МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Оценка коррозии различных классов прочности на примере трубной стали 08Х1ГБФ

Ющук Вячеслав Васильевич

Аспирант 4 года обучения кафедры МиФП (НИТУ МИСИС)

Научный руководитель, к.т.н., доцент, заведующий НИЛ «ГНМ»

Комиссаров Александр Александрович

Место проведения: г. Самара (ИТ-Сервис)

Дата проведения: 03-04.09.2025 г.

Актуальность работы



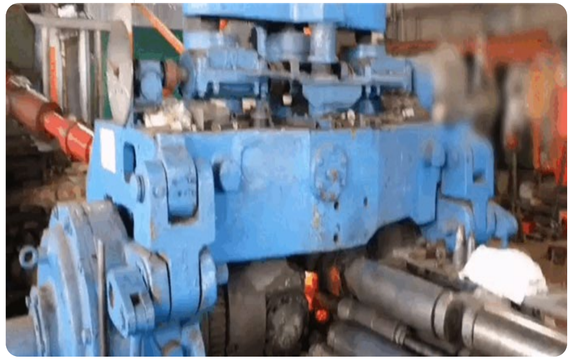


Коррозионное разрушение нефтегазопроводных и нарезных труб

Химический состав стали и технология производства

Химический состав лабораторной стали, массовая доля, %

Обозначение	Марка стали	C	Si	Mn	Легирующая система
Э1	08Х1ГБФ	0,08	0,23	0,72	Mn+Nb+V = 0,81



Процесс горячей винтовой прошивки на стане «МИСИС 130Д»



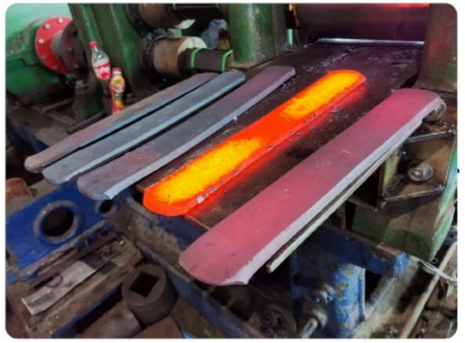
После горячей винтовой прошивки гильзы остывали на воздухе, а затем разрезались на сегменты



Нагревательная печь

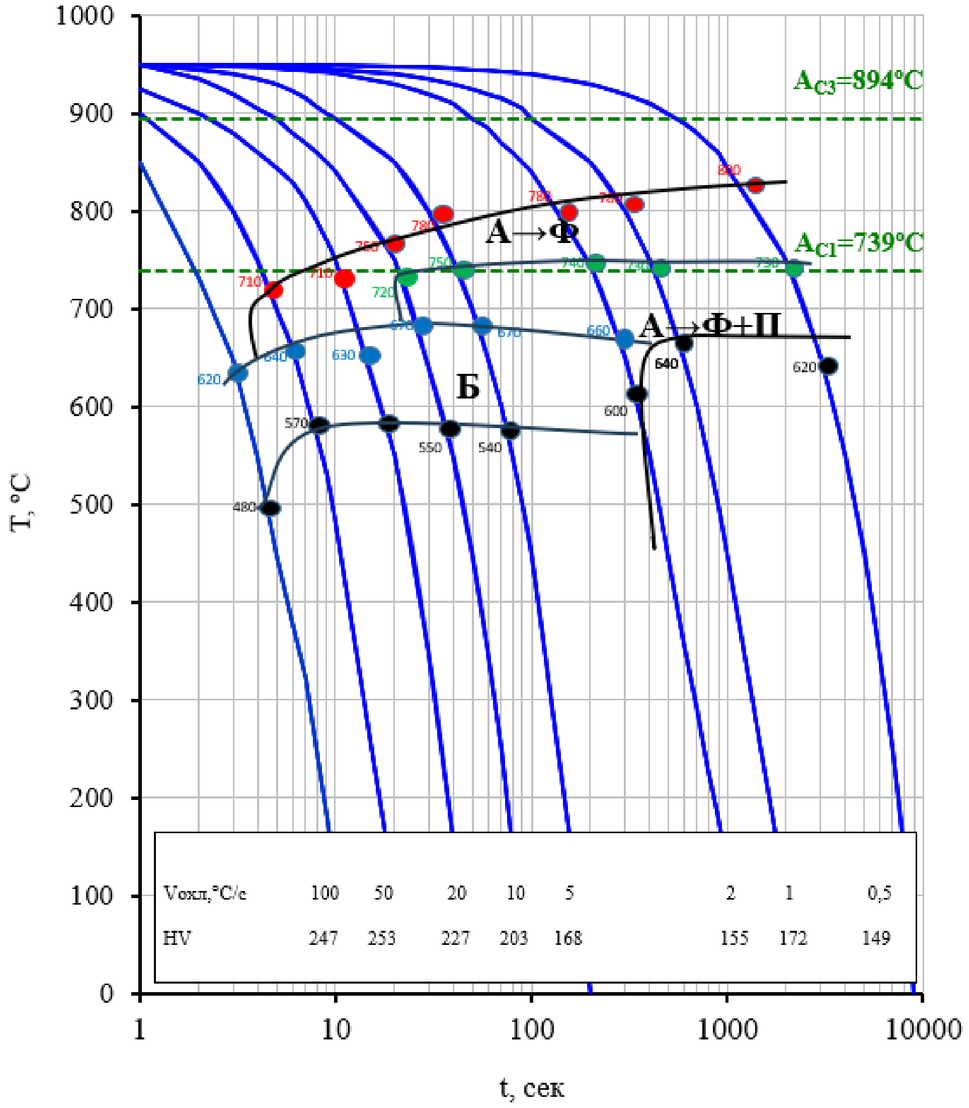


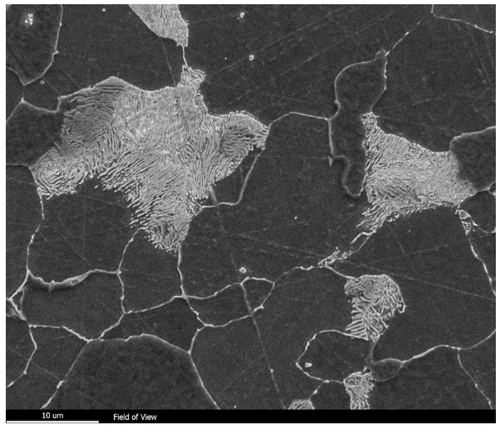
Универсальный стан продольной прокатки «ДУО-210»



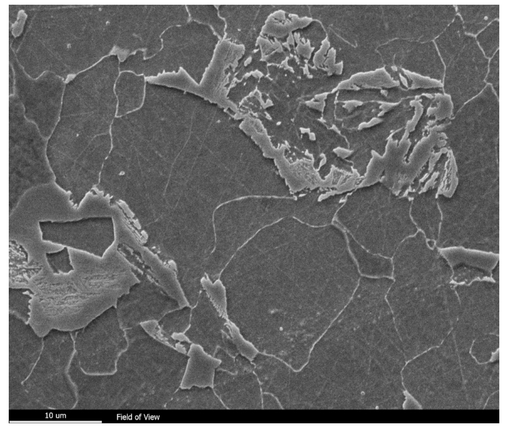
Образцы после прокатки

Внешний вид термокинетической диаграммы стали Э1 при непрерывном охлаждении

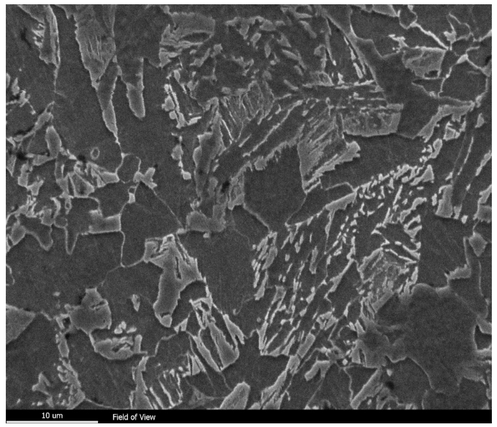




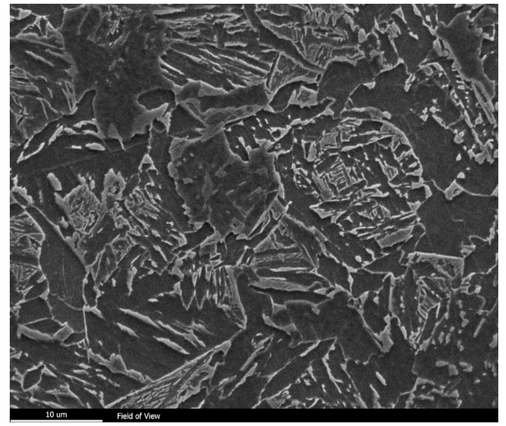
а)



б)



в)



г)

а – 0,5 °C/сек; б – 5 °C/сек; в – 20 °C/сек; г – 100 °C/сек;

Изображения микроструктуры стали Э1 при различных скоростях охлаждения при дилатометрическом исследовании, увеличение х5000

Результаты механических испытаний после различных режимов термической обработки

МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

Механические свойства стали после термической обработки

Образец	Вид ТО			*Предел текучести $\sigma_т$, МПа	*Предел прочности $\sigma_в$, МПа	*Относительное удлинение δ, %	*Ударная вязкость KCV^{-60}, Дж/см^2	*Микротвердость, HV
	Режим закалки		Температура отпуска, °С					
	Температура, °С	среда						
Э1 (A_{C3} = 894 °С, A_{C1} = 739 °С)	910	вода	550 (L80)	644	733	16	236	248
			600 (K60)	611	696	18	244	241
			650 (K60)	499	600	20	307	225
Нормируемые значения для классов прочности			K60	460-578	590-708	≥20	-	≤250**
			L80	552-655	≥655	≥11	-	≤255***

Примечание: *минимальное получаемое значение, **Требования ПАО «Газпром», ***Требования НК «Роснефть»

Методика коррозионных испытаний в многокомпонентной среде



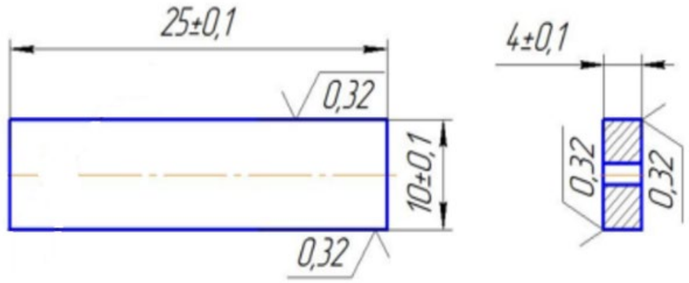




Установка для проведения коррозионных испытаний в многокомпонентной среде, содержащей CO_2 и H_2S

Параметры проведения коррозионных испытаний

Время испытания: 240 ч.
Среда испытания: CO_2 и H_2S
Давление газа: 0,5/0,5 атм.; 0,9/0,1 атм.
$T_{исп}$: 50 °C
Модельные растворы: 5, 25%-ый раствор NaCl дистиллированной воды, насыщенный газовой баллонной смесью CO_2 и H_2S



Геометрические характеристики образцов

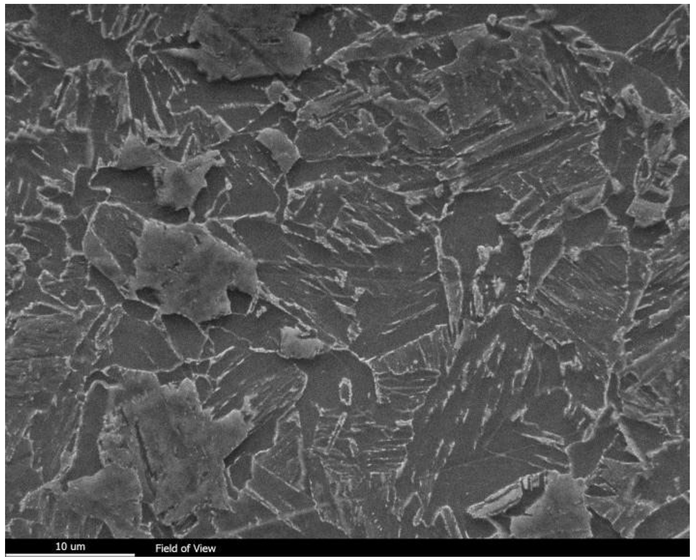
Результаты коррозионных испытаний в многокомпонентной среде

МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

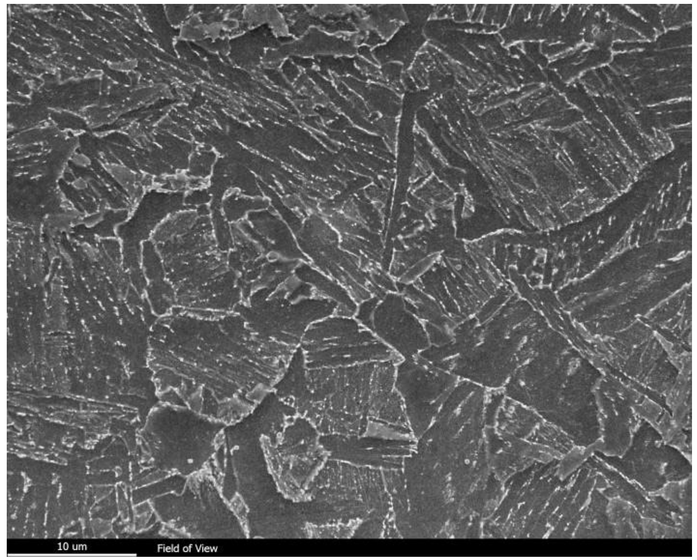
Результаты коррозионных испытаний стали Э1 после различных режимов термической обработки

Режим термической обработки	Условия испытания	Скорость коррозии, мм/год	Параметры среды	
			T, °C	pH
закалка + отпуск 550	5%NaCl Рпарц. CO_2 0,5 атм. + Рпарц. H_2S 0,5 атм.	0,16	50	4,23-4,76
закалка + отпуск 600		0,18		
закалка + отпуск 650		0,17		
закалка + отпуск 550	25%NaCl Рпарц. CO_2 0,5 атм. + Рпарц. H_2S 0,5 атм.	0,06	50	4,61-4,53
закалка + отпуск 600		0,05		
закалка + отпуск 650		0,06		
закалка + отпуск 550	5%NaCl Рпарц. CO_2 0,9 атм. + Рпарц. H_2S 0,1 атм.	0,30	50	3,85-5,08
закалка + отпуск 600		0,29		
закалка + отпуск 650		0,30		
закалка + отпуск 550	25%NaCl Рпарц. CO_2 0,9 атм. + Рпарц. H_2S 0,1 атм.	0,11	50	4,03-4,81
закалка + отпуск 600		0,11		
закалка + отпуск 650		0,12		

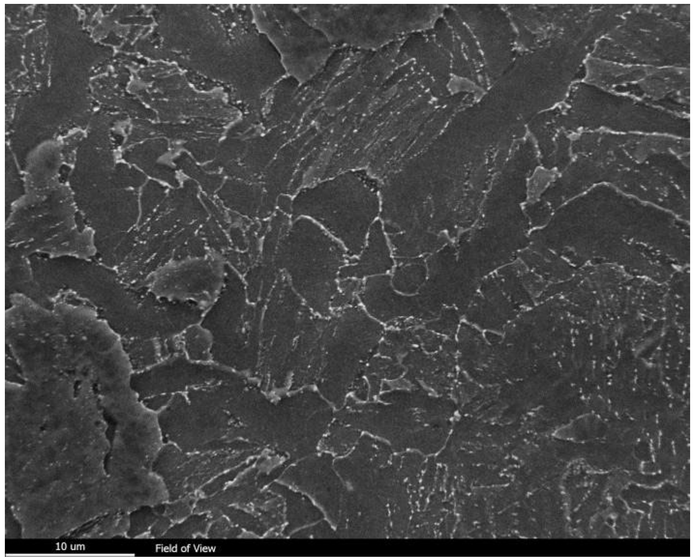
Микроструктура сталей после различных режимов термической обработки



Отпуск 550 °С



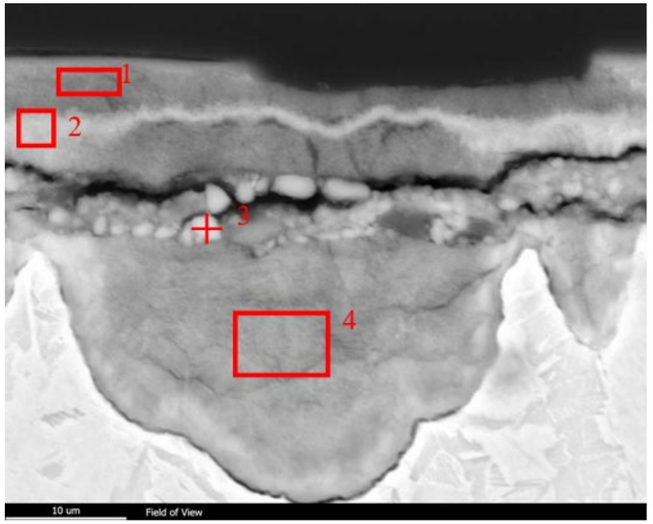
Отпуск 600 °С



Отпуск 650 °С

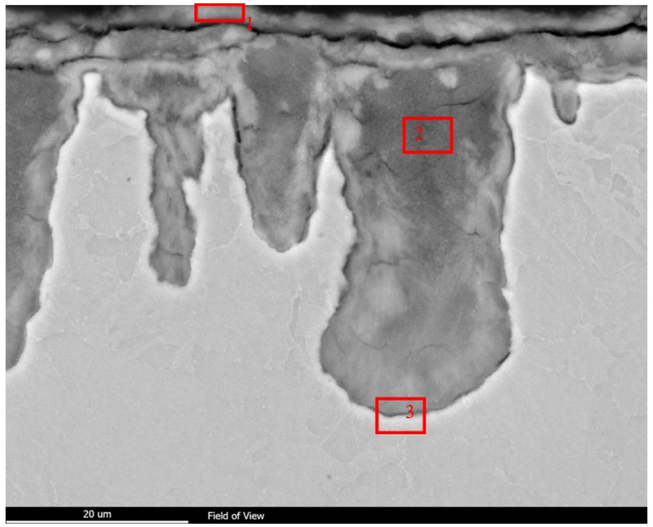
Изображение микроструктур после закалки и отпуска при различных температурах, увеличение x5000

Анализ продуктов коррозии после испытаний в многокомпонентной среде CO_2+H_2S



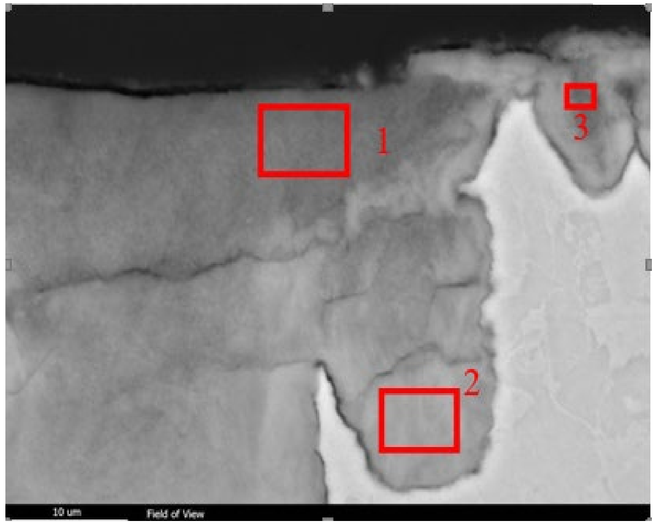
№ п/п	C	O	S	Cr	Mn	Fe
1	21,84	3,68	17,06	3,60	-	53,92
2	6,38	2,68	22,53	2,71	-	65,70
3	5,95	3,96	22,50	2,81	0,47	64,31
4	4,06	2,64	23,00	2,23	-	68,07

Отпуск 550 °C



№ п/п	C	O	S	Cl	Cr	Fe
1	40,39	02,33	14,88	01,01	00,51	40,88
2	06,06	01,97	20,49	-	04,10	67,38
3	01,89	02,11	23,45	-	01,98	70,57

Отпуск 600 °C

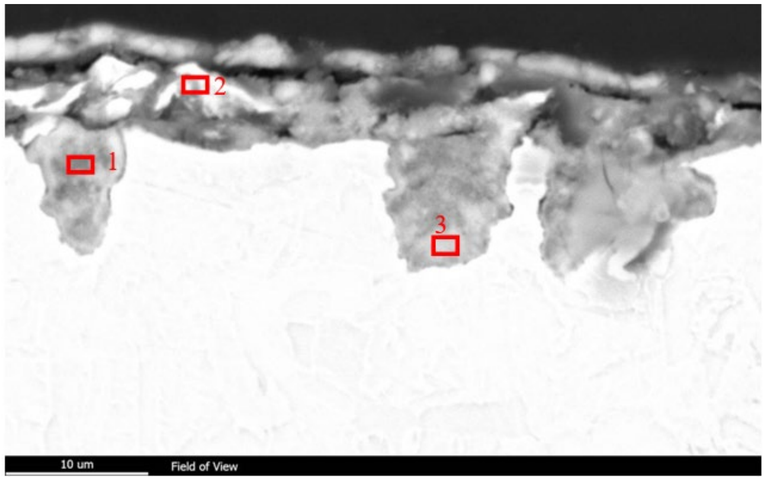


№ п/п	C	O	S	K	Cr	Mn	Fe
1	17,25	03,38	18,90	00,69	03,86	00,30	55,63
2	01,73	02,32	24,06	-	01,93	-	69,95
3	10,31	02,19	21,25	00,91	02,71	00,27	62,35

Отпуск 650 °C

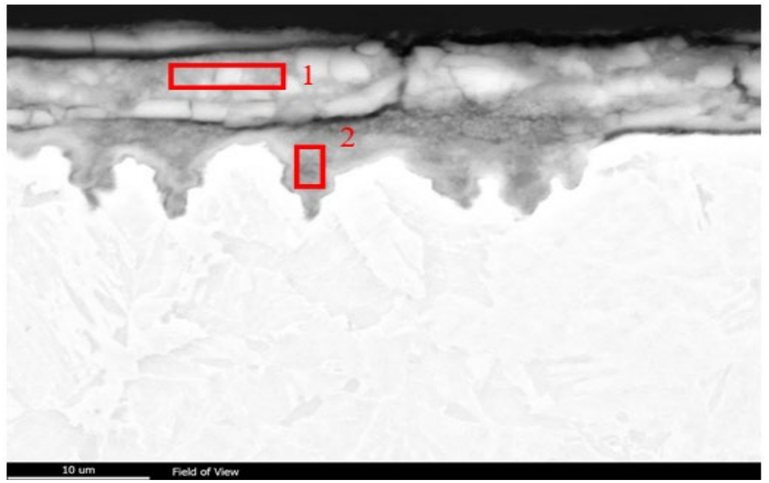
Многокомпонентная среда - 5% NaCl, Рпарц. CO_2 0,5 атм. + Рпарц. H_2S 0,5 атм.

Анализ продуктов коррозии после испытаний в многокомпонентной среде CO_2+H_2S



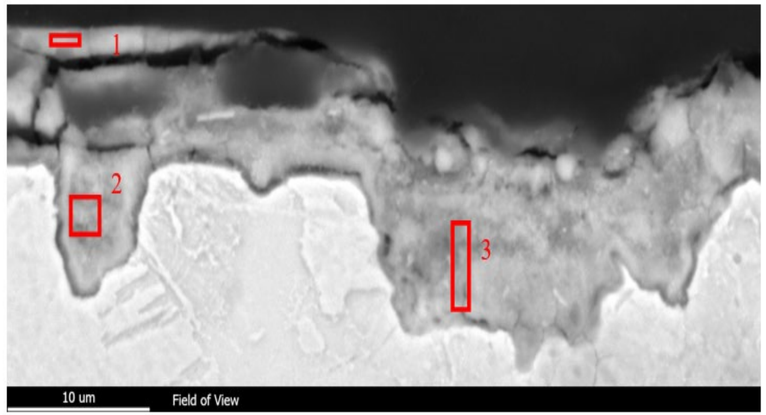
№ п/п	C	O	Si	S	Cr	Mn	Fe
1	9,88	7,61	-	26,28	1,09	-	55,14
2	8,97	4,85	0,31	3,88	1,32	0,71	79,97
3	4,73	6,00	-	25,54	1,04	0,4	62,29

Отпуск 550 °C



№ п/п	C	O	S	Cr	Fe
1	10,86	4,12	21,96	2,16	60,89
2	2,42	1,91	19,06	1,21	75,40

Отпуск 600 °C

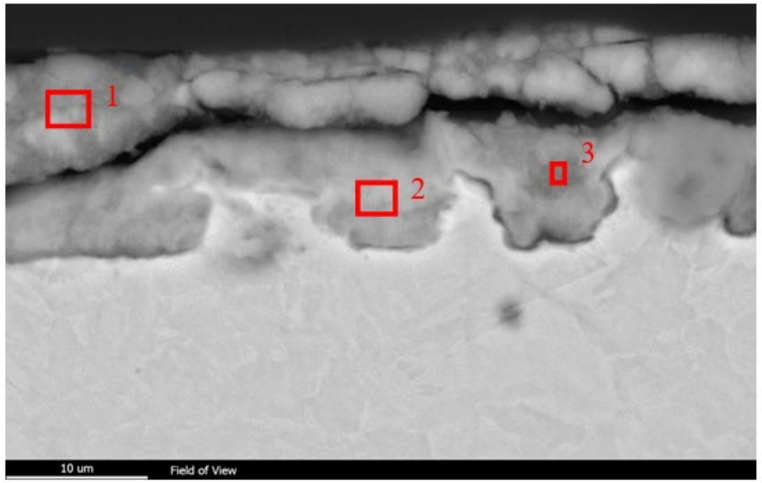


№ п/п	C	O	Si	S	Cr	Fe
1	47,30	6,76	-	15,21	1,09	29,63
2	8,53	7,58	-	28,69	1,15	54,06
3	13,63	8,97	0,53	19,50	1,08	56,29

Отпуск 650 °C

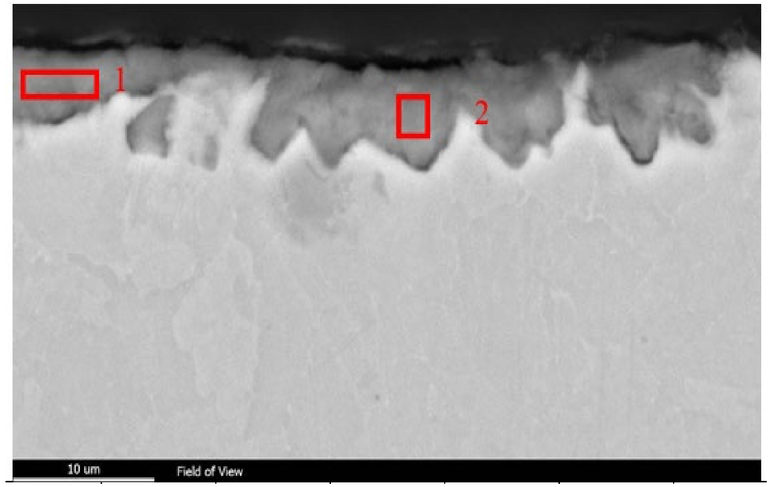
Многокомпонентная среда - 25% NaCl, Рпарц. CO_2 0,5 атм. + Рпарц. H_2S 0,5 атм.

Анализ продуктов коррозии после испытаний в многокомпонентной среде CO_2+H_2S



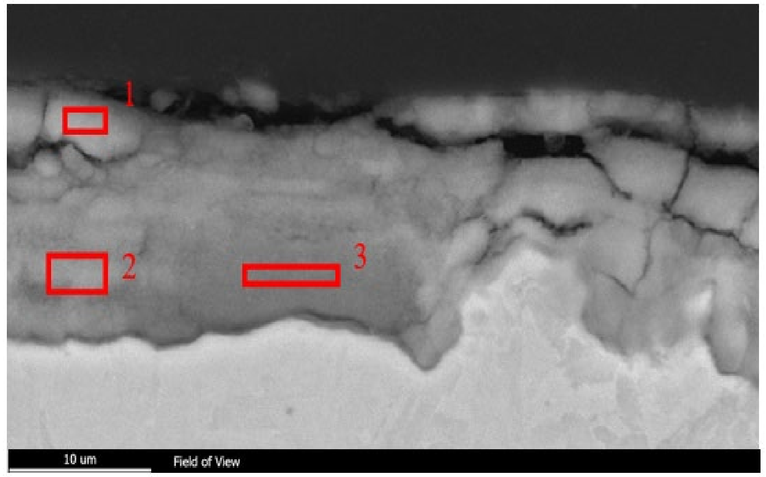
№ п/п	C	O	S	Cr	Mn	Fe
1	17,37	2,85	19,04	2,32	0,29	58,13
2	4,66	2,30	18,83	1,84	0,55	71,82
3	5,16	2,77	22,72	2,07	-	67,28

Отпуск 550 °C



№ п/п	C	O	S	Cr	Mn	Fe
1	24,09	2,71	15,96	1,88	0,26	55,10
2	19,63	2,40	14,31	1,96	0,28	61,42

Отпуск 600 °C

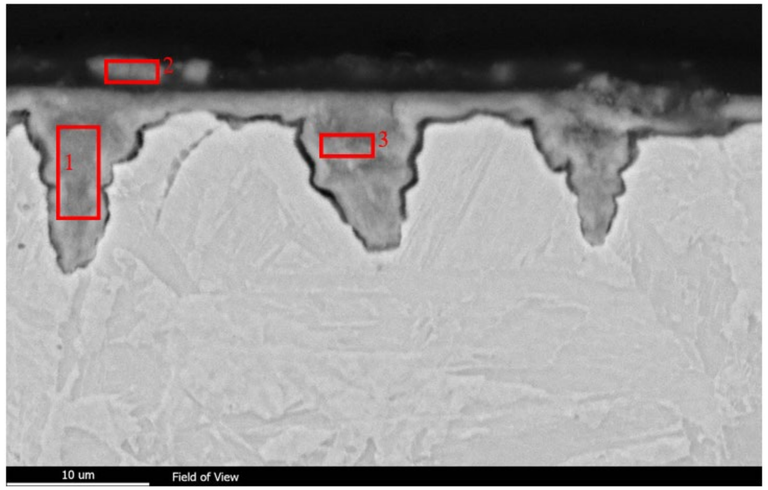


№ п/п	C	O	S	K	Cr	Mn	Fe
1	9,47	3,24	21,60	-	3,12	0,46	62,12
2	2,85	3,53	15,41	0,55	2,01	-	75,67
3	1,94	-	1,01	-	1,33	0,98	94,75

Отпуск 650 °C

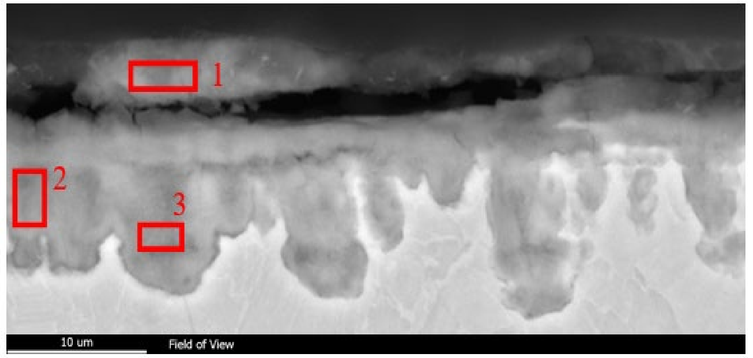
Многокомпонентная среда - 5% NaCl, Рпарц. CO_2 0,9 атм. + Рпарц. H_2S 0,1 атм.

Анализ продуктов коррозии после испытаний в многокомпонентной среде CO_2+H_2S



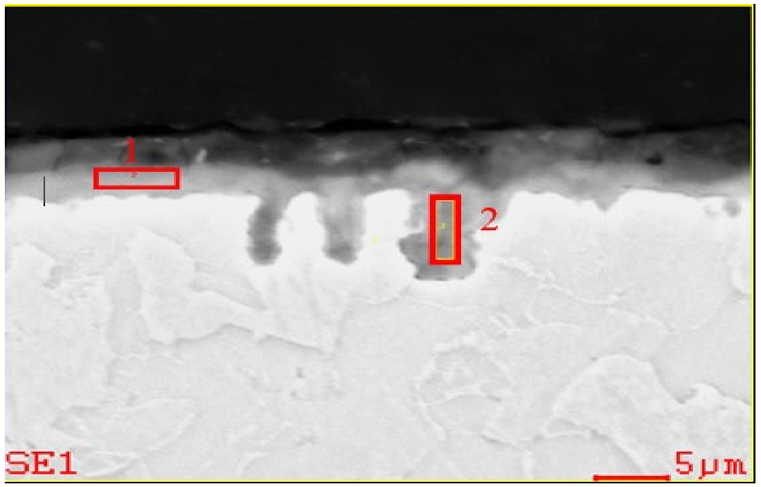
№ п/п	C	O	Na	S	Cl	K	Cr	Mn	Fe
1	10,66	06,83	01,55	28,29	-	00,81	02,17	-	49,69
2	69,23	22,79	-	02,86	00,67	-	-	-	04,45
3	06,28	06,45	-	29,03	-	-	02,09	-	56,15

Отпуск 550 °C



№ п/п	C	O	S	Cr	Mn	Fe
1	14,46	6,71	12,69	11,24	0,42	64,48
2	5,44	3,89	18,64	1,75	0,35	69,93
3	4,07	3,37	18,27	2,27	0,38	71,65

Отпуск 600 °C



№ п/п	C	O	S	Cr	Mn	Fe
1	12,23	5,68	16,53	1,24	0,59	63,73
2	5,48	2,87	18,34	1,67	0,61	71,03

Отпуск 650 °C

Многокомпонентная среда - 25% NaCl, Рпарц. CO_2 0,9 атм. + Рпарц. H_2S 0,1 атм.

Промышленное внедрение







Технологическая линия индустриального партнера по производству бесшовной трубы из стали Э1 диаметром 114 мм и толщиной стенки 8 мм

Механические свойства бесшовной горячекатаной трубы Э1 (НИТУ МИСИС и индустриальный партнер)

№ п/п	Вид ТО			Предел текучести $\sigma_т$, МПа	Предел прочности $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %	Ударная вязкость KCV^{-60}, Дж/см^2	Твердость, HV
	Режим закалки		Температура отпуска, °С					
	Температура, °С	среда						
Э1 (НИТУ МИСИС)	910	вода	720	488	570	21	326	186
Э1 (индустриальный партнер)	910	Вода	720	476	587	30	358	184
Класс прочности К56				355 – 473	510 – 630	более 20	-	–

Выводы

1. При проведении анализа основных нормативных документов ведущих нефтегазовых компаний Российской Федерации и аналитического литературного был сформирован перспективный химический состав с содержанием хрома 1 % с дополнительным легированием сильными карбидообразующими элементами, которые были изготовлены с применением технологического лабораторного оборудования – прошивного стана МИСИС-130Д и стана продольной прокатки ДУО-210 на площадке НИТУ МИСИС.

2. Для исследуемой стали предложены режимы термической обработки, которые позволяют получить различные классы прочности для изготовления бесшовных нефтегазопроводных и нарезных труб.

3. Ведущим механизмом коррозии в средах, содержащих CO_2 и H_2S одновременно является равномерная сульфидная коррозия, в результате которой на поверхности образца формируется защитная сульфидная пленка, снижающая скорость коррозии. Малые добавки H_2S в модельную среду подавляют процесс углекислотной коррозии.

4. Повышение минерализации модельной среды с 5% до 25% NaCl привело к резкому падению скорости коррозии для всех исследуемых условий.

5. Скорость общей коррозии в сложных CO_2 и H_2S-содержащих многокомпонентных средах практически не зависит от температурного режима отпуска объемной термической обработки.

6. На основании сформированных металловедческих и технологических концепций в НИТУ МИСИС на производственной площадке индустриального партнера была изготовлена бесшовная нефтегазопроводная труба 114х8 мм – на этом основании можно сделать вывод о том, что лабораторный комплекс технологического оборудования НИТУ МИСИС позволяет обеспечить высокую сходимость разрабатываемых технологий изготовления бесшовных труб с промышленными условиями.

МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

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.