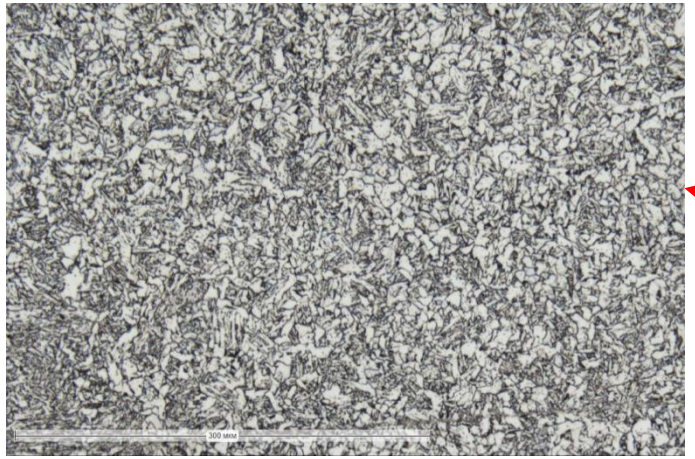
Испытания на растяжение

№ Образца	Временное сопротивление, $\sigma_в$, МПа	Предел текучести, $\sigma_т$, МПа	Область разрушения
1	555	469	ОМ
2	563	471	ОМ
Среднее	**559**	**470**	

1. Сварное соединение равнопрочно основному металлу;
2. Ударная вязкость высокая, соответствует требованиям;
3. Твердость переходного слоя не превышает 280 HV, соответствует требованиям.

МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

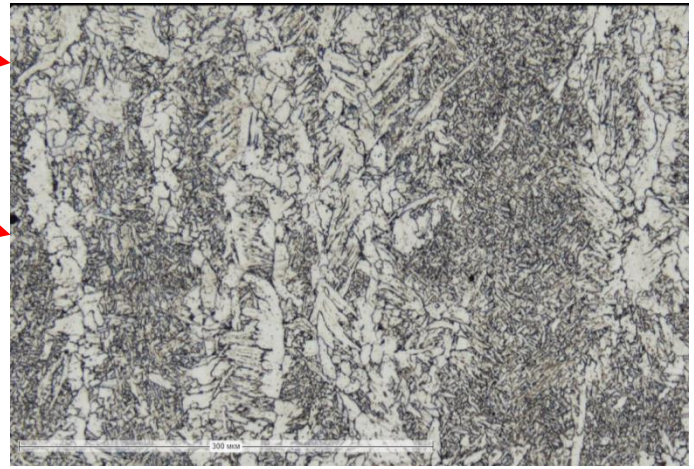
Феррит-бейнитная структура переходного слоя



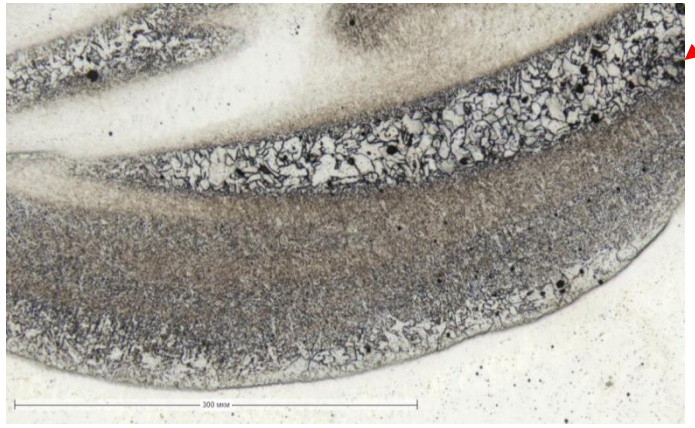
Макрошлиф



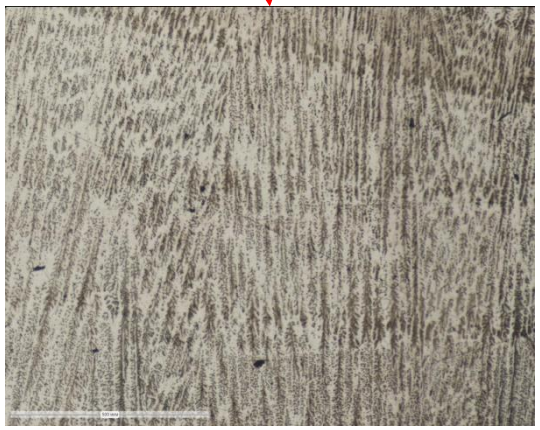
Дендритная структура заполняющих и облицовочных валиков



Линия сплавления переходного и корневого валиков



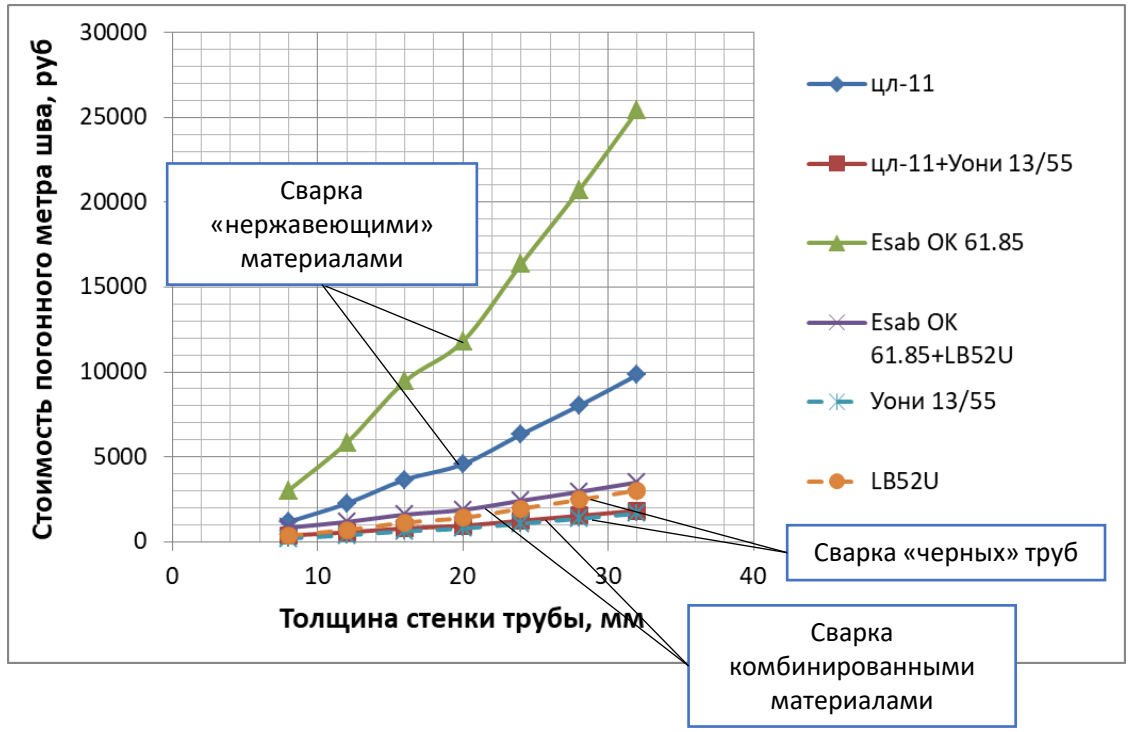
Аустенитная структура корневого валика



1. В корне шва формируется аустенитная структура с дендритным строением;
2. На линии сплавления между корневым и переходным валиками образуется отпущенный мартенсит, наблюдаются участки неполного перемешивания;
3. В переходном слое формируется феррит-бейнитная структура;
4. Дендритная структура в заполняющих и облицовочных валиках.

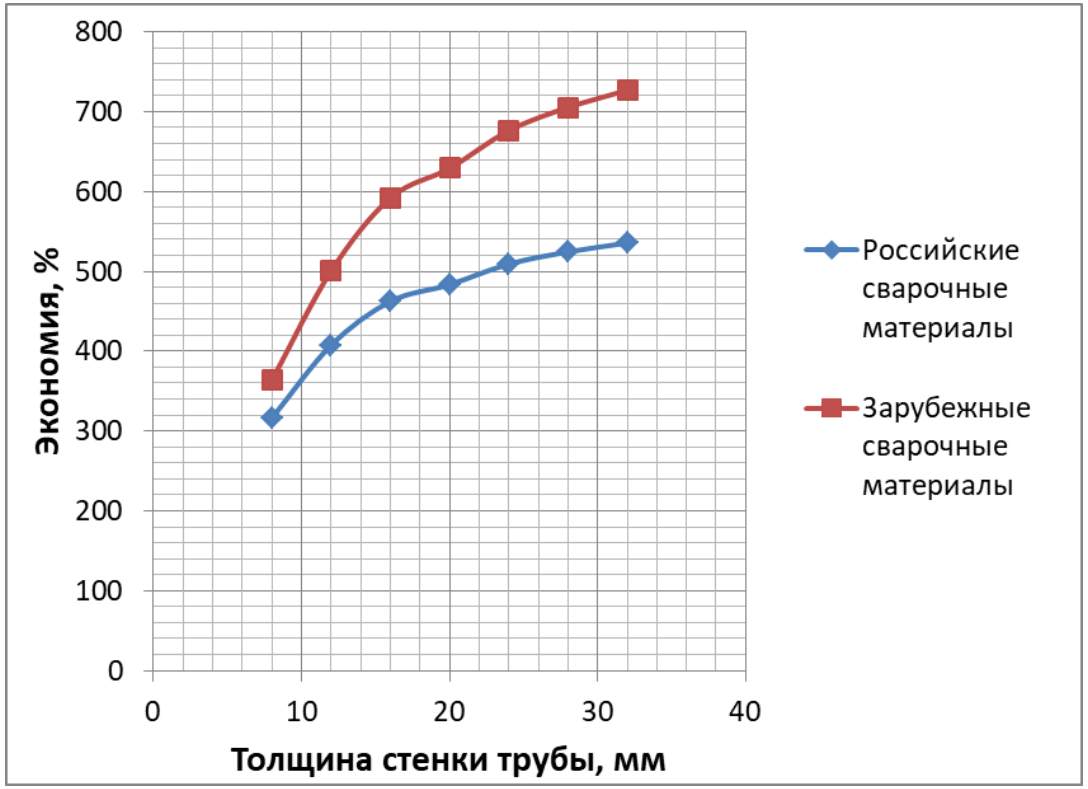
РАСЧЕТ СТОИМОСТИ СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Зависимость стоимости сварочных материалов от толщины стенки на 1 погонный метр шва



1. С увеличение толщины стенки свариваемых труб разница стоимости сварочных материалов существенно увеличивается;
2. Экономия денежных средств за счет применения комбинированных сварочных материалов составляет 300-500% для электродов российского производства, 350-700% - для электродов зарубежного производства

Экономия средств за счет применения комбинированных сварочных материалов



ЗАКЛЮЧЕНИЕ



- **Найден способ снижения твердости переходного слоя при односторонней сварке плакированных (биметаллических) конструкций с применением комбинированных сварочных материалов («нержавеющие»+низколегированные);**
- **Выполненные по экспериментальной технологии сварные соединения обладают удовлетворительной твердостью в переходном слое и высокими механическими характеристиками;**
- **Применение разрабатываемой технологии сварки биметаллических труб позволит снизить затраты на сварочные материалы в 3-7 раз в зависимости от толщины свариваемых труб.**



Предложения:

- Технология находится на начальном этапе разработки. Требуются дальнейшие исследования различных комбинаций металлов плакированных труб и комбинаций сварочных материалов.


РОСНЕФТЬ
СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



РОСНЕФТЬ

ООО «РН-БашНИПИнефть»

По всем возникающим вопросам просьба обращаться к
Худякову Артему Олеговичу

по адресу электронной почты: **Khudyakovao@bnipi.rosneft.ru**

ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОЛИТЕХ
Научно технологический комплекс новые технологии и материалы

УРАЛЬСКАЯ СТАЛЬ

ПРИМЕНЕНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ В КАЧЕСТВЕ ЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ УВЛАЖНЕННОГО ГАЗА



Давыдов Артем Дмитриевич
Инженер-исследователь НТК «Новые технологии и материалы»

04.09.2024. VIII Научно-техническая конференция «Коррозия в нефтяной и газовой промышленности»

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Параметры внешней эксплуатации

- Температура, градиент температур, давление
- Скорость течения
- pH внешней среды
- Сейсмические условия
- Стабильность грунтов



Параметры транспортируемой среды

- Температура
- Давление
- Физ. хим. состав (% H_20, % CO_2, % H_2S)
- КВЧ, ТВЧ (размер, форма, абразивность)
- pH-среды
- Минерализация
- Режим течения
- Скорость потока
- КНнС

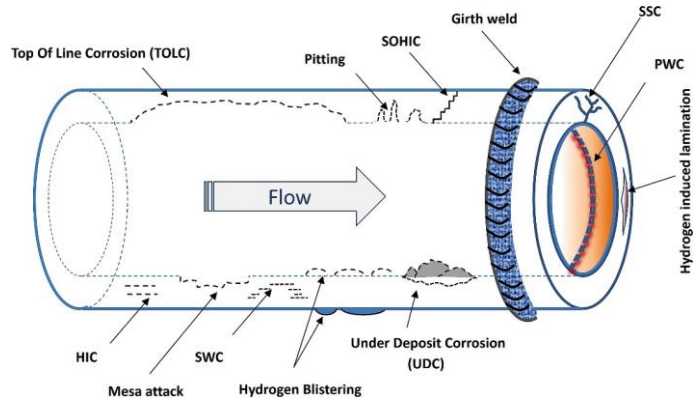
Параметры трубы

1. *Материал*
- Химический состав
- Механические свойства
- Микроструктура
- Неметаллические включения
- Факторы разнозернистости
- Полосчатость
- Остаточная текстурированность

2. Труба
- Геометрия (толщина, форма)
- Неоднородность ХС (по партиям труб)
- Качество поверхности
- Способ сварки
- Трещиностойкость
- Хладостойкость

3. Трубопровод
- Геометрия
- Способ прокладки трубопровода
- Технология сварки
- Период и условия укладки

Различные виды повреждений трубопроводов в агрессивных средах



Основные параметры выбора материала:

1) Себестоимость продукции.
2) Коррозионная стойкость.
3) Механические свойства.

Низколегированные стали – стоимость
Коррозионно-стойкие сплавы – стойкость
Биметаллические трубы – перспективный вариант

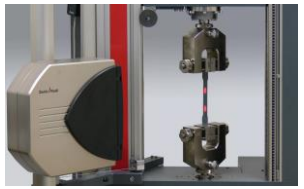
ПЛАН ИССЛЕДОВАНИЙ: Классическая матрица

Анализ структуры и механических свойств

ЭТАП 1

Подбор материалов по изначальным критериям

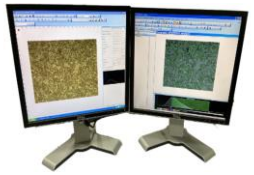
Испытания на растяжение и ударный изгиб



Определение твердости



Металлография



- Оценка микроструктуры
- Структура определяет свойства

Результаты

- Соответствие мех свойствам
- Значение ударной вязкости
- Твердость материала
- Набор структур и величин зерна для каждого образца

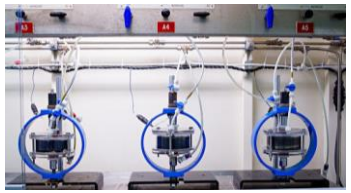
Испытания при нормальных условиях

ЭТАП 2

Сбор исходных данных:

- Фаз. состояние
- Наличие примесей
- PVT
- Мех. примеси
- Гидродинамические хар-ки

В изолированных сосудах в средах



•Общая коррозия поверхности

Испытания на сульфидное коррозионное растрескивание под напряж. (СКРН, SSC)

Испытания на водород-индуцированное растреск. (ВИР, HIC)

Электрохимические испытания



Эл-хим ячейки

Результаты

- Прогноз скорости коррозии
- Оценка устойчивости
- Общая и локальная коррозия
- Оценка мех св-в под воздействием корр. среды

Испытания при повышенных Т и Р

ЭТАП 3

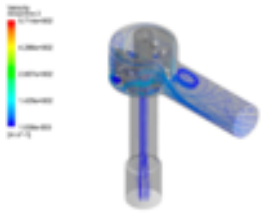
Статические автоклавные испытания



Статический автоклав

- Условия конденсации растворенной воды
- Условия забоя высокой концентрации воды

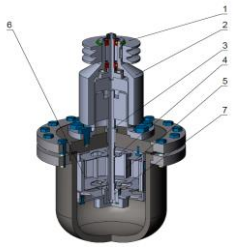
Моделирование гидродинамики



Исходные данные

Постановка эксперимента

Динамический испытания



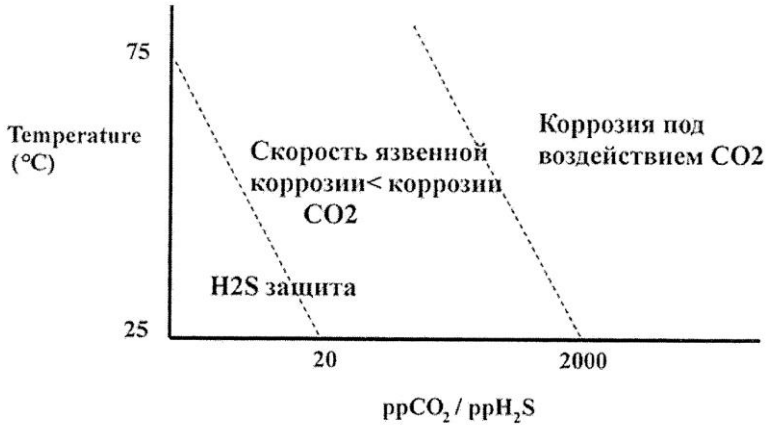
Автоклав с крыльчаткой

- Моделирование условий эксплуатации материала в присутствии потока
- Оценка скорости корр. и анализ поверхности

Результаты

- Влияние потока на протекание процессов деградации

Механизмы коррозионного воздействия, H_2S+CO_2



Влияние доли H_2S/CO_2[1]

По данным NACE, Norsok, Nalco механизм коррозии описывается через образование отложений в зависимости от соотношения H_2S:CO_2; Оценивается стабильность и защитные свойства.

Подход не учитывает:
1) Параметров и свойства материала;
2) Эксплуатационных Факторов (гидродинамики, режима течения и т.д.)

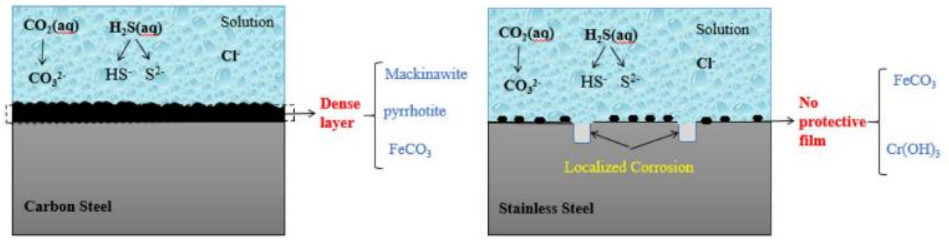


Схема воздействия среды на разные материалы[2]



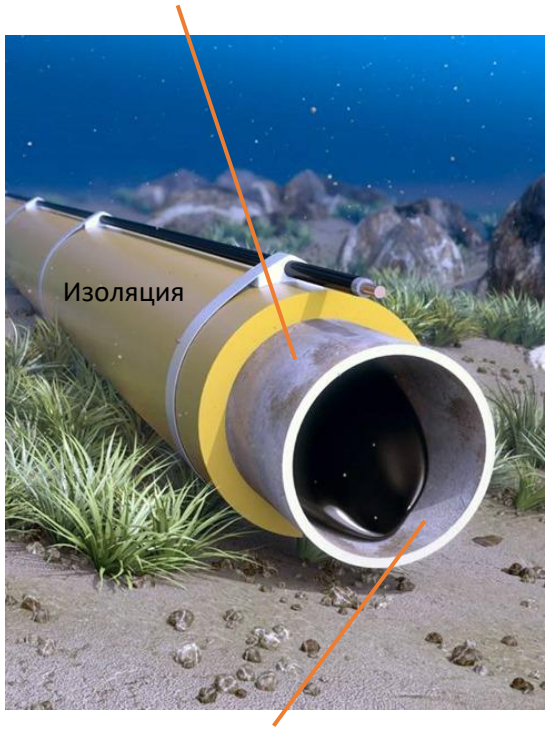
Образцы после воздействия в автоклаве H_2S/CO_2

Вывод:
Для оценки интенсивности коррозионных процессов и выбора материального обеспечения требуется проведения мультифизических испытаний

[1] Г. Шмитт, Г.Лохе, В.Бруксофф. Влияние продуктов коррозии на эффективность ингибиторов в среде сероводородсодержащего газа. Международный форум «Коррозия-87», г. Сан-Франциско, шт. Калифорния, 9-13 марта 1987 г.
[2] Kazemi A, Shariat MH, Hashemi B (2021) Investigation on corrosion behaviors of different zones of dissimilarly welded A312TP316L and A106Gr.B in the brine solution containing H2S and CO2. J Bio Tribo Corros 7:132–141.

Трубопровод: Особенности эксплуатации промысловой подводной трубы

Внешняя часть трубы
1) Пластичность при укладке
2) Стойкость к внешнему давлению
3) Стойкость к окружающей среде



Внутренняя часть трубы
1) Стойкость к внутренней транспортируемой среде
2) Стойкость к внутреннему давлению
3) Шероховатость (гладкость)

Параметр	Материалы			
	Углеродистые стали	Коррозионностойкие стали и сплавы	Полимерные композитные	Биметаллические
Стойкость в среде CO_2				
Стойкость в среде H_2S				
Стойкость в среде $CO_2 + H_2S$				
Стойкость к МКК				
Прочностные хар-ки				

– неприменимо

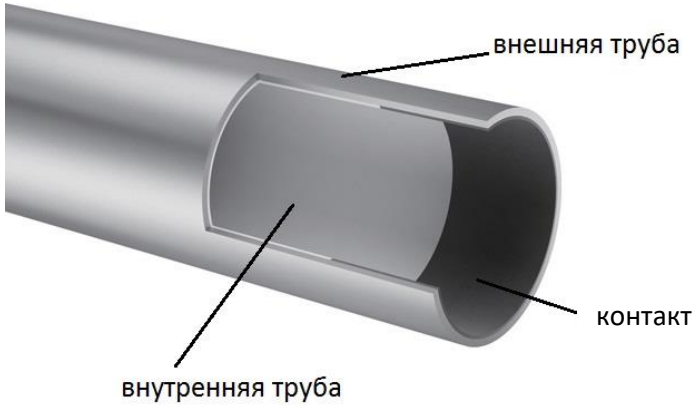
– применимо с ограничениями

– применимо

1) Внутренний лайнер из коррозионностойкого материала обеспечивает надежность от коррозии и прорыва промысловой трубы;
2) Внешняя часть трубы из низколегированной стали обеспечивает механические свойства при укладке и эксплуатации на морском дне.

Материалы: Биметаллы, материалы исследований

1. Внутренняя часть повторяет свойства и требования коррозионностойких материалов
2. Внешняя часть повторяет свойства и требования низколегированных сталей



Материал	Тип заготовки	Материал	Тип заготовки
Incoloy 825	Плакирующий слой	09Г2С	Основной металл
Incoloy 625	Плакирующий слой	08Х18Н10Т	Плакирующий слой
AISI 904L	Плакирующий слой	L450M	Основной металл
AISI 316L	Плакирующий слой	AISI 317L	Плакирующий слой
SMO 254	Плакирующий слой	Incoloy 825	Плакирующий слой

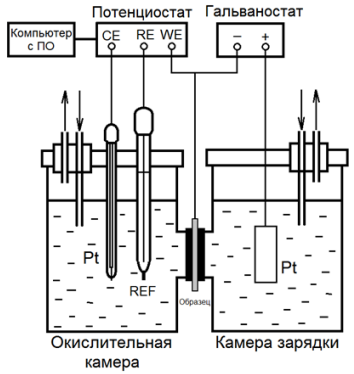
НТД для сравнения – ГОСТ/ISO 3183-2015, ГОСТ 5632-2014 и API 5LD

Особенности биметаллического исполнения трубопровода

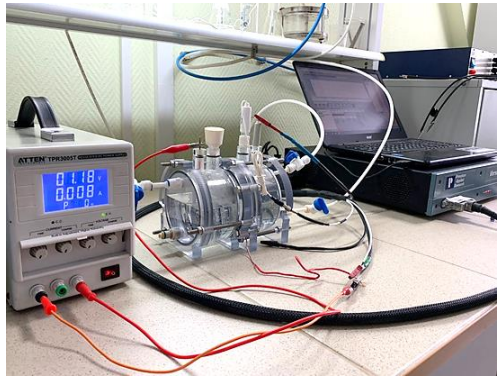
1) Необходимость адресного выбора материала плакирующего слоя;
2) Отсутствие конкретных методов контроля;
3) Высокие требования к производству.

Методика: Исследования и испытания

Двойная электрохимическая ячейка

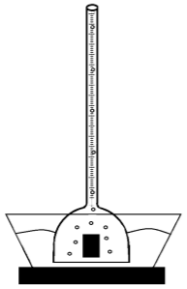


Схема



Общий вид

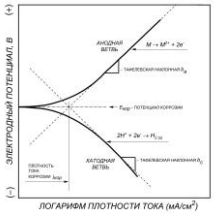
Эвдиометр

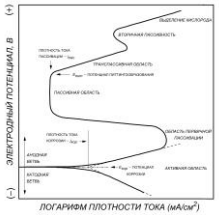


Электрохимические исследования



Потенциостат: VersaStat
Princeton Applied Research





Окислительная камера
- Раствор: 0,1М NaOH
- pH: 12,6

Камера зарядки
- Раствор: 0,5М NaCl, 6 г/л CH4N2S
- pH: 6,5
- Плотности тока зарядки: 5 мА/см^2



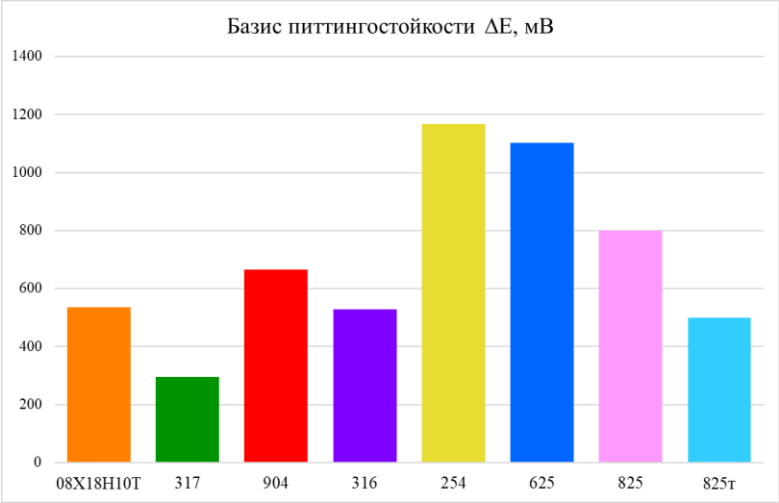


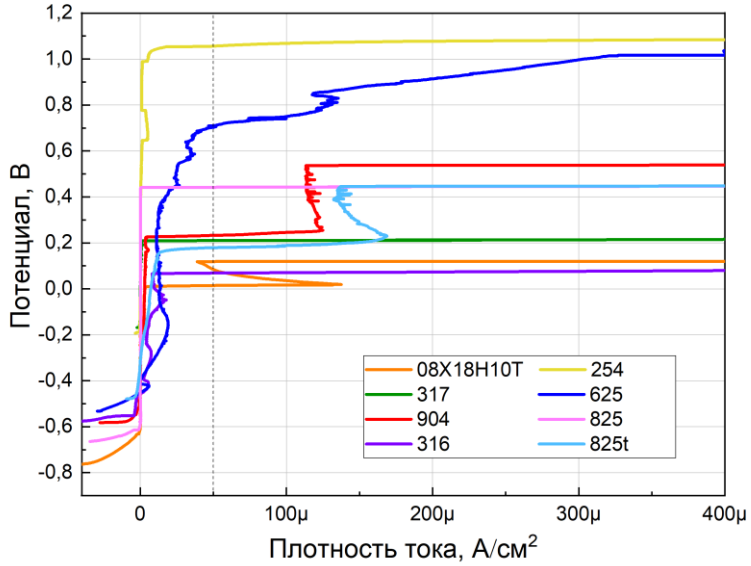
Стандартные испытания (ASTM G48, ГОСТ 6032)

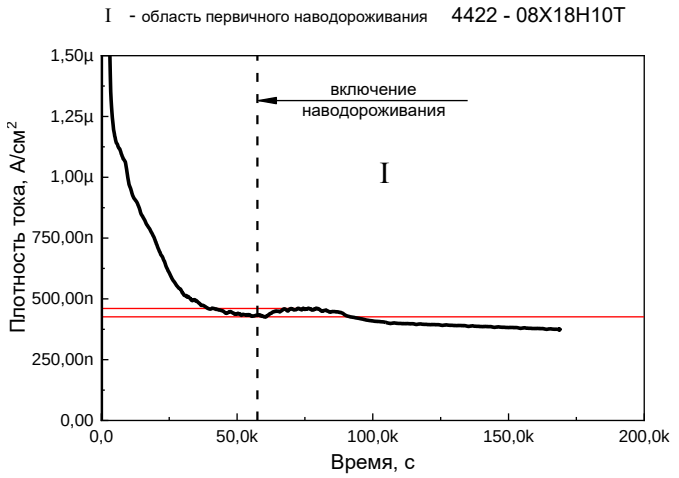


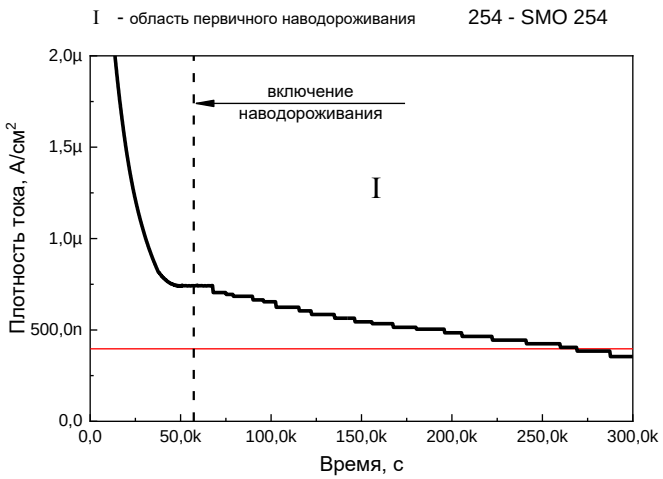
Автоклавный комплекс (статические испытания)

Результаты: электрохимические исследования и проницаемость водорода









Анализ результатов:

1) Проявление пассивации для всех исследуемых образцов;
2) Значительное отличие только в базисе питтингостойкости;
3) Низкие **теоретические** скорости коррозии;
4) Отсутствие выхода водорода и проницаемости через материал плакирующего слоя.

Результаты: испытания на стойкость к питтинговой коррозии и МКК

Маркер (материал)	Средняя скорость коррозии	PREN
	г/м²ч	ед.
08Х18Н10Т	17,2167	18,0
317L	9,9297	27,7
Inc825	2,5723	32,3
Inc825-2	4,3573	34,0
625 (Inc625)	0,0019	51,5
904 (904L)	1,4164	35,0
316 (316L)	12,4300	22,5
254 (SMO 254)	0,0056	40,2

Анализ результатов:

1) Стандартные испытания на питтинговую коррозию для общего сравнения коррелируют с PREN;
2) Отсутствие признаков МКК на всех образцах.



Анализ результатов:

1) Низкие (околонулевые) скорости коррозии по всем образцам;
2) Образование налета на образцах 08Х18Н10Т и на Inc825 от трубы;
3) Стойкость образцов в условиях **стационарного** автоклава.

Обобщение предварительных результатов: сводная таблица по материалам

Таблица относительных показателей в рамках сравнения между материалами

Марка стали	Автоклавные испытания (статическая модель)	Питтинговая коррозия (ASTM G48)	МКК (ГОСТ 6032)	Электрохимические исследования (модель)	Проницаемость водорода
08Х18Н10Т	+	-	+	-+	+
317L	+	-+	+	+-	+
Inc825-2	+	+-	+	+	+
Inc825	+	+-	+	+	+
Inc625	+	+	+	++	+
904L	+	+	+	+	+
316L	+	-	+	-+	+
SMO 254	+	+	+	++	+

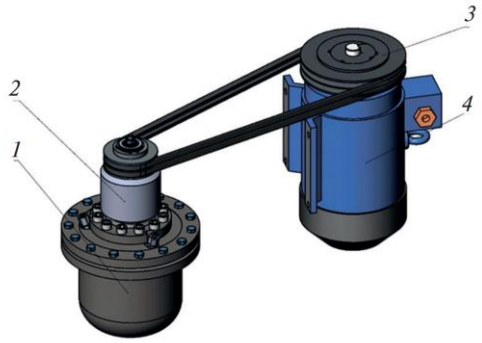
Стойкость
Ограничения
Низкая стойкости

1) Показательность стандартного испытания
2) Отсутствие качественных данных после статических автоклавных испытаний

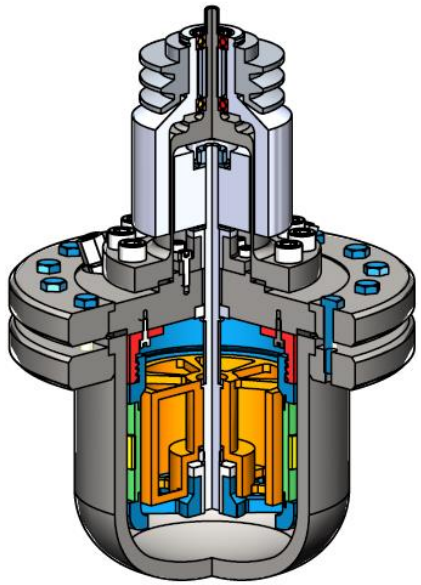
Выводы по этапу:

1) Высокая стоимость Incoloy 825 и 625;
2) Перспективные материалы: SMO 254, 904L, 317L и 316L;
3) Статические модели не в полной мере отражают воздействие среды.

Стенд: Динамический автоклав



1 - автоклав, 2 - магнитная муфта,
3 - клиноременная передача,
4 - электродвигатель



3D модель конструкции

Характеристики

- Рабочая температура ≤ 150 °C
- Рабочее давление 150 бар
- Скорость потока 1-20 м/с
- КННС – до 50 Па

Кейс:



20XM **0,247 мм/год**

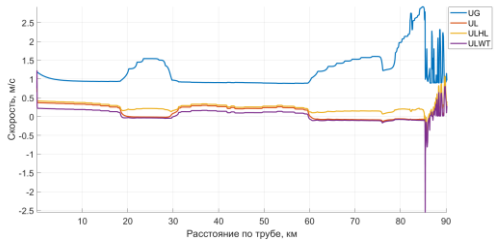
20XM **0,722 мм/год**

13 Cr **0,00 мм/год**

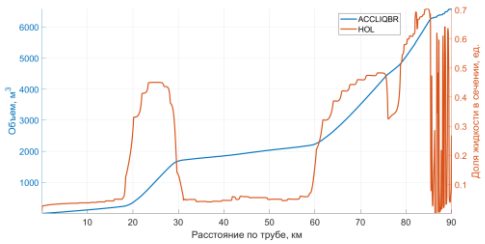
13 Cr **0,02 мм/год**

Создание подробной модели потока:

1) Трассировка трубопровода;
2) Корректировка трассы с учетом перепадов высот;
3) Оценка параметров и свойств трубопровода: материальное исполнение;
4) Учет условий окружающей среды: перепады температур, давления, времени года.



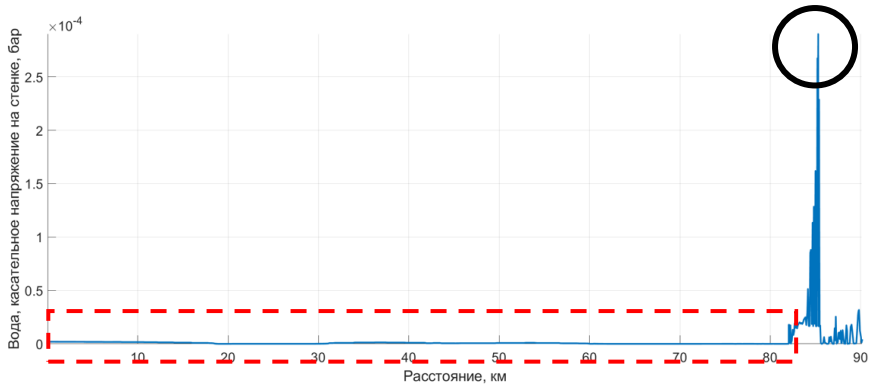
Расчет скоростей течения фаз



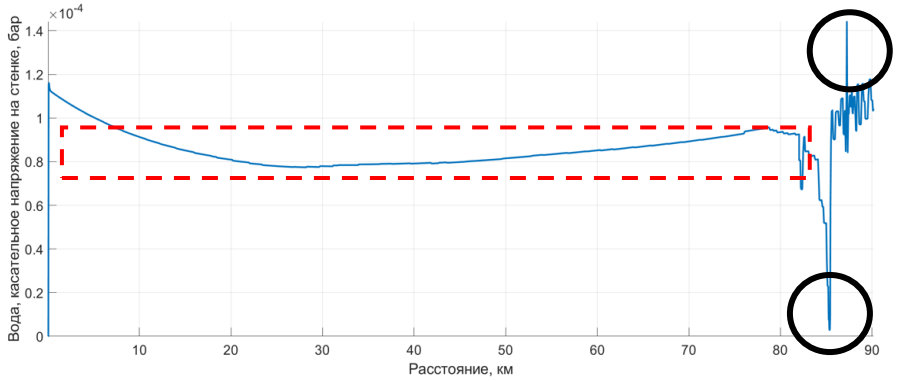
Степень накопления жидкости

Моделирование: Гидродинамика. КННС

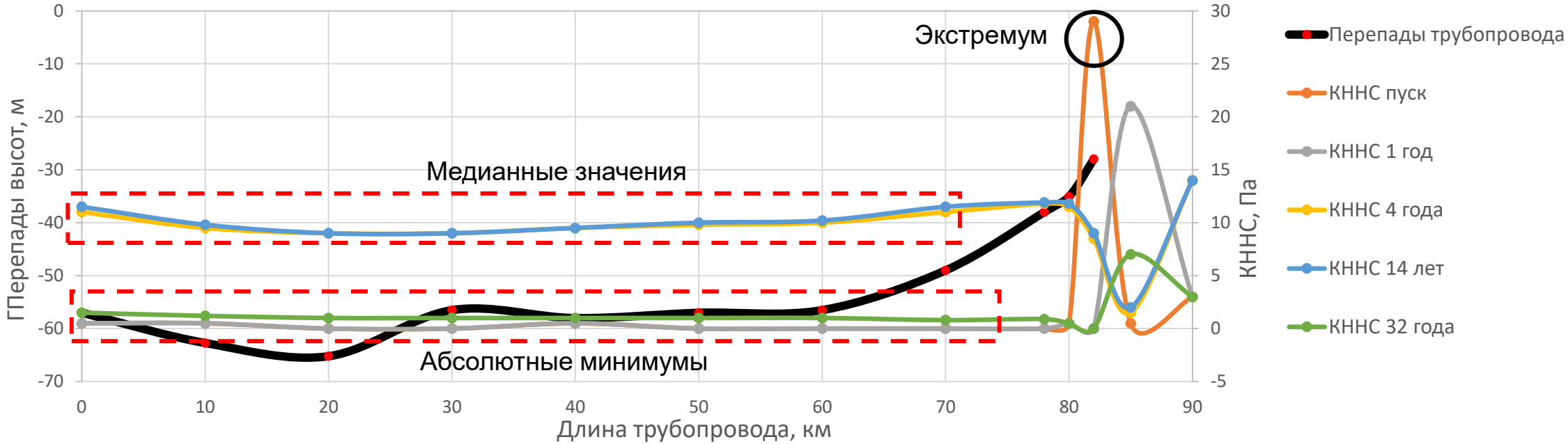
Расчет КННС выполнялся для разного времени эксплуатации, времени года и срока.
По результатам моделирования оценивались КННС для водной фазы в трубопроводе.



Первые годы



4-5 год эксплуатации



Заключение

Проведены масштабные сравнительные испытания материалов в стандартных и модельных средах.

Результаты испытания материалов: 08Х18Н10Т; AISI 317L; Incoloy 825; Incoloy 825; Incoloy 625; AISI 904L; AISI 316L; SMO 254 показали, что:

- Все материалы соответствуют требованиям к химическому составу, описанным в API 5LD;
- Результаты испытаний на стойкость к общей коррозии показывают низкие значения.

Выполнено математическое моделирование процессов гидродинамики потока;
Выбраны условия для динамических испытаний.

Спасибо за внимание!



Преимущества дуплексной системы защиты от коррозии **Majorpack MPAG96** в сероводородсодержащих средах

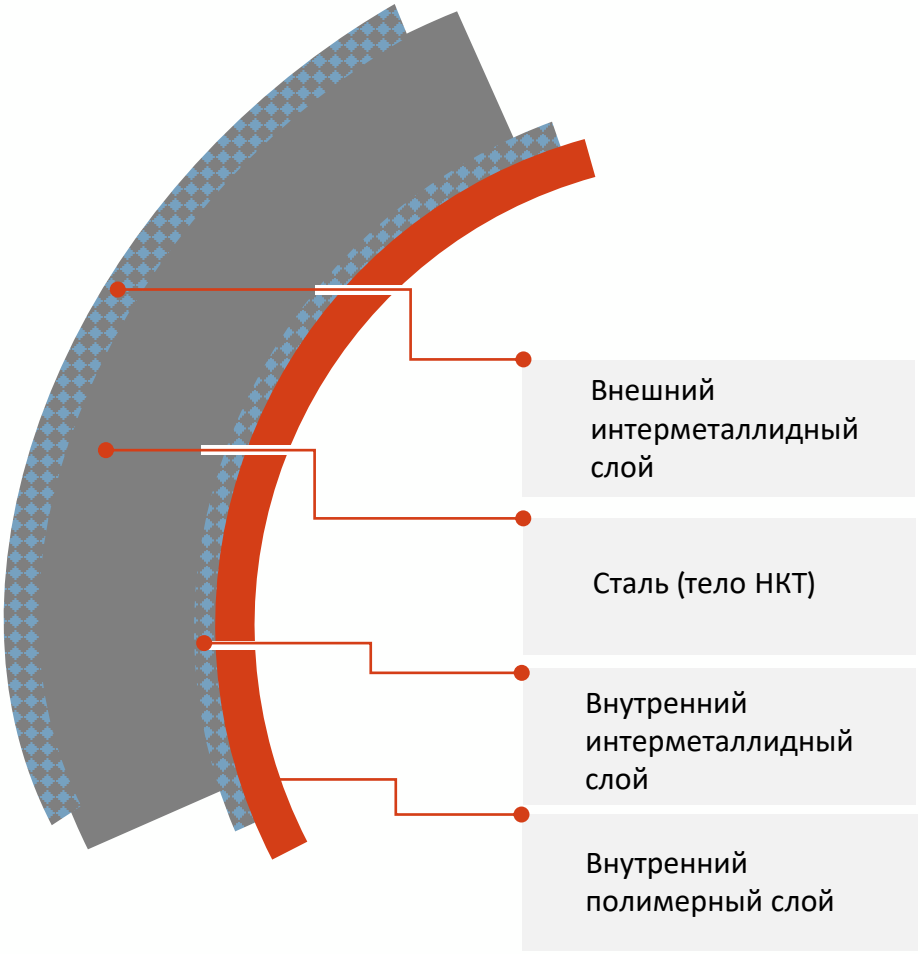
А.И. Цыбин, технический директор ООО "Техновацинк“, к.х.н.

Самара **2024**

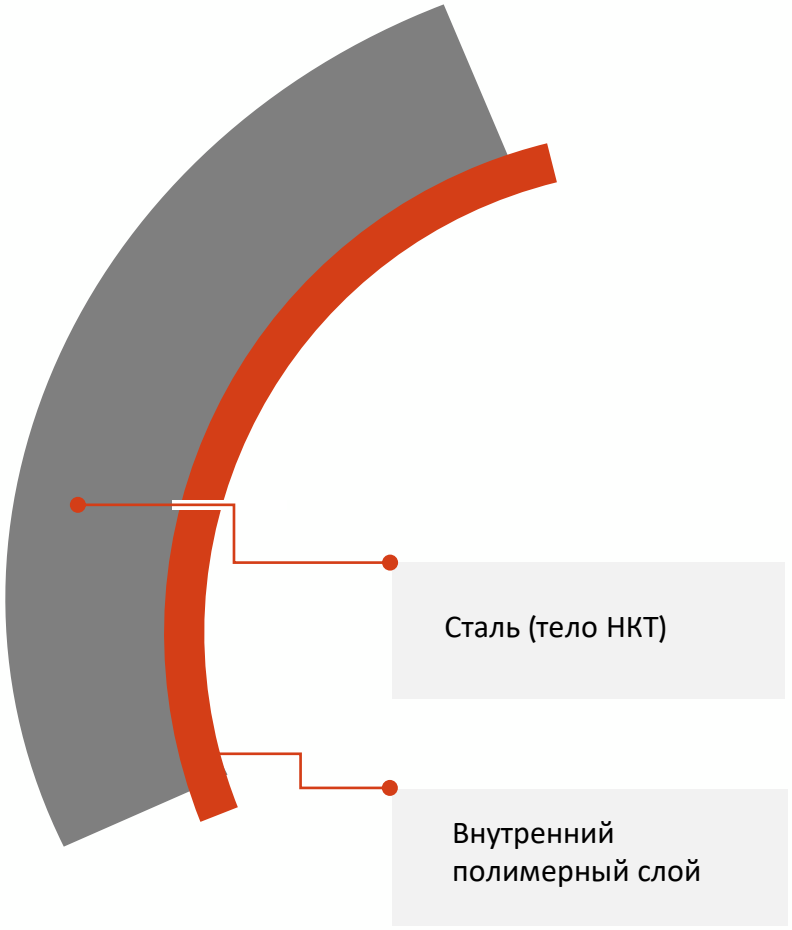
majorpack®

Дуплексная система защиты от коррозии **MPAG96**

MPAG96



MPLAG96



majorpack

Производство **majorpack MPAG96**







Патенты на технологию нанесения покрытий и оборудование

Внедрение результатов НИОКР

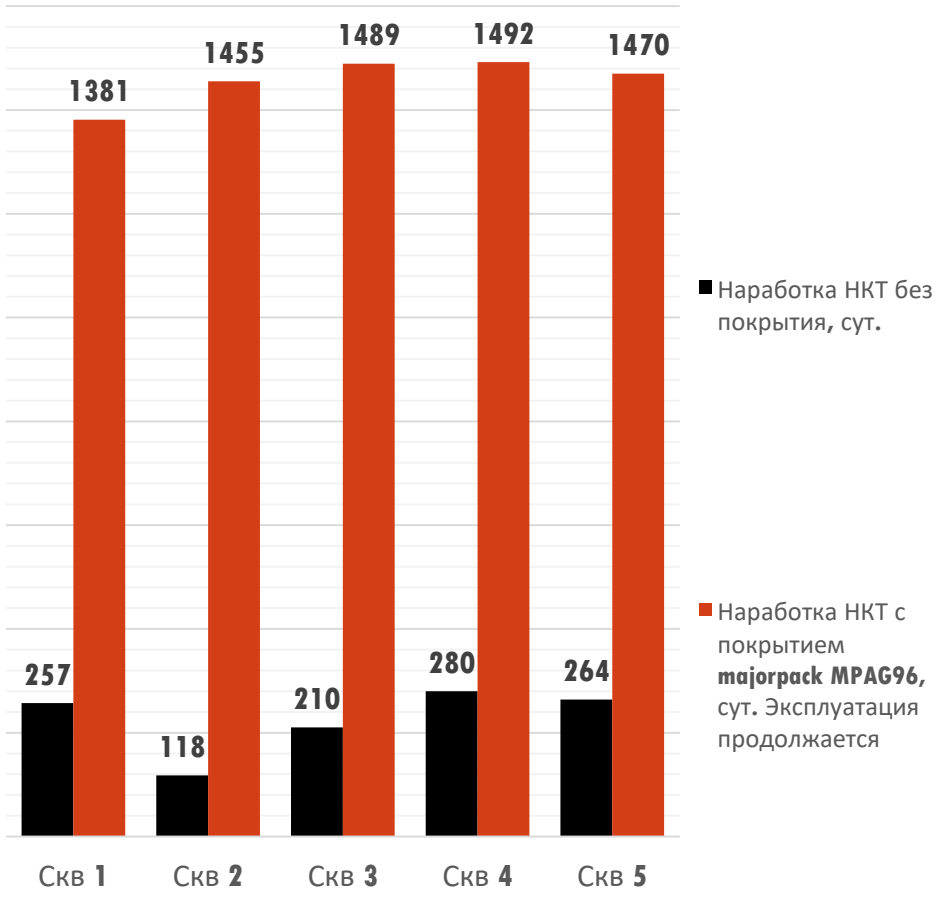
Непрерывное крупнотоннажное производство

100% контроль качества сырья и выпускаемой продукции

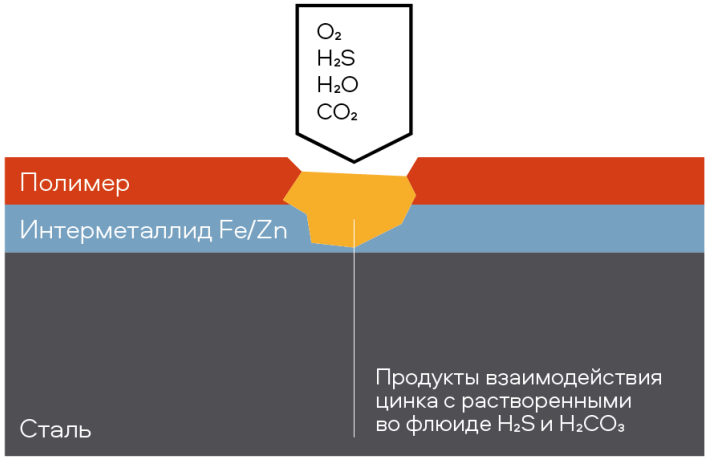
Результаты ОПИ НКТ с покрытием **majorpack MPAG96** на механизированном осложненном фонде скважин

В нефтегазосодержащей жидкости добывающих скважин присутствуют коррозионно-активные компоненты в виде углекислого газа и ионов железа

- величина pH – **6,83**
- содержание CO_2 – **238,8** мг/дм^3
- содержание **H_2S** – **11,9** мг/дм^3
- содержание СВБ – **1000000** кл/см^3
- содержание **Fe^{3+}** – до **40,62** мг/дм^3
- содержание **Fe** общее – **30,83** мг/дм^3
- содержание M**n** – **0,64** мг/дм^3
- содержание O_2 – **7,9** мг/дм^3



Механизм замедления коррозии в присутствии дуплексной системы защиты **majorpack MPAG96**



Свойства продуктов коррозии цинка

Продукты взаимодействия цинка с растворенными во флюиде **H_2S** и **H_2CO_3:**

- нерастворимы в воде

  ПР [**ZnS**(тв)] = **$1,3*10^{-23}$**

  ПР [**$ZnCO_3$**(тв)] = **$1,58*10^{-11}$**

- в процессе формирования образуют плотную кристаллическую массу, что препятствует вымыванию
- инертны к дальнейшему взаимодействию с газами и компонентами флюида, реагируют только с концентрированными кислотами

Химические основы механизма:

- **Zn**(мет) + **H_2S** → **ZnS**(тв)↓ + **H_2**(г)↑
- **Zn**(мет) + **H_2CO_3** → **$ZnCO_3$**(тв)↓ + **H_2**(г)↑

сочетание защитных свойств интерметаллида **Fe/Zn**

эпоксидно-фенольное покрытие

Синергетический эффект при эксплуатации

majorpack

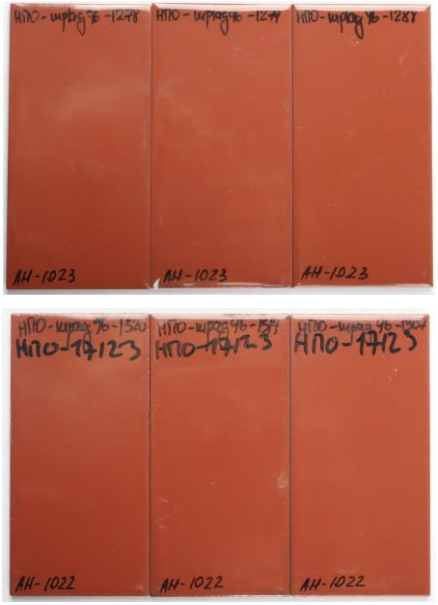
Длительные испытания дуплексной системы защиты **MPAG96** и покрытия **MPLAG96** в модельной H_2S-среде

Проведенные сравнительные испытания систем защиты MPAG96 и MPLAG96 (2019-2023):

- устойчивость к СКРН образцов без повреждений, в том числе в сравнении с легированными сталями
- устойчивость к СКРН при макроповреждениях полимерного слоя (надрезы до металла, большие сколы)
- **Общий вывод:** при краткосрочных лабораторных испытаниях “статического типа” явных преимуществ системы защиты **MPAG96** по сравнению с полимерным покрытием **MPLAG96** **выявить не удалось**

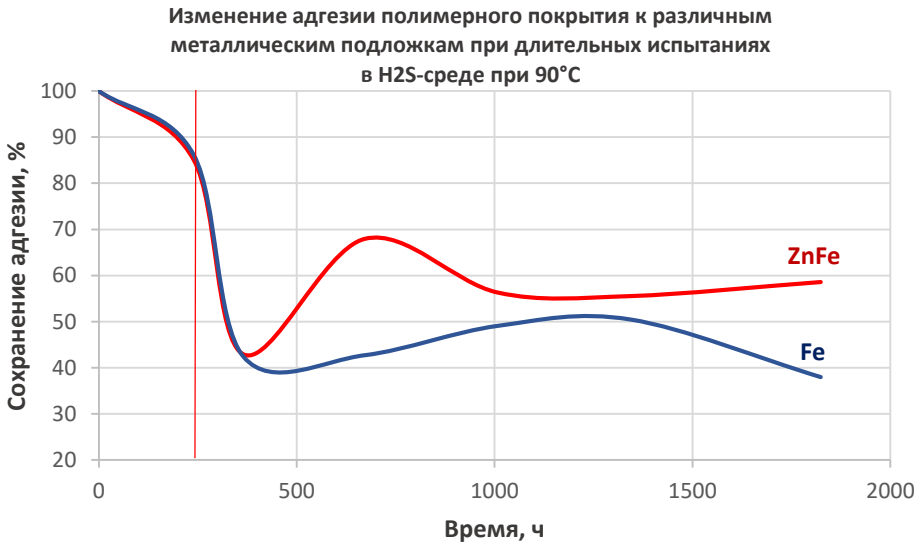
Сравнительные испытания MPAG96 и MPLAG96 и в среде H_2S (2023-2024):

- длительность испытаний заведомо превышает длительность по ГОСТ **58346-2019**
- температура испытаний составила **~ 75%** от максимальной температуры устойчивости к декомпрессии после выдержки в сероводородсодержащих средах в течение **240** часов согласно ГОСТ **58346-2019**
- контроль физико-механических свойств на макроуровне и сопоставление результатов с данными РСА по микроструктуре и элементному анализу фаз



Образцы до испытаний

Изменение макроскопических характеристик дуплексной системы защиты **MPAG96** и покрытия **MPLAG96** в ходе испытаний в сероводородсодержащей среде



Модельная среда и оценка результатов:

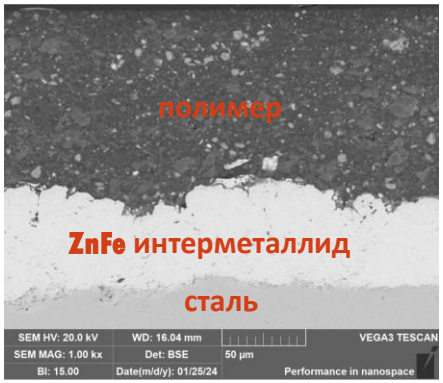
- водный **5%** раствор **NaCl**
- **10** атм H_2S
- **90**°C, **~75%** от максимальной рабочей температуры по H_2S
- выемка и испытания через **336, 672, 1008, 1344** и **1824** ч

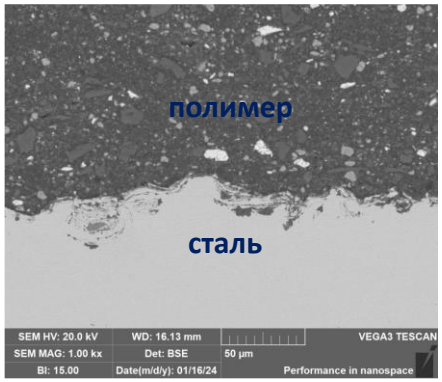


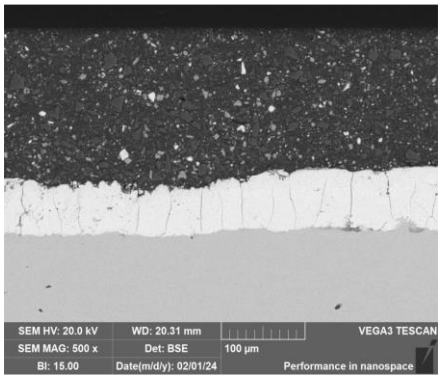
Образцы после испытаний

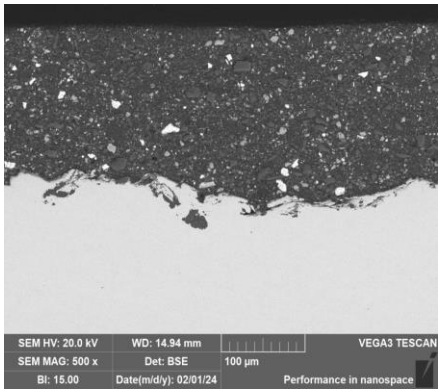
majorpack®

Изменение структуры на границе раздела фаз “металлическая подложка – полимерное покрытие” дуплексной системы защиты **MPAG96** и покрытия **MPLAG96** и в **H_2S**-среде через **336** и **672** часа









Микроструктура образцов MPAG96

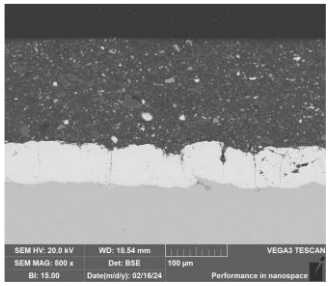
Без изменений

Микроструктура образцов MPLAG96

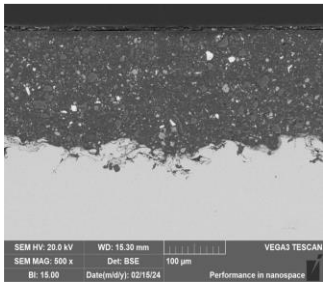
Без изменений

majorpack

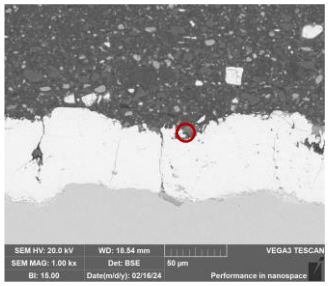
Изменение структуры на границе раздела фаз “металлическая подложка – полимерное покрытие” дуплексной системы защиты **MPAG96** и покрытия **MPLAG96** и в **H_2S**-среде через **1008** часов



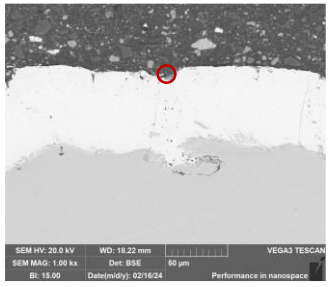
x100



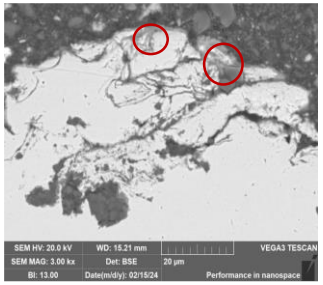
x100



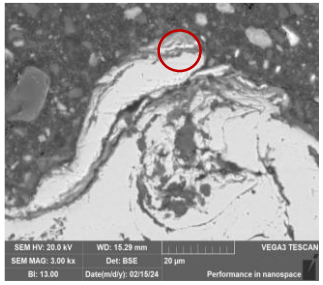
x500



x500



x1000



x1000

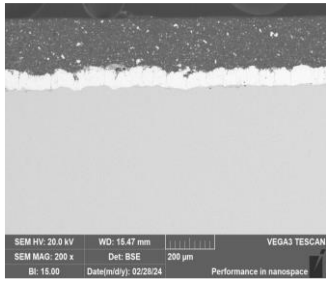
Элемент	C	O	Zn	Si	S	Fe
1	15,98	9	67,53	-	**5,52**	1,97
2	12,46	7,7	72,42	0,06	**3,35**	4

Элемент/№ точки	C	O	Si	Ti	Al	Mn	S	Fe
1	3,77	2,58	0,28	2,02	1,33	0,44	**6,56**	83,02
2	9,47	7,12	0,64	0,97	4,21	0,04	**19,4**	58,15
3	13,89	6,24	0,39	0,82	1,41	-	**18,48**	58,76

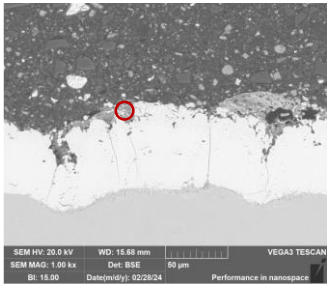
Микроструктура образцов MPAG96, на границе раздела фаз ZnFe интерметаллид – сталь серосодержащие продукты коррозии отсутствуют

Микроструктура образцов MPLAG96, наблюдаются значительные количества серосодержащих продуктов коррозии на границе раздела фаз сталь – полимерный слой

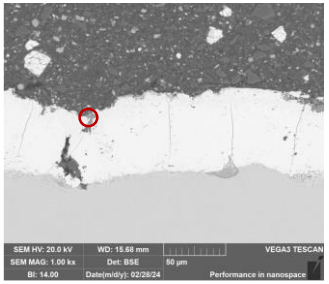
Изменение структуры на границе раздела фаз “металлическая подложка – полимерное покрытие” дуплексной системы защиты **MPAG96** и покрытия **MPLAG96** и в H_2S-среде через **1344** часа



x**200**



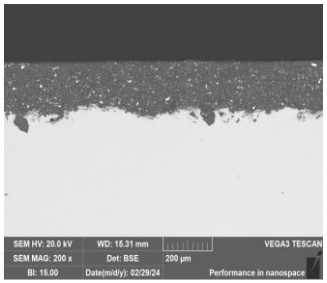
x**1000**



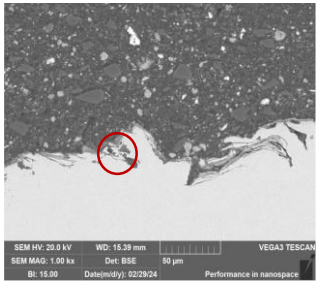
x**1000**

Элемент	C	O	Zn	Si	S	Fe
1	17,53	8,67	64,56	-	**8,21**	1,03
2	19,19	9,84	64,48	-	**5,27**	1,22

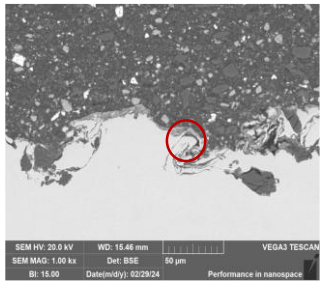
Микроструктура образцов MPAG96, на границе раздела фаз ZnFe интерметаллид – сталь серосодержащие продукты коррозии отсутствуют



x**200**



x**1000**



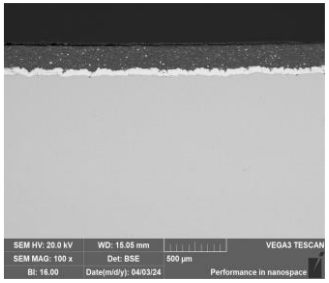
x**1000**

Элемент	C	O	Si	Ti	Al	S	Fe
1	12,02	6,67	-	0,69	1,32	**21,9**	57,4
2	9,75	8,61	0,45	-	3,28	**18,1**	59,82

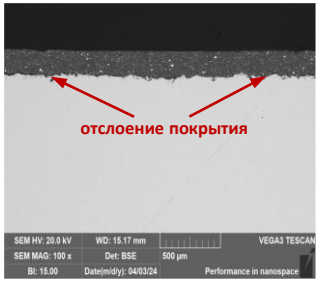
Микроструктура образцов MPLAG96, наблюдаются значительные количества серосодержащих продуктов коррозии на границе раздела фаз сталь – полимерный слой

majorpack

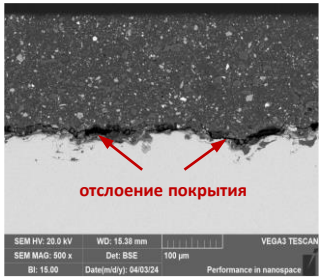
Изменение структуры на границе раздела фаз “металлическая подложка – полимерное покрытие” дуплексной системы защиты **MPAG96** и покрытия **MPLAG96** и в **H_2S**-среде через **1824** часа



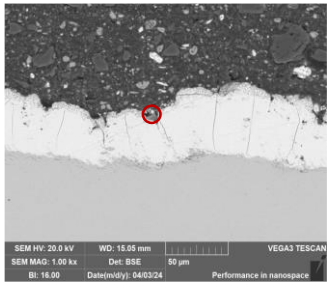
x**100**



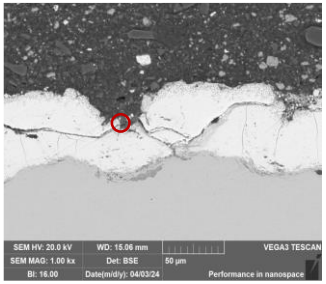
x**100**



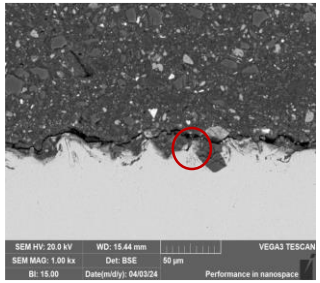
x**500**



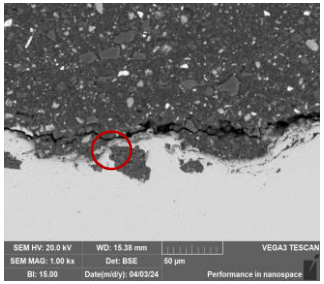
x**1000**



x**1000**



x**1000**



x**1000**

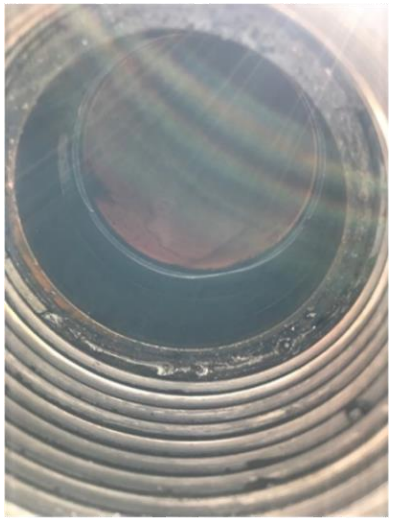
Элемент/№ точки	C	O	Zn	Ca	S	Fe
1	14,47	3,98	76,08	-	**4,05**	1,42
2	10,74	4,55	70,07	11,55	**0,61**	2,43

Элемент/№ точки	C	O	Si	Ti	Al	S	Fe
1	33,94	8,89	0,41	0,76	2,18	**6,33**	47,49
2	13,45	3,44	0,57	-	2,24	**13,6**	66,70

Микроструктура образцов MPAG96, на границе раздела фаз ZnFe интерметаллид – сталь серосодержащие продукты коррозии отсутствуют

Микроструктура образцов MPLAG96, наблюдается деламинация полимерного слоя и значительные количества серосодержащих продуктов коррозии на границе раздела фаз сталь – полимерный слой

Выводы

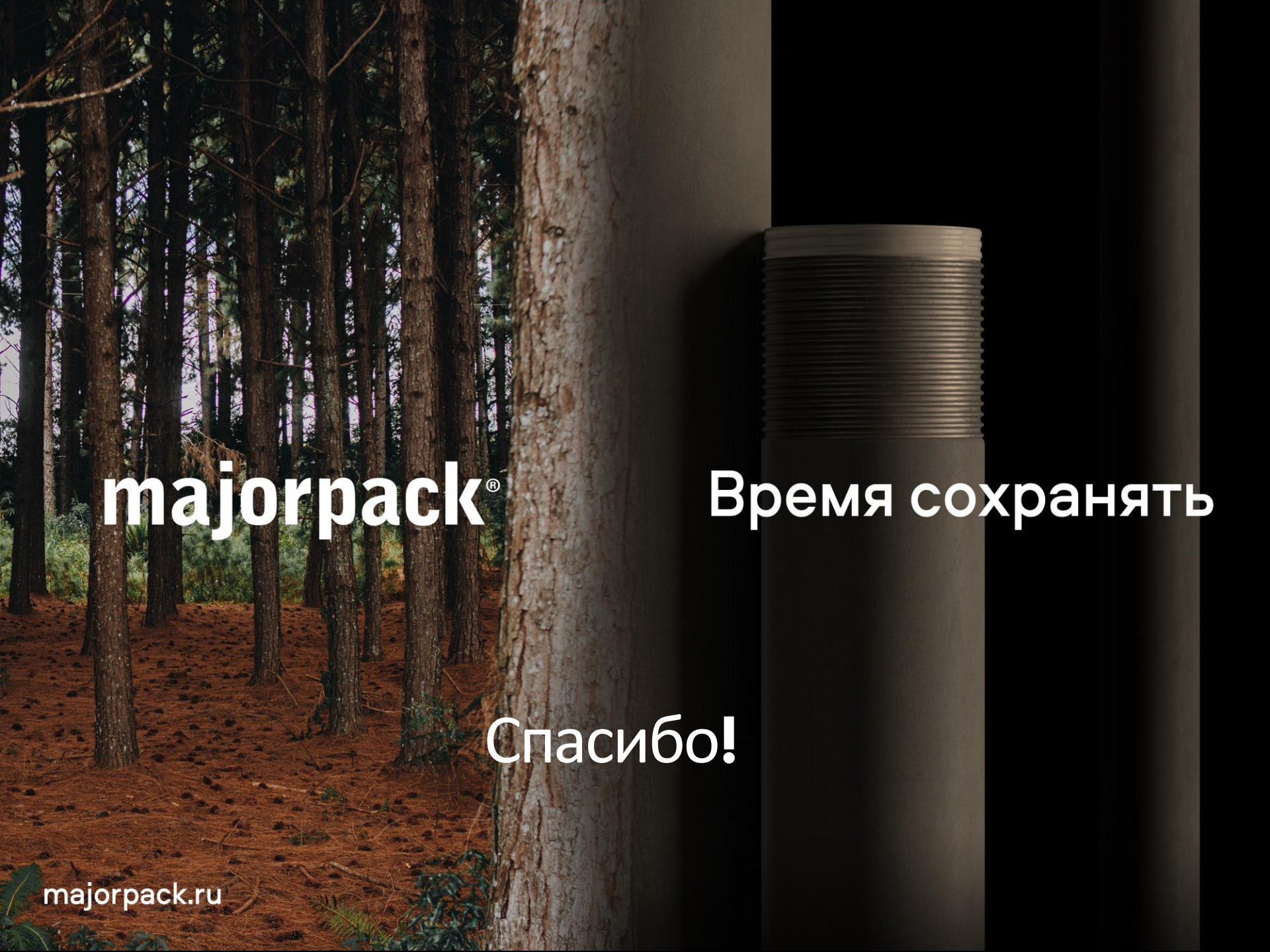




- успешно проведены испытания, однозначно демонстрирующие преимущества дуплексной системы защиты от коррозии **MPAG96** по сравнению с защитным покрытием **MPLAG96**

- подтвержден различный характер изменения с течением времени локальных очагов коррозии в металле на границах раздела фаз «полимер-металлическая подложка» для различных металлических подложек **MPAG96** и **MPLAG96**. При появлении локального подпленочного микроочага коррозии на **Fe**-подложке происходит его постепенное разрастание по всей поверхности металла с последующей деламинацией полимерного покрытия. При появлении аналогичного микроочага коррозии на **ZnFe**-подложке его распространение по всей поверхности не происходит, деламинация полимерного покрытия не наблюдается

- кроме того, **ZnFe**-подложка является частью системы защиты от коррозии. Другими словами, в случае использования системы защиты от коррозии **MPAG96** удается предотвратить деградацию основного материала стали НКТ при эксплуатации в чрезвычайно агрессивных средах


majorpack®
Время сохранять
Спасибо!
majorpack.ru

Северсталь

Высокопрочная сталь 05ХГ2БА для оборудования, эксплуатируемого в сероводородсодержащих средах



Хадеев Г.Е., Сахаров М.С., Ящук С.В., Ивашнев П.Р.

03.09.2024

Северсталь



Цель: разработка нового материала для защиты сосудов от коррозии

Условия работы абсорбера

450°C



Вода

Сероводород

H_2S

Любое несанкционированное копирование, раскрытие или распространение материалов, содержащихся в данном документе (или приложениях к нему), строго запрещено.



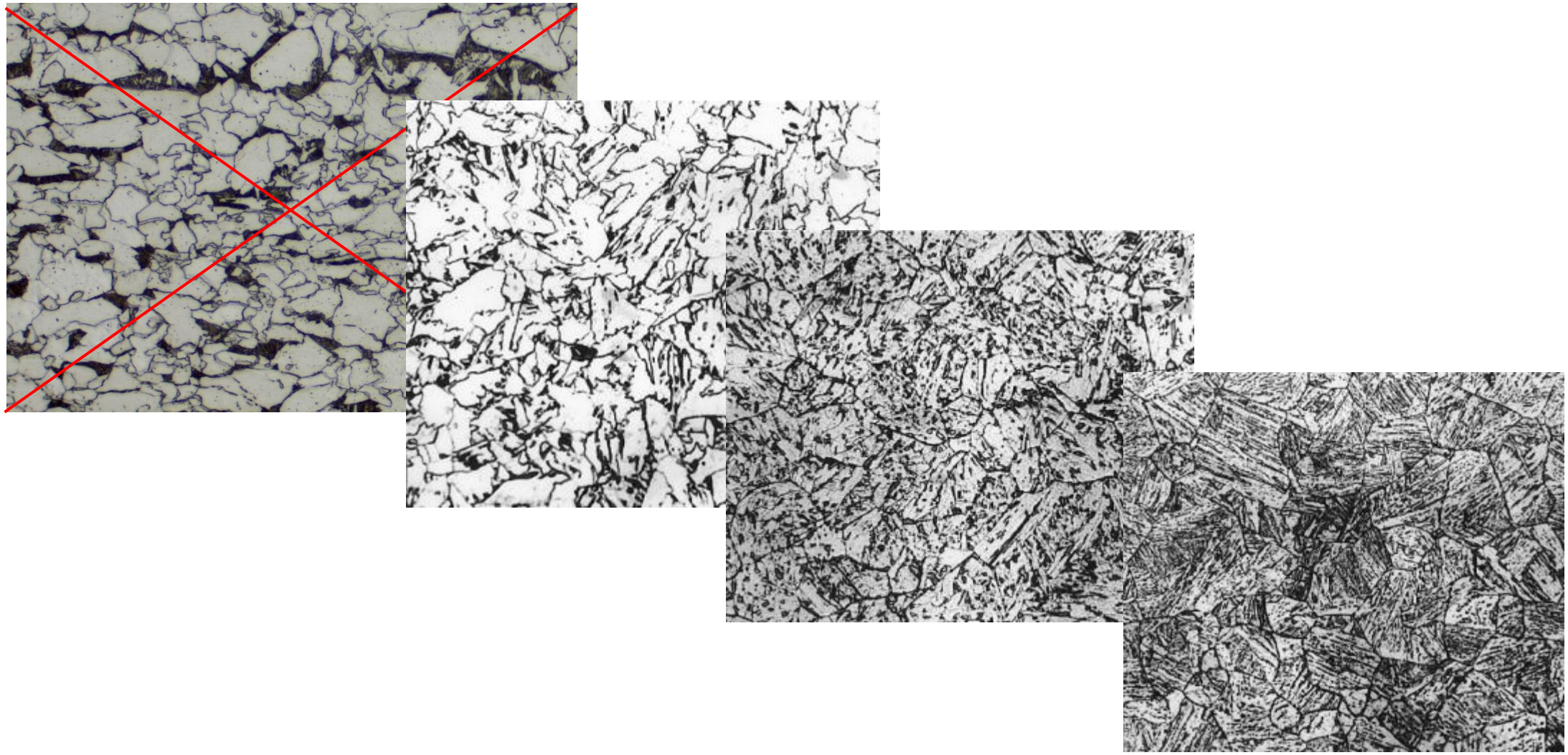
CORDIS

Коррозионностойкий металлопрокат и трубы для нефтегазопроводов

Эффективное решение против коррозии

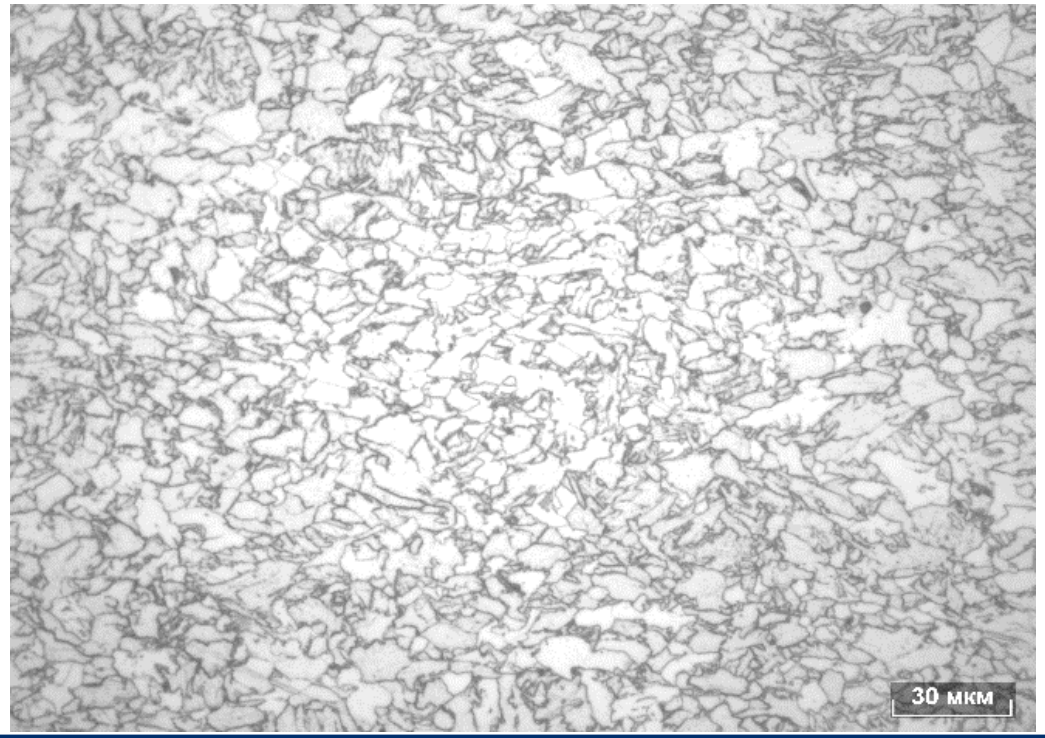
Любое несанкционированное копирование, раскрытие или распространение материалов, содержащихся в данном документе (или приложениях к нему), строго запрещено.

Требуемая микроструктура



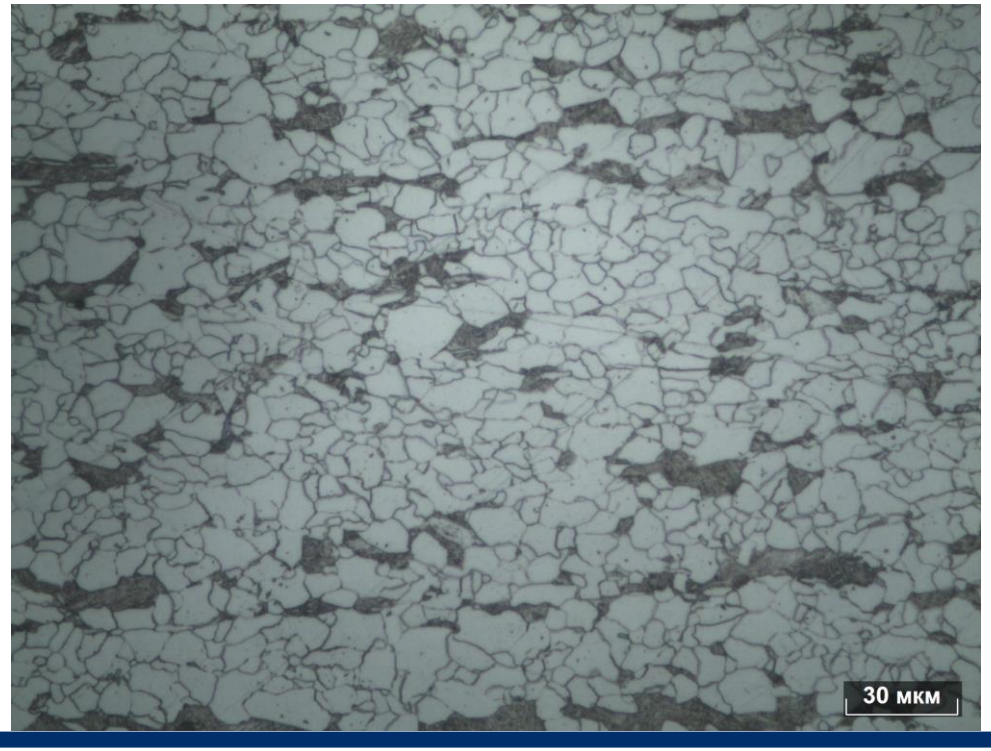
Любое несанкционированное копирование, раскрытие или распространение материалов,
содержащихся в данном документе (или приложениях к нему), строго запрещено.

C	Si	Mn	Cr	V+Nb+Ti	Ni	Cu	Al	N	P	S
менее										
0,075	0,45	1,00	1,00	0,1	0,5	0,5	0,06	0,01	0,01	0,0015



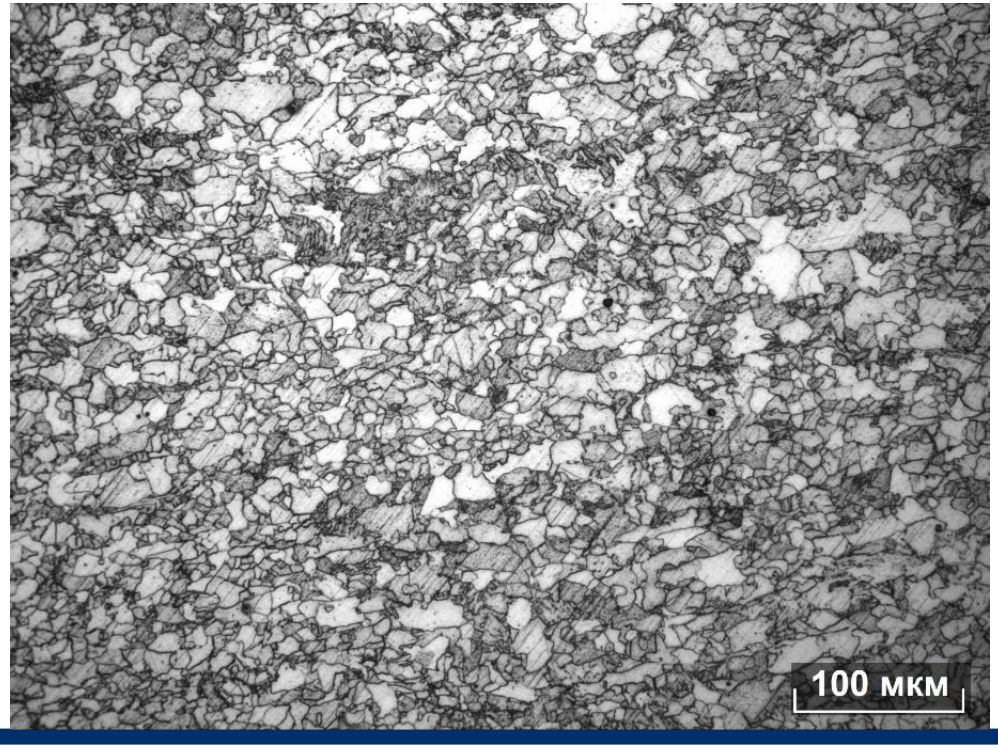
Любое несанкционированное копирование, раскрытие или распространение материалов, содержащихся в данном документе (или приложениях к нему), строго запрещено.

C	Si	Mn	Cr	V+Nb+Ti	Ni	Cu	Al	N	P	S
менее										
0,055	0,45	1,25	1,00	0,1	0,5	0,5	0,06	0,01	0,01	0,0015



Любое несанкционированное копирование, раскрытие или распространение материалов, содержащихся в данном документе (или приложениях к нему), строго запрещено.

C	Si	Mn	Cr	V+Nb+Ti	Ni	Cu	Al	N	P	S
менее										
0,055	0,45	1,6	0,50	0,1	0,2	0,2	0,06	0,01	0,01	0,0015



Любое несанкционированное копирование, раскрытие или распространение материалов, содержащихся в данном документе (или приложениях к нему), строго запрещено.

Опытное производство

Особенности продукта

- Низкое содержание углерода
- Глубокое раскисление во избежание включений,
- Сверхнизкое содержание водорода
- Сверхнизкий уровень содержания серы
- Сверхнизкий уровень содержания фосфора
- Обеспечение высокого уровня свойств и чистоты стали

Преимущества решения

- Сталь предназначена для использования в нефтепереработке и подготовке газа в тяжелых сернистых условиях эксплуатации
- Увеличение эксплуатационного ресурса
- Снижение затрат на транспортировку изделия до места эксплуатации
- Уменьшение веса сосудов и аппаратов работающих под давлением не менее 10 % за счет повышенного предела текучести при повышенных температурах (см. график)

Параметр	20ЮЧ	05ХГ2БА, t<30мм	05ХГ2БА, t>30мм
Предел текучести, МПа	>235	>485	>360
Предел прочности, МПа	>410	>560	>520
Относительное удлинение, min, %	23	21	21
Ударная вязкость, Дж/см² ,KCV -40°C	>49	>60	>49

Любое несанкционированное копирование, раскрытие или распространение материалов, содержащихся в данном документе (или приложениях к нему), строго запрещено.

Запрос: Изделие Абсорбер

Температура испытаний	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, Н/мм^2	Предел прочности $\sigma_в$, Н/мм^3	Относительное удлинение δ_5, %	Ударная вязкость KCV -40 °C, Дж/см^2	Твердость, НВ
Плюс 20°С	≥ 360	≥ 520	≥ 21	≥ 49	≤ 220
Плюс 110°С	≥ 310	≥ 465			

CLR	CTR	СКРН метод А
≤6	≤3	80% Rt 720 ч

Режим максимальной ПСТО:
- загрузка при температуре не более 420°С;
- скорость нагрева от 420°С до 600-630°С – 35-50°С/час;
- температура выдержки – 600-630°С;
- время выдержки при 600-630°С 16 час 00 мин– 16 час 30 мин;
- скорость охлаждения от 600-630°С до 420°С – 35-50°С/час;
- далее на воздухе.

Любое несанкционированное копирование, раскрытие или распространение материалов, содержащихся в данном документе (или приложениях к нему), строго запрещено.



Любое несанкционированное копирование, раскрытие или распространение материалов,
содержащихся в данном документе (или приложениях к нему), строго запрещено.

Северсталь

Спасибо
за внимание

Приложения

Любое несанкционированное копирование, раскрытие или распространение материалов,
содержащихся в данном документе (или приложениях к нему), строго запрещено.

Испытания на коррозионностойкость HIC 01.2023 (Линейка Cordis)

ООО «ИТ-Сервис» 443001, г. Самара,
ул. Ульяновская/Ярмарочная, д.52/55
7 (846) 212-00-39 sekr@its-samara.com
www.its-samara.com ИНН 6315562413
КПП 631501001 ОГРН 1026300962995

ПРОТОКОЛ
прохождения проверки
№ 2076-01/2023

Уникальный номер записи об аккредитации ИЦ ООО «ИТ-Сервис» в реестре аккредитованных лиц: РОСС RU.0001.517407
Дата выдачи: 16.01.2023
Заказчик: ПАО «Северсталь»
Изготовитель: ПАО «Северсталь»
Продукция: Листовой прокат
Нормативный документ: -
Группа прочности: С440 **Толщина:** 105 мм
№ плавки: 124651 **№ проката:** 62320 **№ изделия:** -
Маркировка: S672

1. Коррозионные характеристики

1.1. Стойкость к водородному растрескиванию ВР:

нормативный документ:	NACE TM0284;
коррозионная среда:	по NACE TM0284 (раствор А);
ориентация образцов:	продольная;
размер образцов:	100x20 мм;
температура испытания:	22,2-22,6 °С;
продолжительность испытания:	96 час;
pH до насыщения сероводородом:	2,7;
pH в начале испытания:	2,9;
H_2S в начале испытания:	2556 ppm;
pH в конце испытания:	3,6;
H_2S в конце испытания:	2488 ppm.

Результаты испытания:

коэффициент длины трещины, CLR, %	***0,00***
коэффициент толщины трещины, CTR, %	***0,00***
коэффициент чувствительности растрескивания, CSR, %	***0,00***

Директор по науке В.А. Ревякин

М.П.

ООО «ИТ-Сервис» 443001, г. Самара,
ул. Ульяновская/Ярмарочная, д.52/55
7 (846) 212-00-39 sekr@its-samara.com
www.its-samara.com ИНН 6315562413
КПП 631501001 ОГРН 1026300962995

ПРОТОКОЛ
прохождения проверки
№ 2077-01/2023

Уникальный номер записи об аккредитации ИЦ ООО «ИТ-Сервис» в реестре аккредитованных лиц: РОСС RU.0001.517407
Дата выдачи: 16.01.2023
Заказчик: ПАО «Северсталь»
Изготовитель: ПАО «Северсталь»
Продукция: Листовой прокат
Нормативный документ: -
Группа прочности: С440 **Толщина:** 75 мм
№ плавки: 124651 **№ проката:** 62321 **№ изделия:** -
Маркировка: S673

1. Коррозионные характеристики

1.1. Стойкость к водородному растрескиванию ВР:

нормативный документ:	NACE TM0284;
коррозионная среда:	по NACE TM0284 (раствор А);
ориентация образцов:	продольная;
размер образцов:	100x20 мм;
температура испытания:	22,2-22,6 °С;
продолжительность испытания:	96 час;
pH до насыщения сероводородом:	2,7;
pH в начале испытания:	2,9;
H_2S в начале испытания:	2556 ppm;
pH в конце испытания:	3,6;
H_2S в конце испытания:	2488 ppm.

Результаты испытания:

коэффициент длины трещины, CLR, %	***0,00***
коэффициент толщины трещины, CTR, %	***0,00***
коэффициент чувствительности растрескивания, CSR, %	***0,00***

Директор по науке В.А. Ревякин

М.П.

Любое несанкционированное копирование, раскрытие или распространение материалов, содержащихся в данном документе (или приложениях к нему), строго запрещено.

Испытания на коррозионностойкость СКРН 02.2023 (Линейка Cordis)

ООО «ИТ-Сервис» 443001, г. Самара,
ул. Ульяновская/Ярмарочная, д.52/55
7 (846) 212-00-39 sekr@its-samara.com
www.its-samara.com ИНН 6315562413
КПП 631501001 ОГРН 1026300962995

ПРОТОКОЛ
прохождения проверки
№ 2085-02/2023

Уникальный номер записи об аккредитации ИЦ ООО «ИТ-Сервис» в реестре аккредитованных лиц: РОСС RU.0001.517407
Дата выдачи: 13.02.2023
Заказчик: ПАО «Северсталь»
Изготовитель: ПАО «Северсталь»
Продукция: Листовой прокат
Нормативный документ: -
Группа прочности: С440 **Толщина:** 105 мм
№ плавки: 124651 **№ проката:** 62320 **№ изделия:** -

1. Коррозионные характеристики

1.1. Стойкость к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением, метод А:

дата установки образцов:	11.01.2023;
нормативный документ:	NACE TM0177 (метод А);
коррозионная среда:	по NACE TM0177 (раствор А);
количество образцов:	3;
ориентация образцов:	поперечная;
температура испытаний:	22,1-22,5 °С;
продолжительность испытаний:	720 час.;
pH до насыщения сероводородом:	2,8/2,8/2,8;
pH в начале испытаний:	2,9/2,9/3,0;
H_2S в начале испытаний:	2437/2386/2505 ppm;
pH в конце испытаний:	3,7/3,7/3,7;
H_2S в конце испытаний:	2369/2403/2437 ppm.

Результаты испытания:
Приложенное напряжение составляет 288 МПа, что соответствует 80% от предела текучести материала (360 МПа);
образец №1 не разрушился за время испытания 720 ч.;
образец №2 не разрушился за время испытания 720 ч.;
образец №3 не разрушился за время испытания 720 ч.
На поверхности образцов трещины СКРН не обнаружены.

Директор по науке М.П. В.А. Ревякин

ООО «ИТ-Сервис» 443001, г. Самара,
ул. Ульяновская/Ярмарочная, д.52/55
7 (846) 212-00-39 sekr@its-samara.com
www.its-samara.com ИНН 6315562413
КПП 631501001 ОГРН 1026300962995

ПРОТОКОЛ
прохождения проверки
№ 2086-02/2023

Уникальный номер записи об аккредитации ИЦ ООО «ИТ-Сервис» в реестре аккредитованных лиц: РОСС RU.0001.517407
Дата выдачи: 13.02.2023
Заказчик: ПАО «Северсталь»
Изготовитель: ПАО «Северсталь»
Продукция: Листовой прокат
Нормативный документ: -
Группа прочности: С440 **Толщина:** 75 мм
№ плавки: 124651 **№ проката:** 62321 **№ изделия:** -

1. Коррозионные характеристики

1.1. Стойкость к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением, метод А:

дата установки образцов:	11.01.2023;
нормативный документ:	NACE TM0177 (метод А);
коррозионная среда:	по NACE TM0177 (раствор А);
количество образцов:	3;
ориентация образцов:	поперечная;
температура испытаний:	22,1-22,6 °С;
продолжительность испытаний:	720 час.;
pH до насыщения сероводородом:	2,8/2,8/2,8;
pH в начале испытаний:	3,0/2,9/2,9;
H_2S в начале испытаний:	2420/2471/2437 ppm;
pH в конце испытаний:	3,6/3,6/3,7;
H_2S в конце испытаний:	2352/2403/2454 ppm.

Результаты испытания:
Приложенное напряжение составляет 288 МПа, что соответствует 80% от предела текучести материала (360 МПа);
образец №1 не разрушился за время испытания 720 ч.;
образец №2 не разрушился за время испытания 720 ч.;
образец №3 не разрушился за время испытания 720 ч.
На поверхности образцов трещины СКРН не обнаружены.

Директор по науке М.П. В.А. Ревякин

Любое несанкционированное копирование, раскрытие или распространение материалов, содержащихся в данном документе (или приложениях к нему), строго запрещено.

МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ

НАУКА
И УНИВЕРСИТЕТЫ

Новые марки сталей для производства бесшовных труб

Александр Комиссаров
К.т.н., заведующий лабораторией

Место проведения: ИТ-Сервис, г. Самара

Дата проведения: 2-4 сентября 2024 г.

Марка стали повышенной коррозионной стойкости для сварных труб

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ



01 Язвенная короозия



02 Язвенно-канавочная



03 Канавочная коррозия

Линейка продуктов «Cordis»



01

Вид продукции

Труба прямошовная, классы прочности К48 – К60 (Х52 – Х70)

02

Сортамент продукции

ТМСД (диаметр 114 – 427 мм, толщина стенки 6 – 12 мм),
ТБД (диаметр 508 – 1220 мм, толщина стенки 10 – 34 мм)

03

Хладостойкость

Значения ударной вязкости KCV^{-60} более 250 Дж/см^2

04

Эксплуатационные показатели

Срок эксплуатации труб увеличится в 1,5-2 раза относительно марок сталей предшествующего поколения

Огнестойкая сталь С390П



ТК «Зимняя вишня», г. Кемерово (2018 г)
65 погибших



Небоскрёб 42 этажа, г. Чанша (2022 г)
0 погибших

ФЗ 123

Технический регламент о требованиях пожарной безопасности

ГОСТ 27772-2015

Прокат для строительных стальных конструкций

С355П

В действующей нормативной документации в РФ упоминается лишь одна марка огнестойкой стали 06МБФ

ЦНИИСК им В.А. Кучеренко

1) Соловьев Д.В «Исследование огнестойкости балок из новых сталей», 2007

2) Муратов А.Н «Разработка и освоение промышленного производства проката из огнестойкой стали для строительных конструкций», 2007

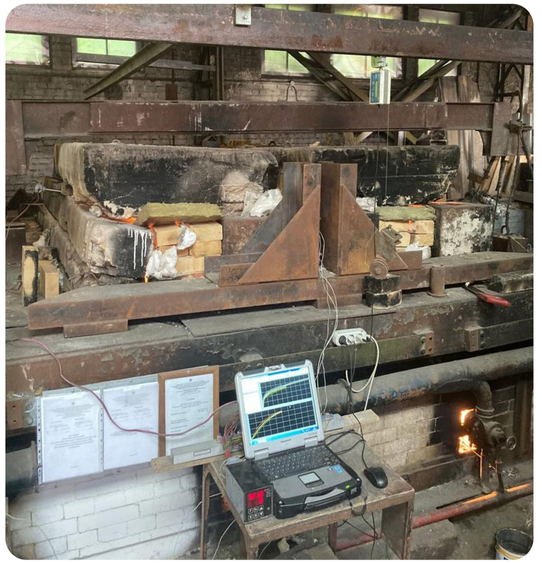
Огнестойкая сталь

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

Марка стали	Нагрузка, кг	Время до потери несущей способности, мин	Температуры потери несущей способности, °С
Ст3сп (С255)	3887	14 – 15	469/498
09Г2С (С355)	5886	17 – 18	525/540
06МБФ (С355П)	5886	27 – 28	683/691
С390П	**6593**	**24 – 31**	**693/704**



Подача воздушно-керосиновой смеси



Замер прогиба балки



Вид балки после испытания

Бесшовные трубы, 218 ПП РФ

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

Назначение продукции высокотехнологичного производства

2023

Нефтегазопроводные и нарезные бесшовные трубы повышенной коррозионностойкости и хладостойкости

2024

Нефтегазопроводные и нарезные бесшовные трубы повышенной коррозионностойкости

2025

Коррозионностойкие бесшовные трубы

CrOMK/0-1

Содержание хрома: не более 1%

Остальные легирующие элементы: не более 2,5%

ТП-1

CrOMK/1-9 и CrOMK/10-18

Содержание хрома: 1-9% и 10-18%

Остальные легирующие элементы: не более 8%

ТП-2

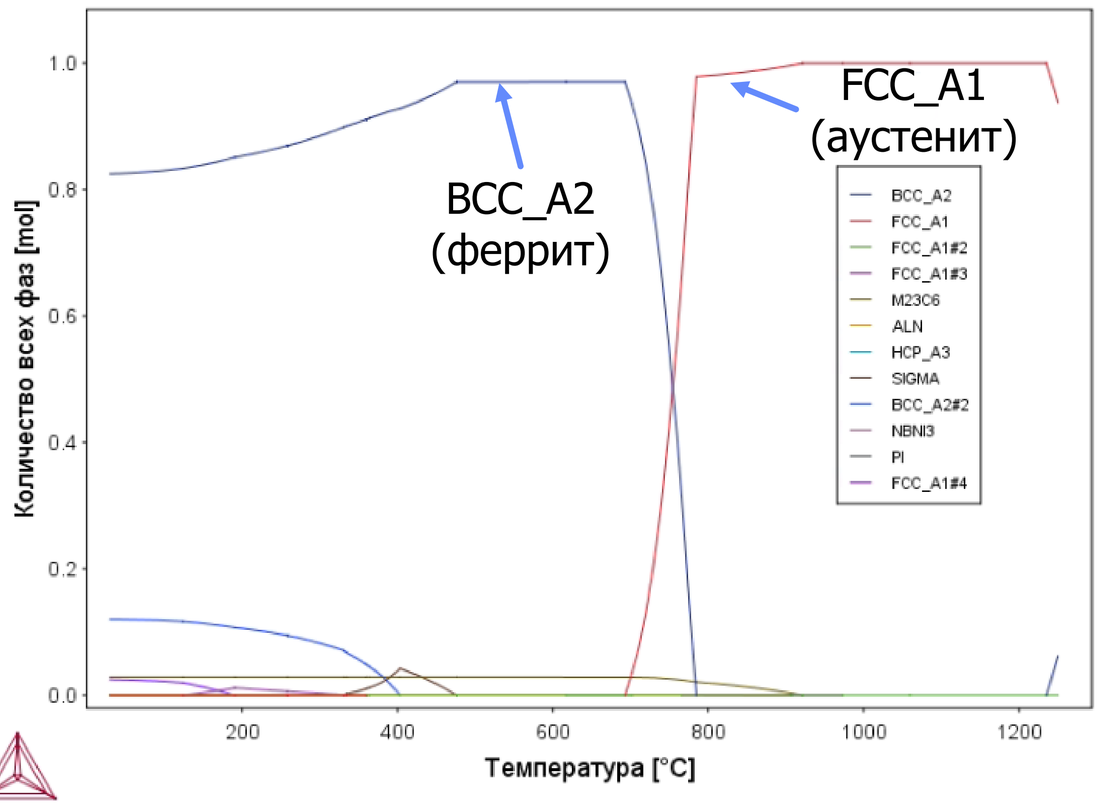
CrOMK/16-20

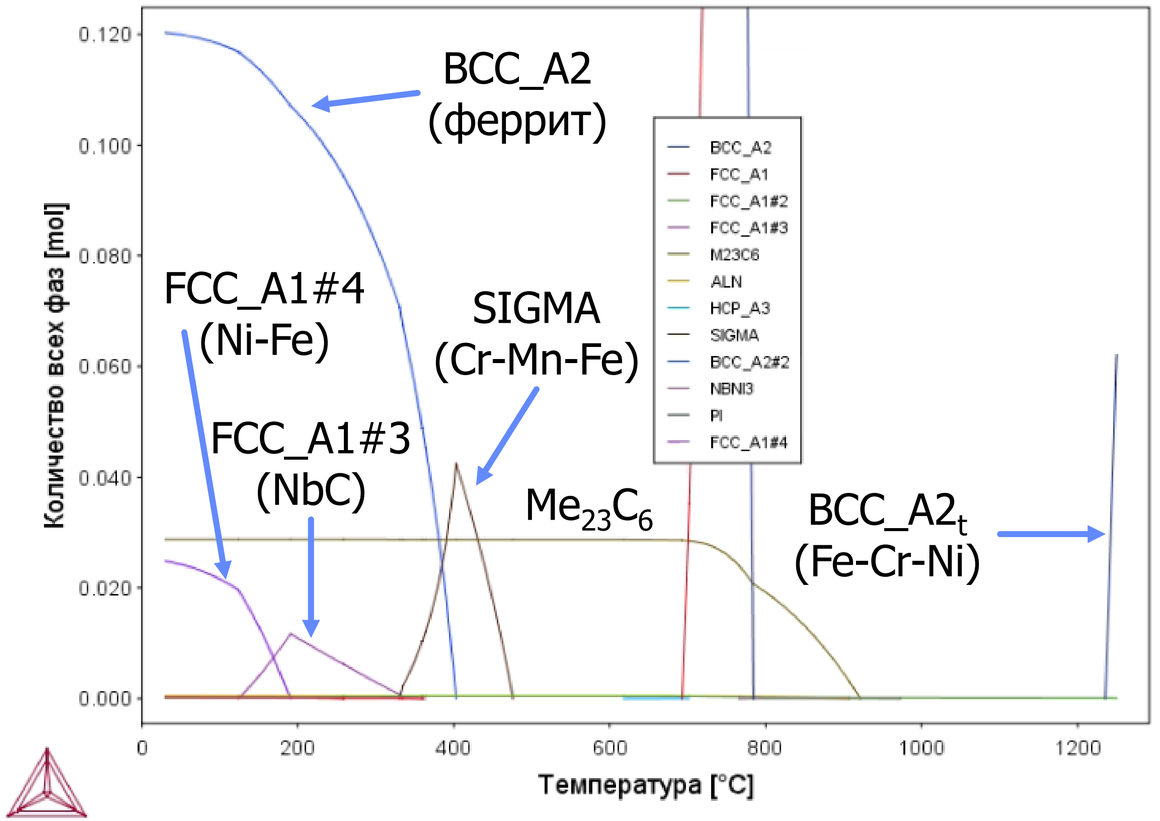
Содержание хрома: не более 16-20%

Остальные легирующие элементы: не более 15%

ТП-3

Термодинамическое моделирование процессов в Thermo-Calc

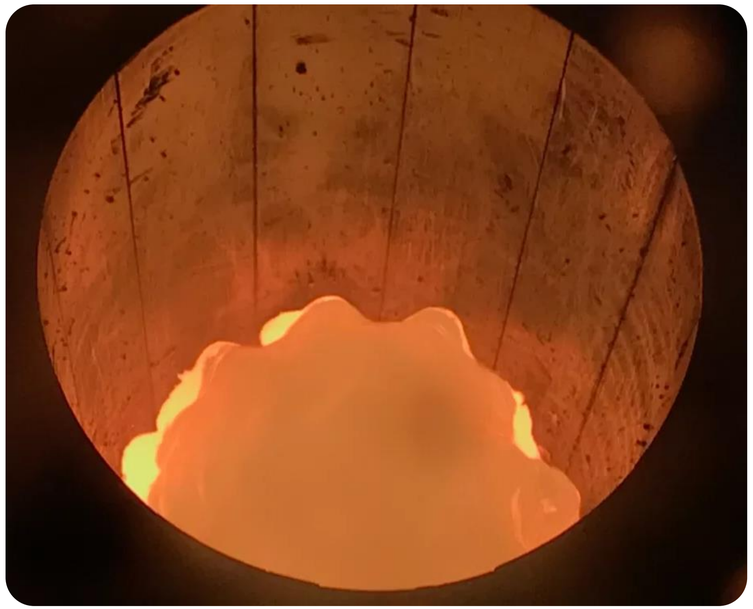


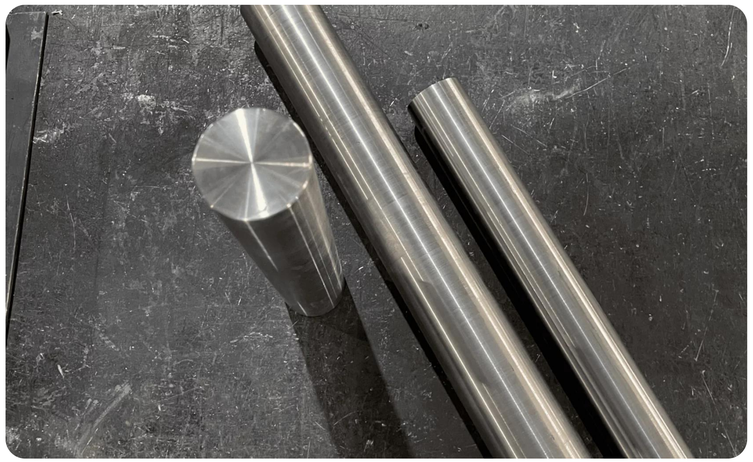


Пример расчета термодинамического моделирования для стали 15Х13Н2

Выплавка









Физическое моделирование



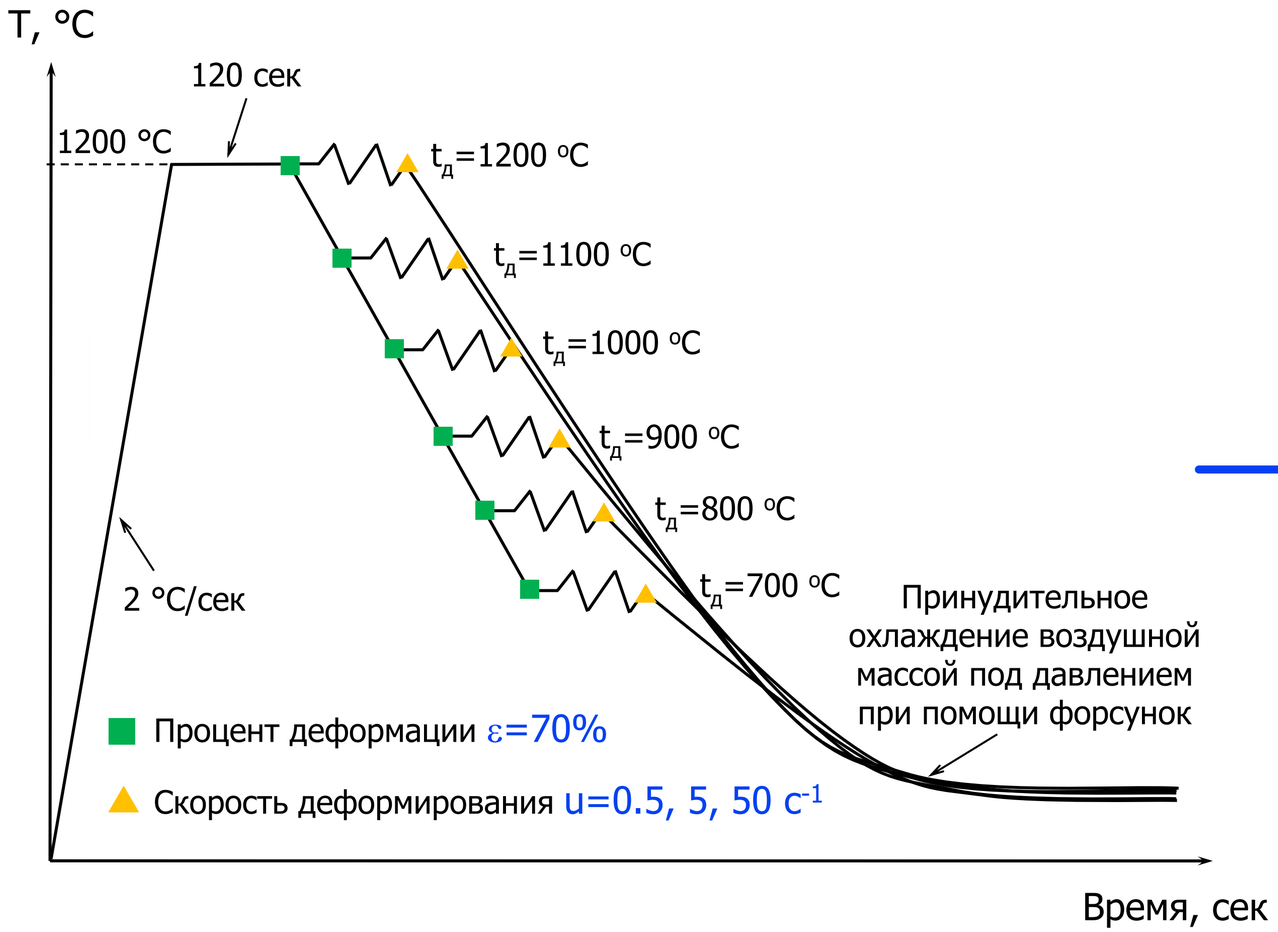


Установка Gleeble-3800

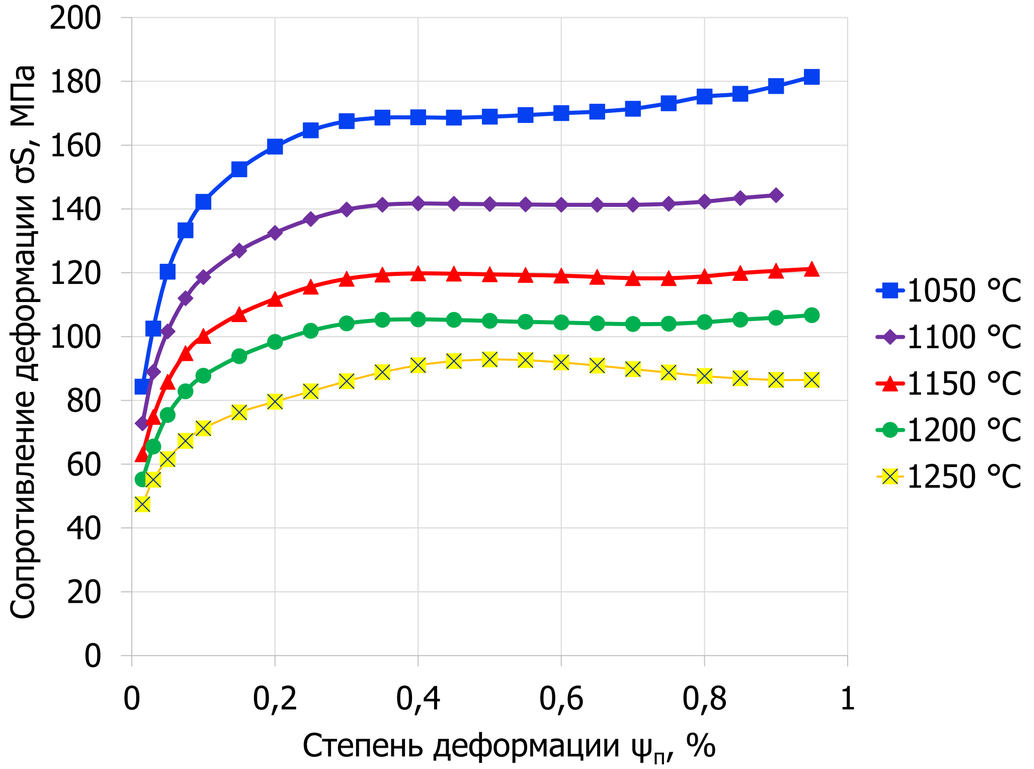


Виды образцов

Физическое моделирование

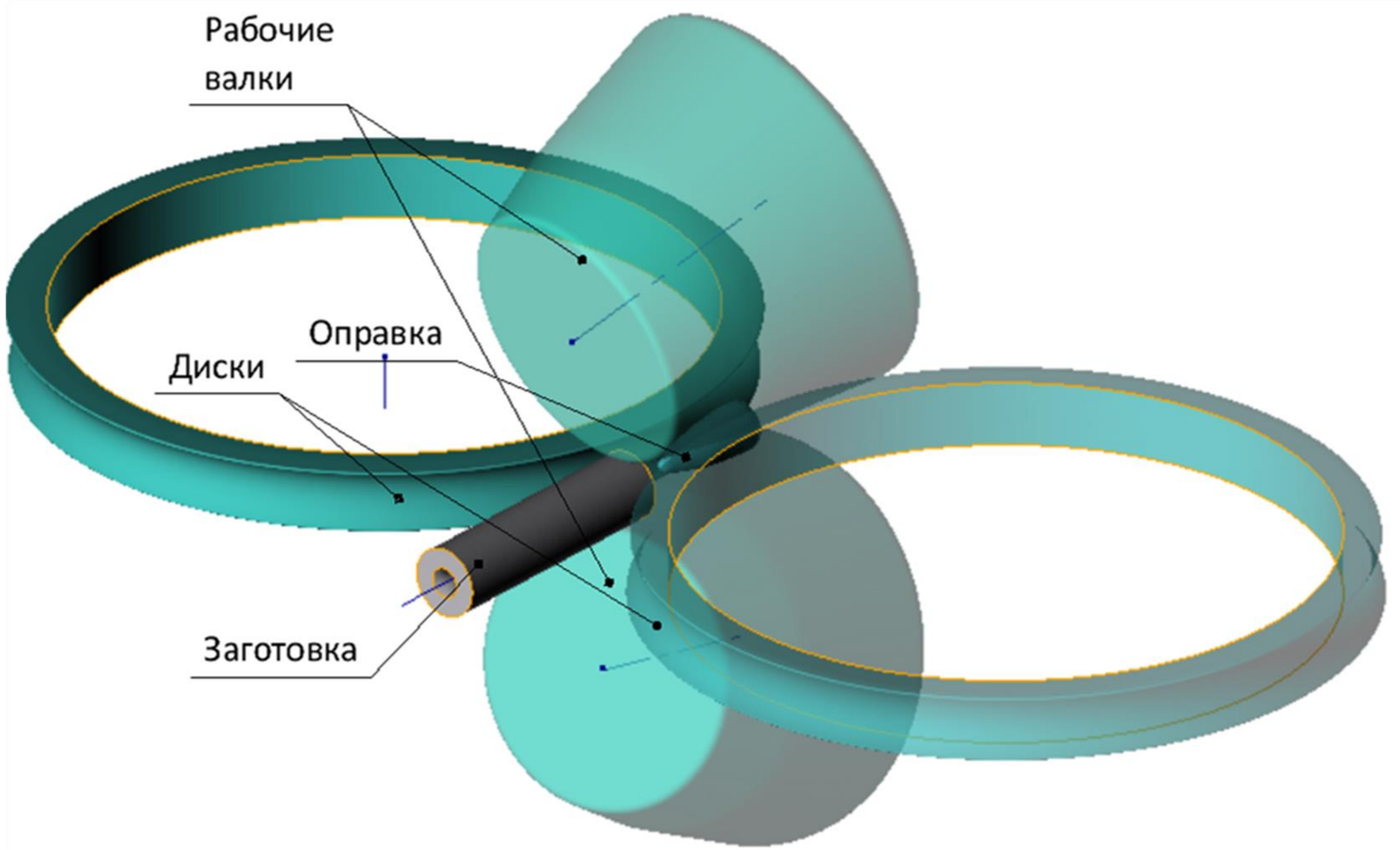


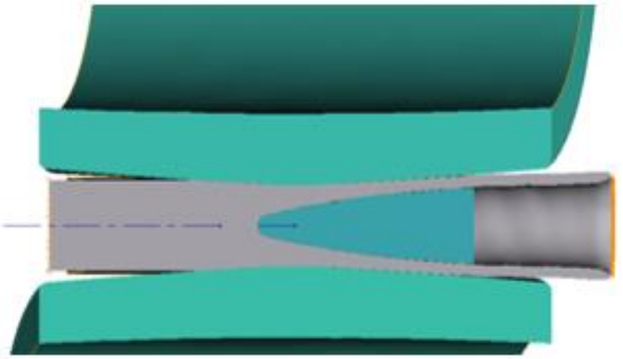
Температурно-деформационный режим на установке Gleeble 3800

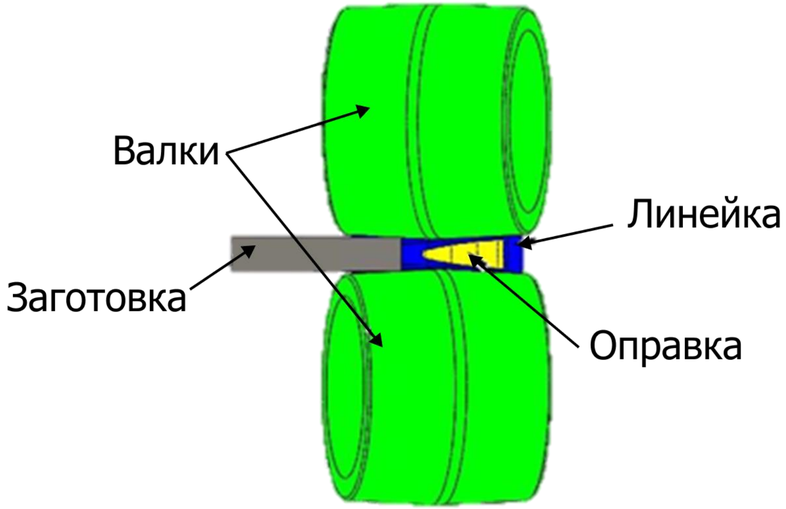


Зависимость сопротивления деформации от температуры и степени деформации при скорости деформации 5 $сек^{-1}$ на установке Gleeble 3800, сталь 10ХБ

Компьютерное моделирование процесса прошивки







Компьютерное моделирование процесса горячей винтовой прошивки заготовок в программе QForm

Компьютерное моделирование процесса прошивки

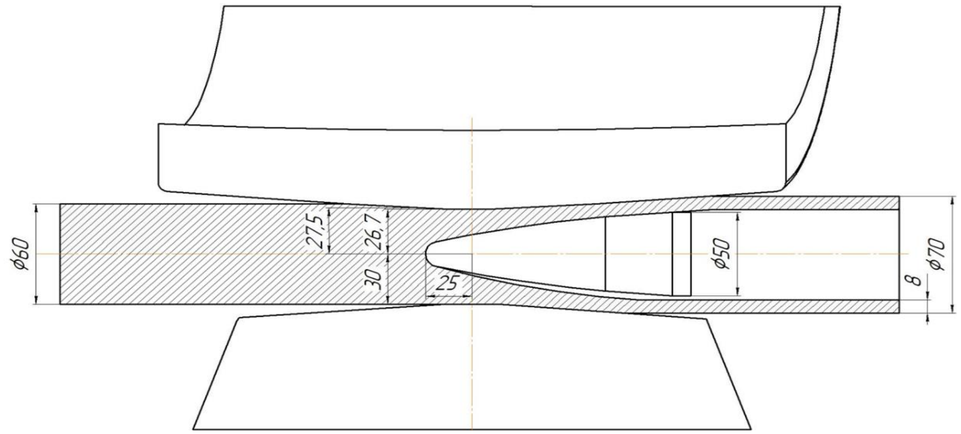
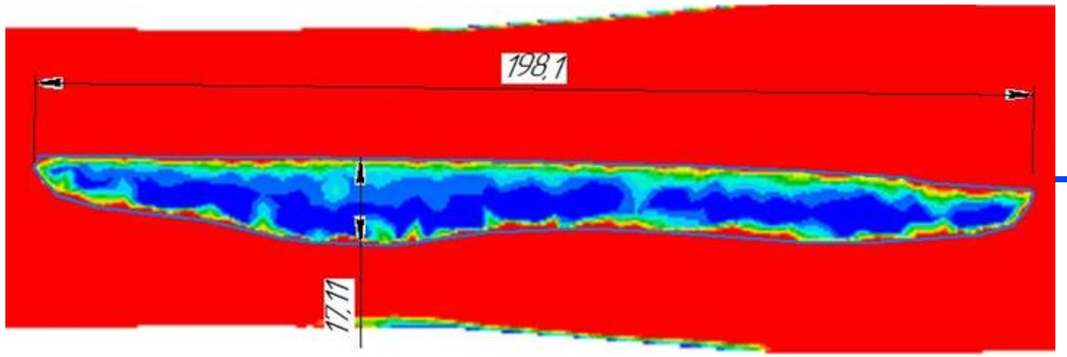


Схема очага деформации



Пятно контакта $S_{пятна}$ = 2572 мм^2 гильзы по результатам 3Д-моделирования в программе QForm



Гильза на выходе из очага деформации



Пятно контакта $S_{пятна}$ = 2720 мм^2 гильзы в результате опытной прошивки на стане «МИСиС 130Д»

Опытные прошивки трубных заготовок



Прошивка на стане «МИСиС 130Д»





Внешний вид черновых гильз после горячей винтовой прошивки

Схема получения исследуемых образцов

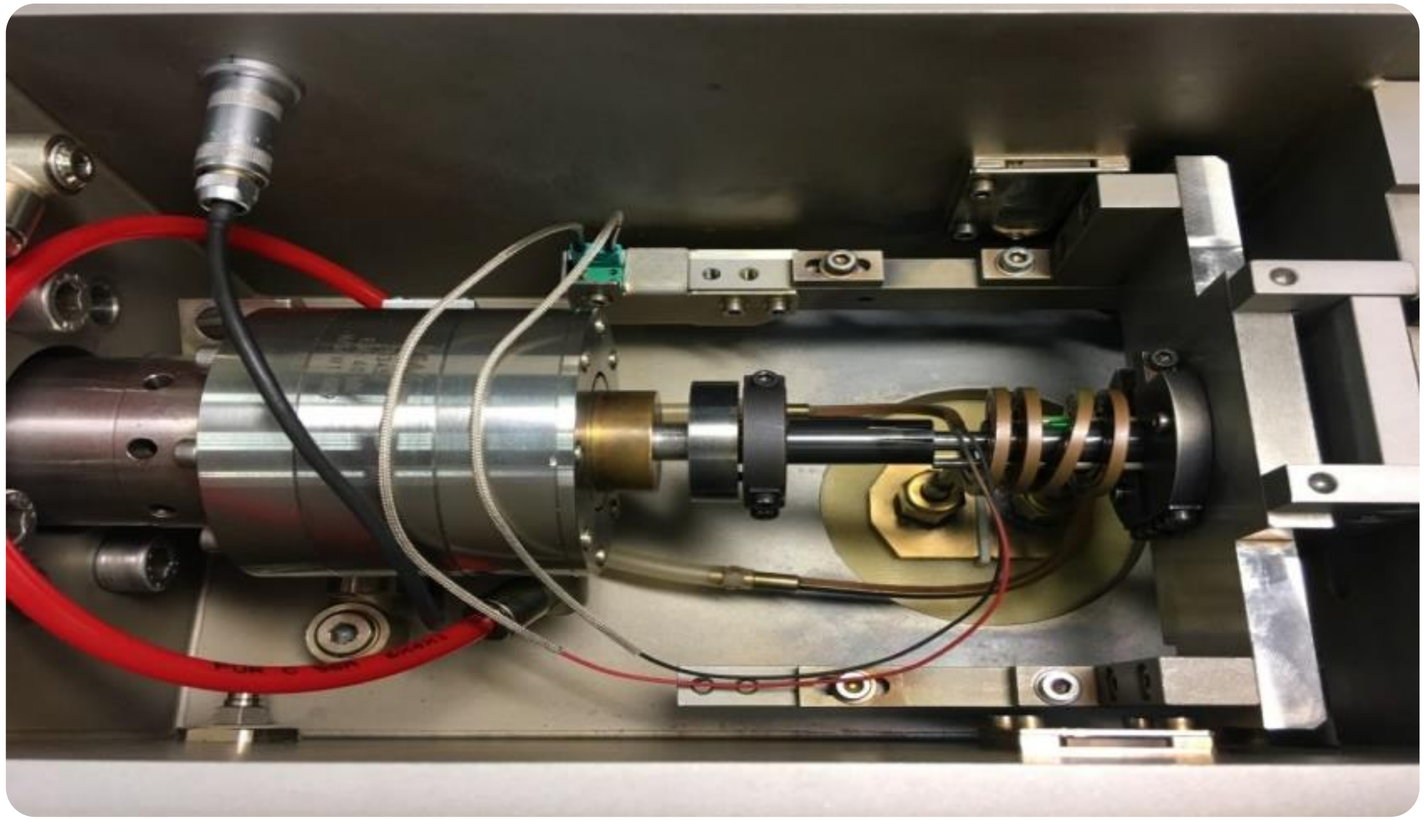
01 Нагрев исходных заготовок перед прошивкой

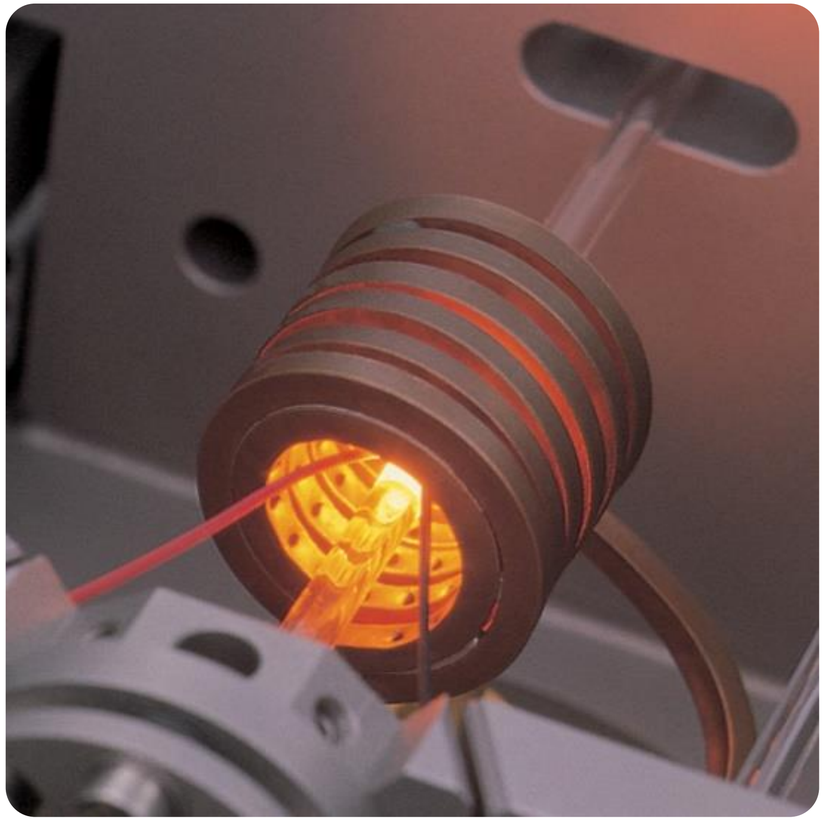
02 Зацентровка исходных заготовок перед черновой прошивкой

03 Прошивка гильз в черновую трубу промежуточных размеров

04 Окончательное формирование диаметра и толщины стенки трубы

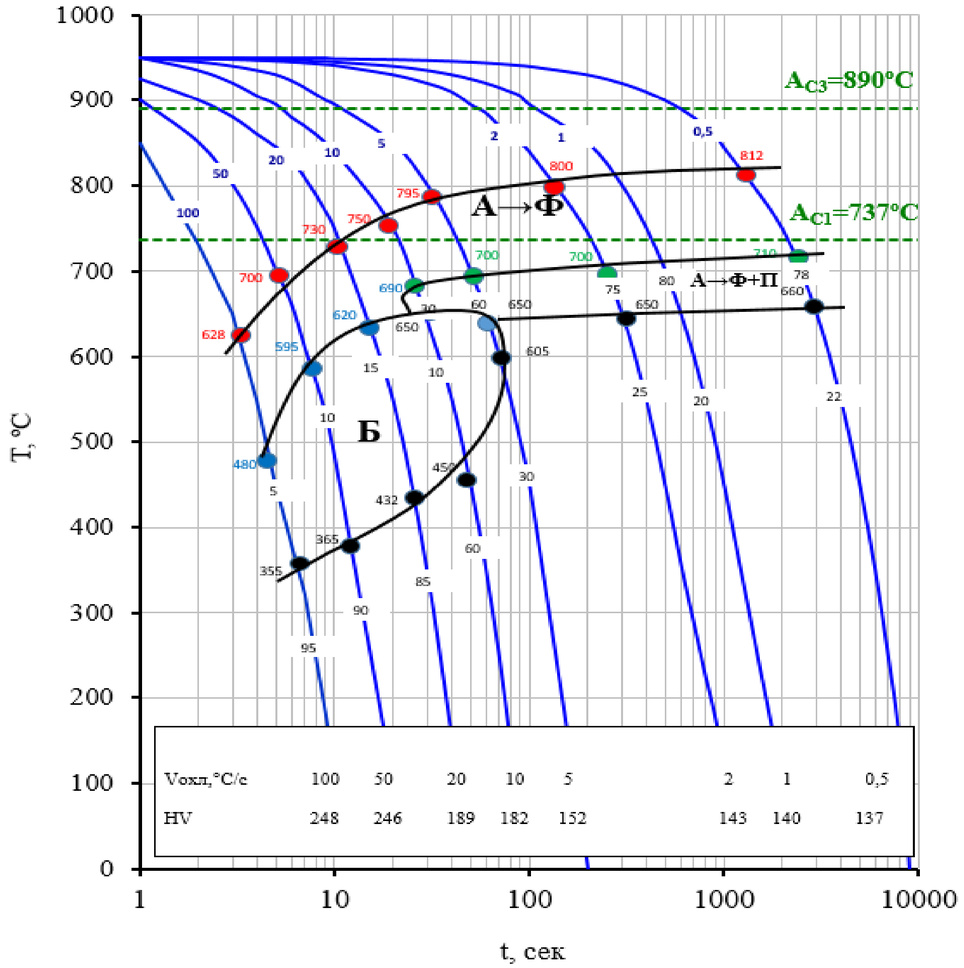
Физическое моделирование



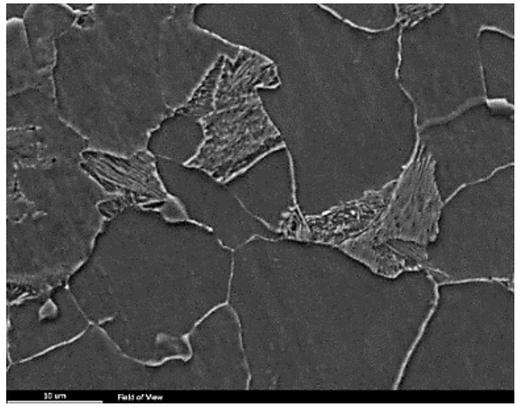


Закалочный деформационный дилатометр Netzsch Dil 420 C

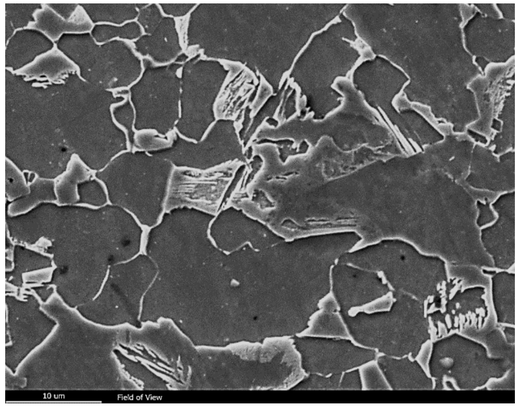
Построение ТКД распада аустенита при непрерывном охлаждении



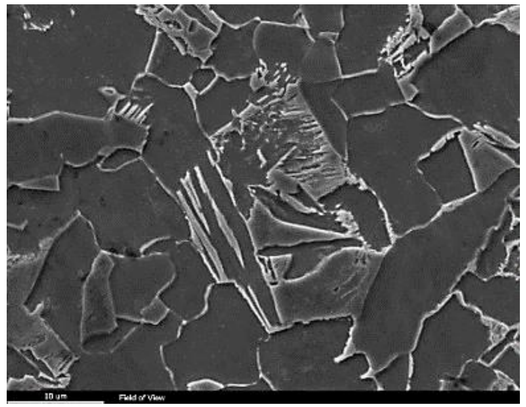
Термокинетическая диаграмма распада аустенита для стали 15ХФ



а)



б)



в)



г)

Изображения микроструктуры стали при различных скоростях охлаждения при дилатометрическом исследовании, увеличение х5000
а – 0,5 °С/сек; б – 5 °С/сек; в – 20 °С/сек; г – 100 °С/сек;

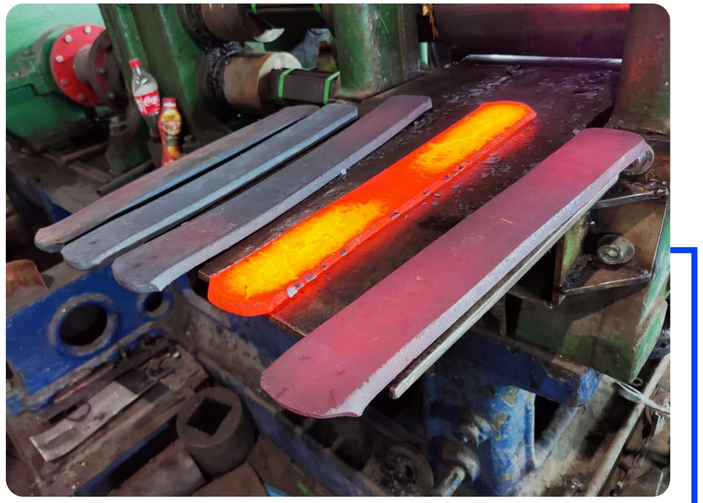
Опытная раскатка



Нагревательная печь



Универсальный прокатный стан ДУО-210



Образцы после прокатки



Образцы после прокатки

Финальная стадия подготовки темплетов для исследований – проведение ТО (закалка + отпуск)

Результаты работ

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ



Разработаны требования к заготовке и составлено Техническое соглашение



Закуплена деформированная заготовка

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ, ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

Разработка и внедрение комплексных технологий производства бесшовных труб из сталей нового поколения с управляемой коррозионной стойкостью при осложненных условиях эксплуатации для топливно-энергетического комплекса Российской Федерации

по теме:

РАЗРАБОТКА ТРЕБОВАНИЙ К ЗАГОТОВКЕ ДЛЯ ОПЫТНОЙ ПРОКАТКИ ПО ТП-1 ДЛЯ СТАЛЕЙ С СОДЕРЖАНИЕМ ХРОМА МЕНЕЕ 1 %

(промежуточный, этап 2)

Сравнение лабораторных и промышленных результатов

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

Образец	Массовая доля элементов, %												
	C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Cr	Nb	V	Ti	Al	N
	не более или в пределах												
10ХБ (МИСИС)	0,07	0,25	0,92	0,004	0,006	0,09	0,02	**0,64**	0,031	0,002	0,011	0,014	0,007
10ХБ (Выксунский завод ОМК)*	0,10	0,26	0,84	0,003	0,006	0,02	0,03	**0,64**	0,028	0,003	0,012	0,027	0,004

Образец	Вид ТО			Предел текучести σ_T, МПа	Предел прочности σ_B, МПа	Относительное удлинение δ, %	Ударная вязкость KCV^{-60}, Дж/см^2	Твердость, HV
	Режим закалки		Температура отпуска, °С					
	Температура, °С	среда						
10ХБ (МИСИС)	910	вода	550	476	**587**	21,4	476	202
			600	449	**554**	20,5	449	180
10ХБ (Выксунский завод ОМК)*	910	вода	550	520	**590**	24,0	277	202
			600	480	**550**	24,0	253	193

*труба 114х8 мм

Механические свойства новых марок сталей с содержанием хрома 1-9%

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

№ п/п	Вид ТО			Предел текучести σ_T, МПа	Предел прочности σ_B, МПа	Относительное удлинение δ, %	Ударная вязкость KCV^{-60}, Дж/см^2	Твердость, HV	**Класс прочности**
	Режим закалки		Температура отпуска, °С						
	Температура, °С	среда							
08Х1Г	910	вода	700	545	615	21	311	213	**К56**
12Х1Т	910		650	504	591	20	297	200	**К56**
26Х1МФБА	880		750	637	738	21	267	248	**L80**
08Х2М	910		650	609	679	19	285	241	**L80**
08Х2Г	910		650	581	656	18	271	243	**L80**
08Х3М	910		700	558	636	20	295	229	**К60**
08Х5Г	910	воздух	650	505	632	20	204	236	**К60**
10Х9МНФБ	1050	воздух	750	590	718	18	107	243	**L80**
Класс прочности К56				410 – 528	550 – 668	более 20	–	–	
Класс прочности К60				460 – 578	590 – 708	более 20	–	–	
Класс прочности L80				552 – 655	более 655	более 11	–	–	

МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

Спасибо за внимание!

Работа была выполнена в рамках комплексного проекта по теме «Разработка и внедрение комплексных технологий производства бесшовных труб из сталей нового поколения с управляемой коррозионной стойкостью при осложненных условиях эксплуатации для топливно-энергетического комплекса Российской Федерации» в рамках Соглашения №075-11-2023-011 от 10.02.2023 г. по постановлению Правительства РФ №218 от 09.04.2010 г.

Выражаю благодарность сотрудникам коллектива:
ИТЦ Выксунского завода ОМК,
кафедре ОМД НИТУ МИСИС,
а также НИЛ «ГНМ» НИТУ МИСИС