МИСИС УНИВЕРСИТЕТ

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ

НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

Исследование локальной и общей коррозии сталей с различным содержанием хрома

Дмитрий Кудашов
К.т.н., директор филиала МИСИС

Место проведения: ИТ-Сервис, г. Самара

Дата проведения: 2-4 сентября 2024 г.

Методика проведения испытаний

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

Типичный вид образцов для испытаний:

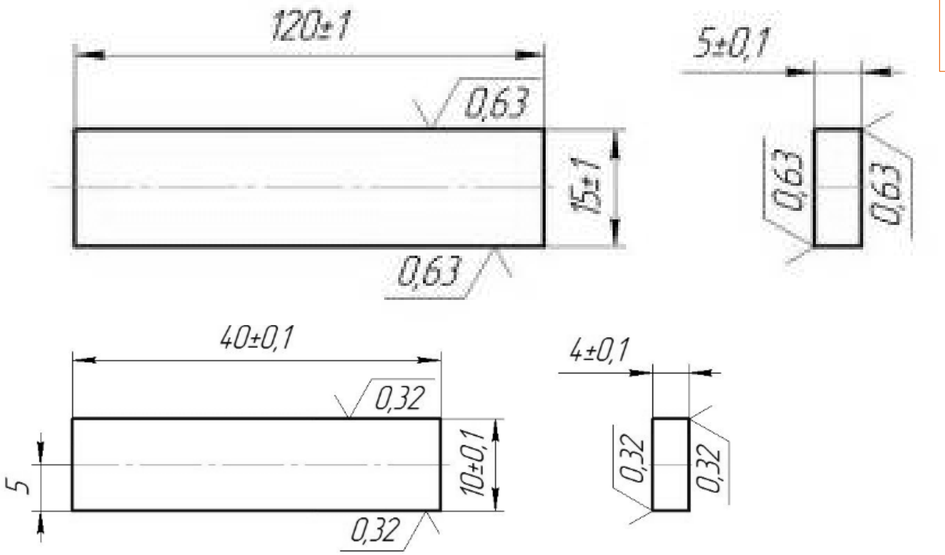


Схема установки для проведения коррозионных испытаний на общую коррозию по методике ООО «ИТ-Сервис»

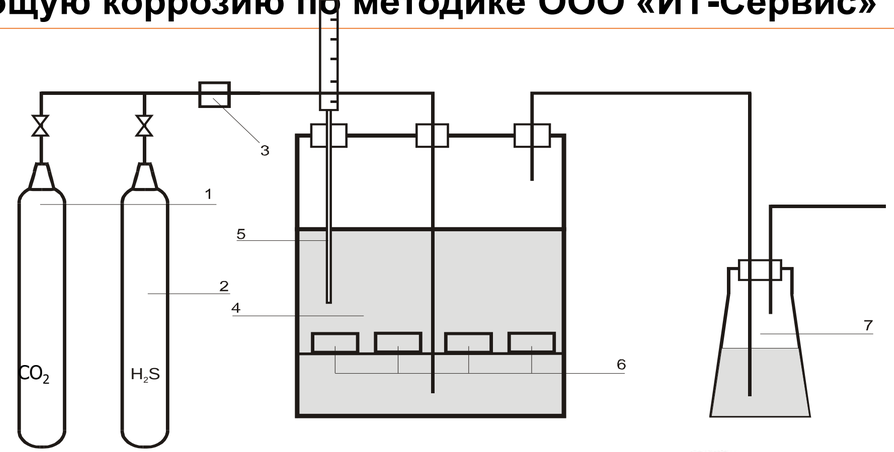
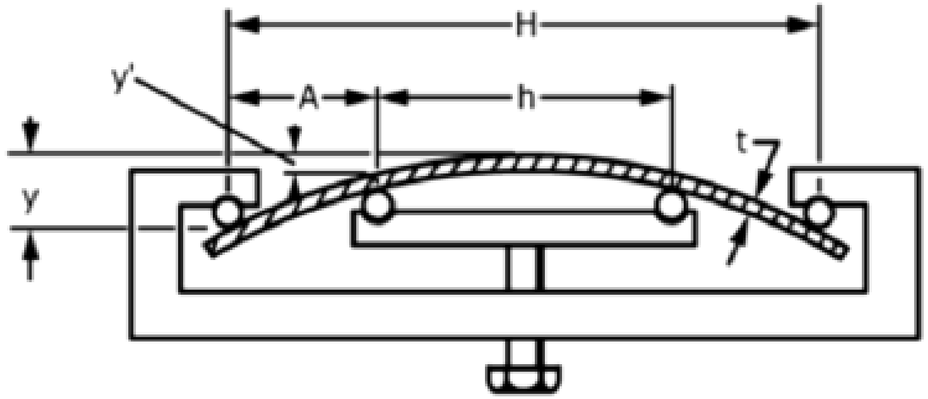
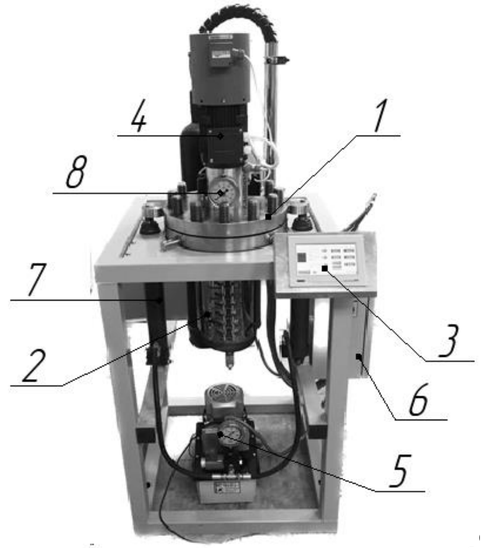


Схема нагружения образцов для испытания на стойкость к СКРН по ASTM G39 (метод четырёхточечного изгиба)



Вид автоклавной установки «РВД»



Влияние класса прочности стали 08Х1Г на коррозионную стойкость в сложных многокомпонентных агрессивных средах, содержащих одновременно CO_2 и H_2S.

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

Объекты исследования:

Сталь 08Х1Г после закалки с 910 °С

И отпуска при Т от 550 до 750 °С

Сталь	Массовая доля элементов, %												
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	Nb	V	Ti
08Х1Г	0,07	0,23	0,72	0,014	0,012	1,10	<0,01	0,15	0,17	0,009	0,05	0,04	0,004

Марка стали	$T_{закалки}$	$T_{отпуска}$	Класс прочности	Прочностные свойства			Твердость (HV)	KCV_{-60}, Дж/см^2
				$\sigma_т$, МПа	$\sigma_{В}$, МПа	δ_5, %		
08Х1Г Рсм = 0,18 Ac_1 = 739 °С Ac_3 = 894 °С	910-920 вода-ванна	Закалка без отпуска	-	683	920	15	-	-
		550	L80	644	733	16	248	236
		600	K60	611	696	18	241	244
		650		499	600	20	225	307
		680		533	611	19	207	296
		700	K56	545	600	21	213	308 313
		720	K56	488	570	21	186	326
		750	K52	455	549	26	176	346

Результаты коррозионных испытаний стали 08Х1Г различных классов прочности

Класс прочности	Скорость коррозии мм/год	Условия испытаний	Параметры среды			
			T, °C	pH	концентрация H2S, мг/л	концентрация CO2, мг/л
К60	0,47	5%NaCl Рпарц. CO2 1 атм	20	4,07-5,42	-	770 - 1650
К56	0,44					
К52	0,43					
К60	0,16	5%NaCl Рпарц. CO2 0,9 атм Рпарц. H2S 0,1 атм	20	4,04-4,90	229-187	-
К56	0,16					
К52	0,17					
К60	0,26	5%NaCl Рпарц. CO2 0,5 атм Рпарц. H2S 0,5 атм	20	4,13-4,60	1120-1430	
К56	0,27					
К52	0,27					
К60	0,22	5%NaCl Рпарц. CO2 1 атм	50	4,09-5,30	-	858-847
К56	0,22					
К52	0,24					

Результаты коррозионных испытаний стали 08Х1Г

Объекты испытаний	Условия испытаний	Скорость коррозии, м/год	Параметры среды			
			T, °C	pH	концентрация H2S, мг/л	концентрация CO2, мг/л
закалка + отпуск 550	5%NaCl Рпарц. CO2 0,5 атм Рпарц. H2S 0,5 атм.	0,16	50	4,23-4,76	929 - 1047	-
закалка + отпуск 600		0,18				
закалка + отпуск 650		0,17				
закалка + отпуск 550	25%NaCl Рпарц. CO2 0,5 атм Рпарц. H2S 0,5 атм.	0,06	50	4,61-4,53	946-997	-
закалка + отпуск 600		0,05				
закалка + отпуск 650		0,06				
закалка + отпуск 550	5%NaCl Рпарц. CO2 0,9 атм Рпарц. H2S 0,1 атм.	0,30	50	3,85-5,08	113-225	-
закалка + отпуск 600		0,29				
закалка + отпуск 650		0,30				
закалка + отпуск 550	25%NaCl Рпарц. CO2 0,9 атм Рпарц. H2S 0,1 атм.	0,11	50	4,03-4,81	111-164	
закалка + отпуск 600		0,11				
закалка + отпуск 650		0,12				

Химический состав продуктов коррозии образца из стали 08Х1Г после различных режимов термической обработки после испытаний в среде 25%NaCl водного раствора при температуре 50°С насыщенного смесью газов 50%CO_2+50%H_2S при атмосферном давлении

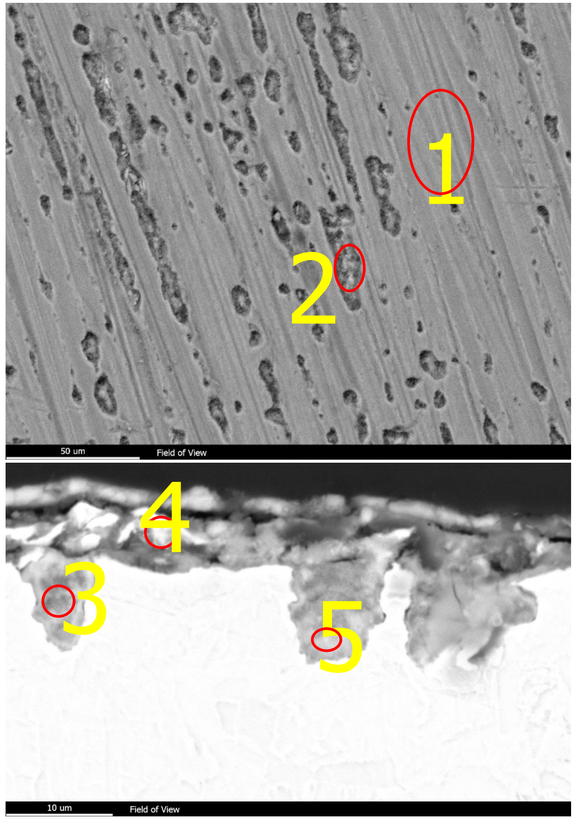
МИСИС УНИВЕРСИТЕТ

ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ

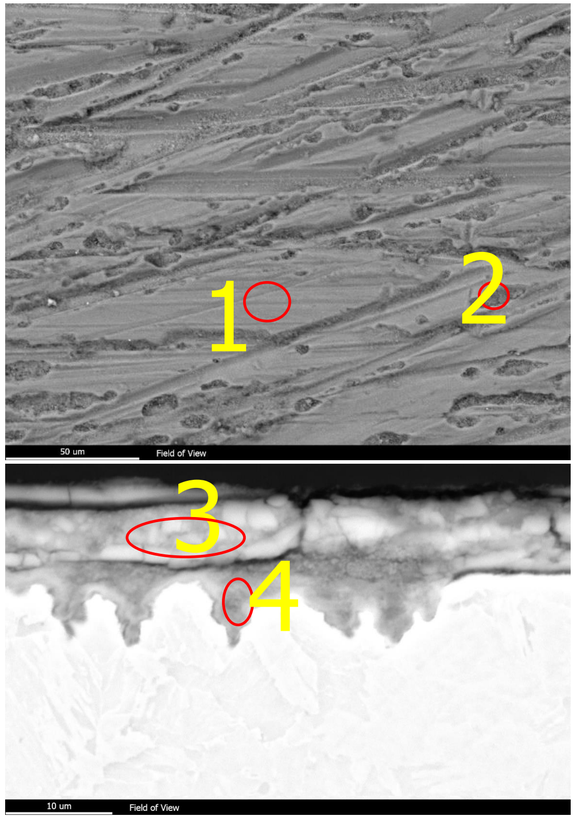
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

Закалка + отпуск 550С



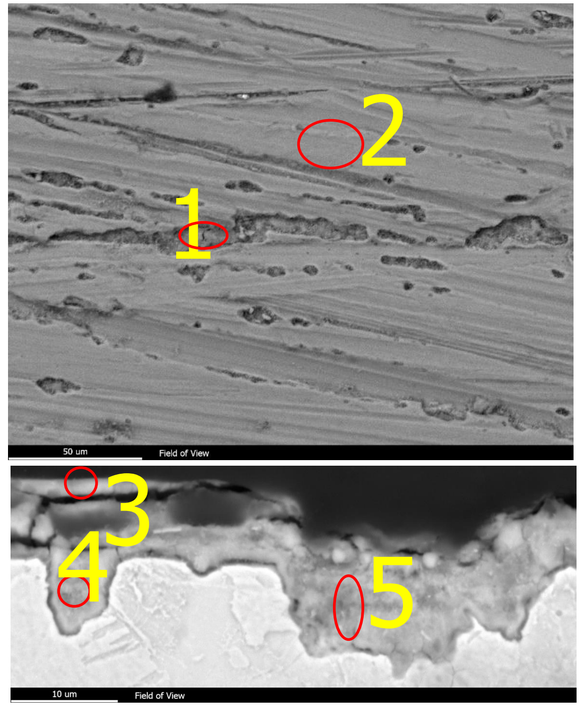
№	O	Si	S	Cr	Mn	Fe
1	02,77	-	21,96	01,39	00,63	ост
2	06,93	-	27,45	02,06	00,35	ост
3	7,61	-	26,28	1,09	-	ост
4	4,85	0,31	3,88	1,32	0,71	ост
5	6,00	-	25,54	1,04	0,4	ост

Закалка + отпуск 600С



№	O	Si	S	Cr	Mn	Fe
1	07,93	01,13	28,08	02,36	00,28	ост
2	06,10	-	26,43	02,44	00,46	ост
3	4,12	-	21,96	2,16	-	ост
4	1,91	-	19,06	1,21	-	ост

Закалка + отпуск 650С

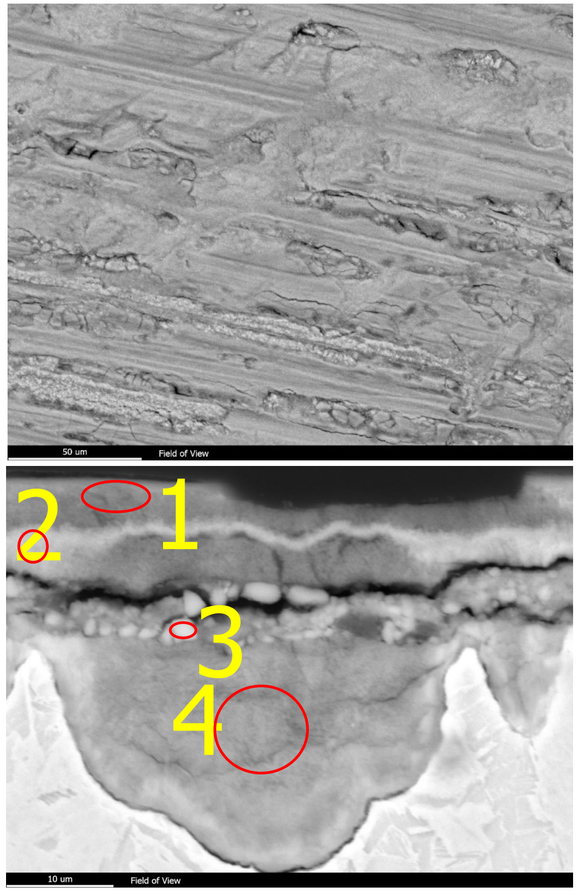


№	O	Si	S	Cr	Mn	Fe
1	05,21	-	28,88	01,82	00,46	ост
2	05,64	-	28,48	02,11	00,32	ост
3	6,76	-	15,21	1,09	-	ост
4	7,58	-	28,69	1,15	-	ост
5	8,97	0,53	19,50	1,08	-	ост

Химический состав продуктов коррозии образца из стали 08Х1Г после различных режимов термической обработки после испытаний в среде 5%NaCl водного раствора при температуре 50°С насыщенного смесью газов 50%CO_2+50%H_2S при атмосферном давлении

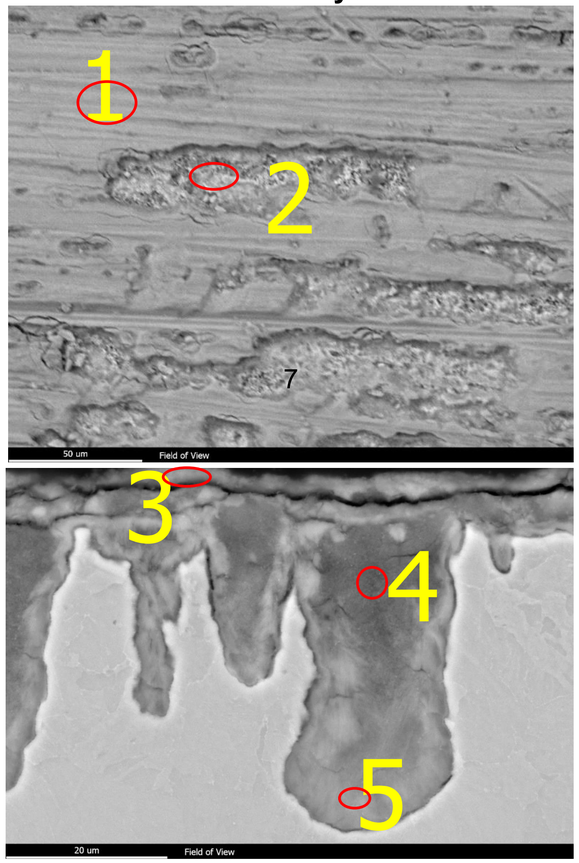
МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

Закалка + отпуск 550С



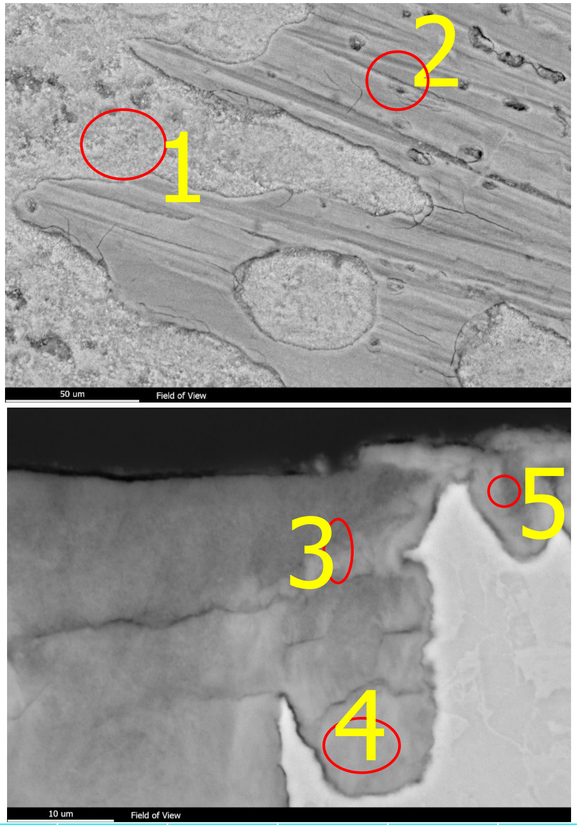
№	O	S	Cr	Mn	Fe
1	3,68	17,06	3,60	-	ост
2	2,68	22,53	2,71	-	ост
3	3,96	22,50	2,81	0,47	ост
4	2,64	23,00	2,23	-	ост

Закалка + отпуск 600С



№	O	S	Cl	Cr	Mn	Fe
1	08,02	30,57	-	04,02	00,40	ост
2	06,20	29,55	-	03,35	00,35	ост
3	02,33	14,88	01,01	00,51	-	ост
4	01,97	20,49	-	04,10	-	ост
5	02,11	23,45	-	01,98	-	ост

Закалка + отпуск 650С

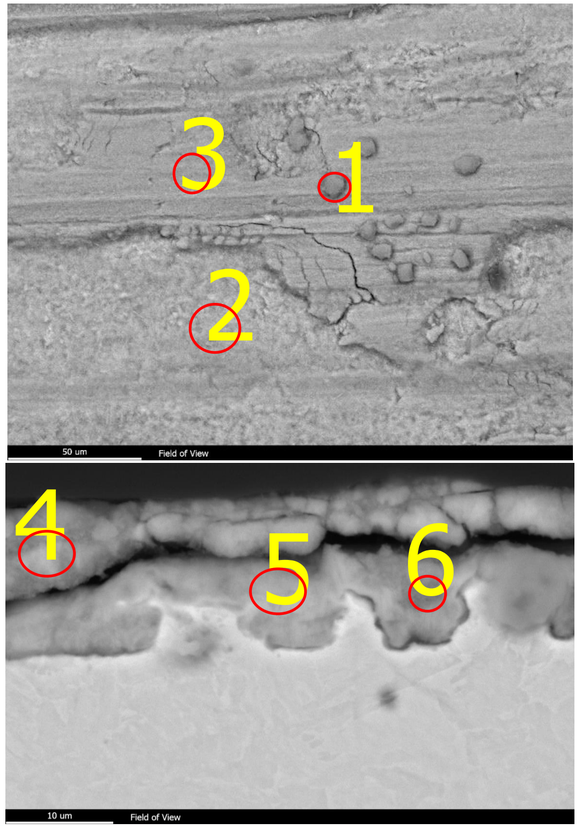


№	O	S	K	Cr	Mn	Fe
1	05,78	31,02	-	02,09	00,39	ост
2	12,64	27,16	-	05,59	00,23	ост
3	03,38	18,90	00,69	03,86	00,30	ост
4	02,32	24,06	-	01,93	-	ост
5	02,19	21,25	00,91	02,71	00,27	ост

Химический состав продуктов коррозии образца из стали 08Х1Г после различных режимов термической обработки после испытаний в среде 5%NaCl водного раствора при температуре 50°С насыщенного смесью газов 90%CO_2+10%H_2S при атмосферном давлении

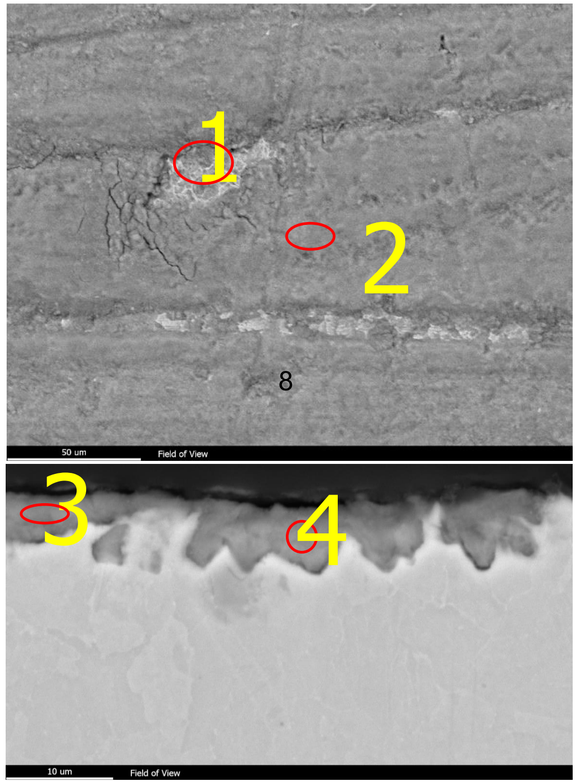
МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

Закалка + отпуск 550С



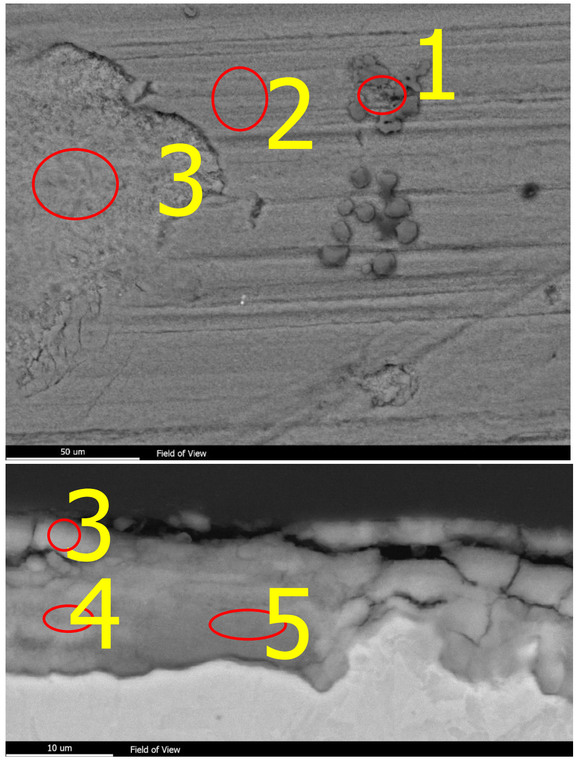
№	O	S	Cr	Mn	Fe
1	-	90,89	-		ост
2	10,69	28,60	03,28	00,30	ост
3	14,21	25,30	03,96	00,33	ост
4	2,85	19,04	2,32	0,29	ост
5	2,30	18,83	1,84	0,55	ост
6	2,77	22,72	2,07	-	ост

Закалка + отпуск 600С



№	O	S	Cr	Mn	Fe
1	06,30	06,18	01,58	00,87	ост
2	09,29	28,43	03,00	00,42	ост
3	2,71	15,96	1,88	0,26	ост
4	2,40	14,31	1,96	0,28	ост

Закалка + отпуск 650С



№	O	S	K	Cr	Mn	Fe
1	08,00	50,97	-	03,42	-	ост
2	12,93	25,43	-	04,71	00,42	ост
3	09,36	29,40	-	02,98	00,42	ост
4	3,24	21,60	-	3,12	0,46	ост
5	3,53	15,41	0,55	2,01	-	ост
6	-	1,01	-	1,33	0,98	ост

Химический состав и механические свойства сталей с различным содержанием хрома после выбранных режимов термообработки

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

Образец	Массовая доля элементов, %													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al	Nb	V	Ti	N
2121_08Х2М	0,09	0,22	0,32	0,013	0,011	1,90	0,13	0,15	0,17	0,17	0,05	0,05	0,012	0,007
2122_08Х2Г	0,09	0,29	0,92	0,014	0,011	1,90	<0,01	0,01	<0,005	0,02	0,03	<0,005	0,011	0,007
2151_08Х5Г	0,07	0,25	0,90	0,014	0,012	5,00	<0,01	0,02	<0,005	0,01	0,04	<0,005	0,04	0,007
219_10Х9МНФБ	0,07	0,31	0,55	0,012	0,005	8,88	1,05	0,40	0,006	0,013	0,09	0,22	0,018	-
20 сталь сравнения	0,18	0,20	0,52	0,012	0,013	<0,005	<0,01	0.009	0.01	<0,005	-	-	-	-

Марка стали	Режим ТО	Класс прочности	Прочностные свойства			Твердость (HV)	KCV_{-60}, Дж/см^2
			$\sigma_т$, МПа	$\sigma_в$, МПа	δ_5, %		
08Х2М	закалка+ отпуск 650	L80	609	679	19	220	285
08Х2Г	закалка+ отпуск 650	L80	581	656	18	222	271
08Х5Г	закалка+ отпуск 650	К60	505	632	20	208	204
10Х9МНФБ	закалка+ отпуск 750	L80	590	718	18	232	107

Влияние химического состава и режимов термической обработки различных сталей на коррозионную стойкость в агрессивных средах

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

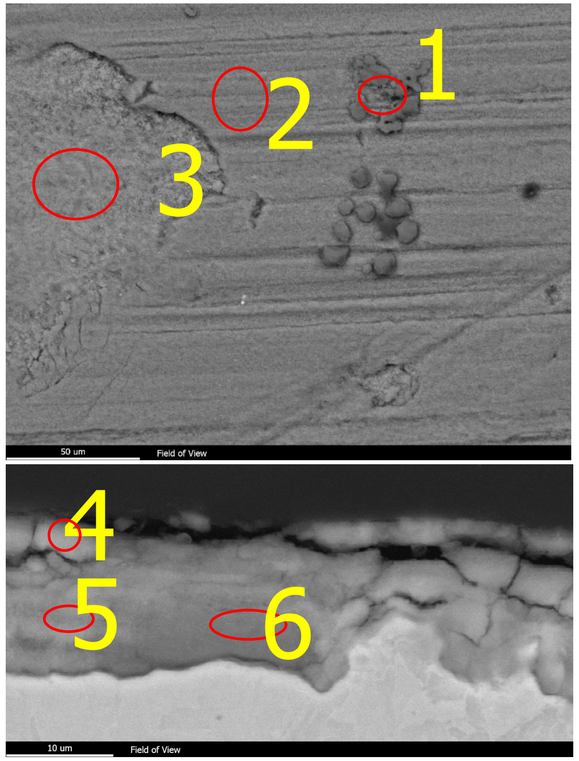
Результаты коррозионных испытаний стали

Объекты испытаний	Условия испытаний	Скорость коррозии, м/год	Скорость коррозии, м/год	Параметры среды		
				Т, °С	pH	концентрация H2S, мг/л
08Х2М (отп 650)	5%NaCl Рпарц. CO2 0,9 атм Рпарц. H2S 0,1 атм	0,22/0,22	0,22	50	4,25-5,01	93-153
08Х2Г (отп 650)		0,12/0,13	0,13			
08Х5Г (отп 650)		0,17/0,16	0,17			
10Х9МНФБ (отп 700)		0,0048/0,0068	0,0			
Сталь 20		0,28/0,27	0,28			

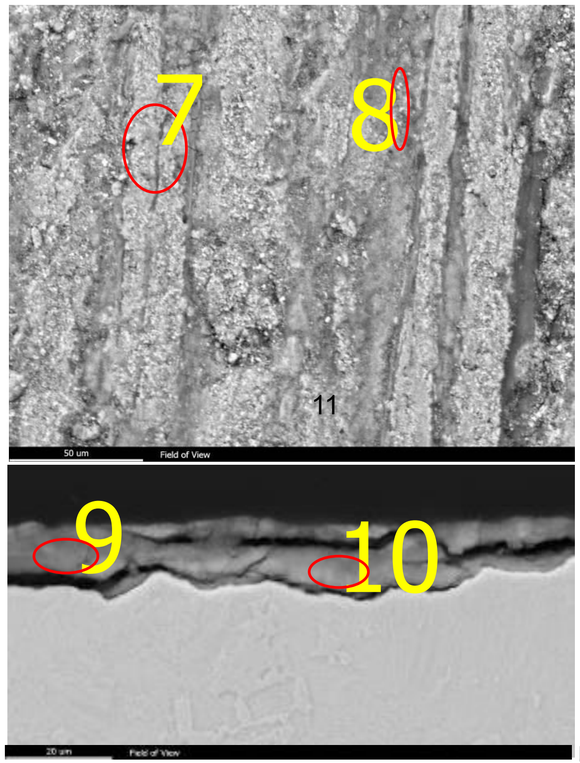
Химический состав продуктов коррозии образца из различных марок сталей после термической обработки (ЗАКАЛКА + ОТПУСК 650С) после испытаний в среде 5%NaCl водного раствора при температуре 50°С насыщенного смесью газов 90% CO_2 и 10% H_2S при атмосферном давлении

МИСИС УНИВЕРСИТЕТ
ГИБРИДНЫЕ НАНОСТРУКТУРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ РОССИИ
НАУКА И УНИВЕРСИТЕТЫ

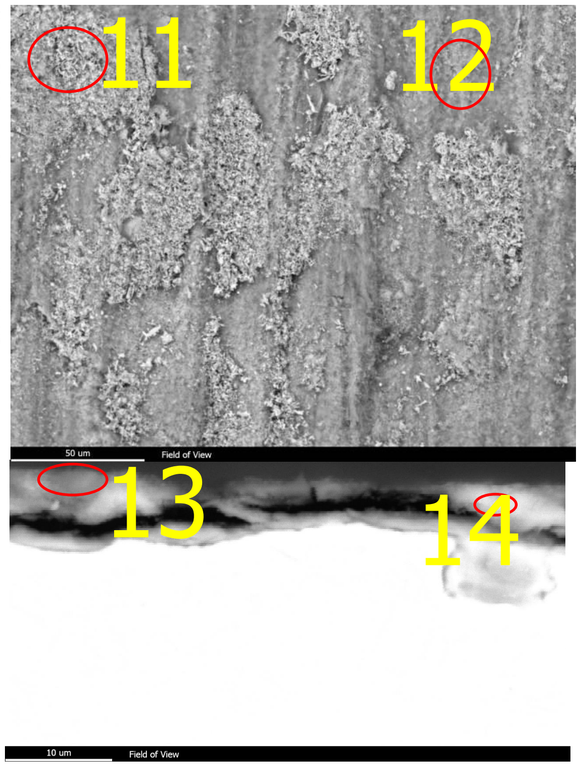
Сталь 08Х1Г



Сталь 08Х2М



Сталь 08Х2Г

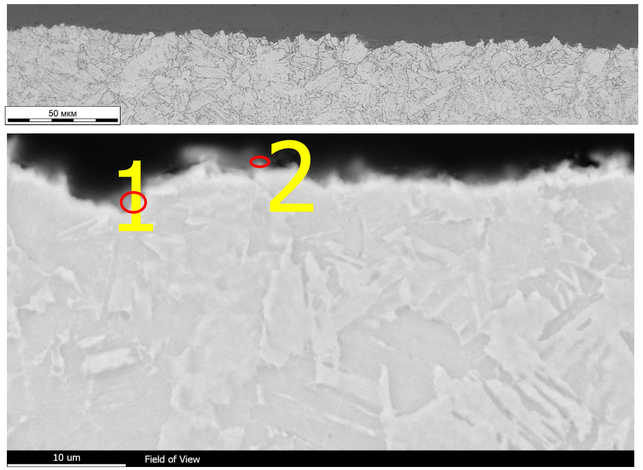


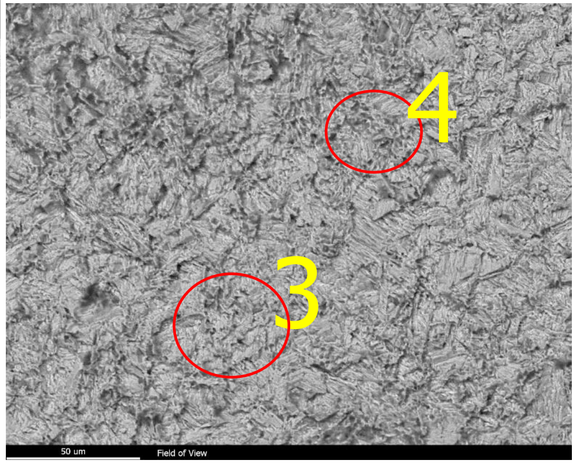
№	O	Si	S	K	Cr	Mn	Fe
1	08,00	-	50,97	-	03,42	-	Ост.
2	12,93	-	25,43	-	04,71	00,42	Ост.
3	09,36	-	29,40	-	02,98	00,42	Ост.
4	03,24	-	21,60	-	03,12	00,46	Ост.
5	03,53	-	15,41	00,55	02,01	-	Ост.
6	-	-	01,01	-	01,33	00,98	Ост.
7	07,42	-	30,17	-	04,36	00,14	Ост.

№	O	Si	S	K	Cr	Mn	Fe
8	10,94	-	25,60	-	08,22	00,25	Ост.
9	03,84	00,67	14,26	01,02	07,61	-	Ост.
10	04,35	00,72	17,25	00,82	08,85	-	Ост.
11	06,05	00,53	29,29	-	04,16	00,41	Ост.
12	12,33	00,99	24,17	-	07,75	00,63	Ост.
13	-	--	02,38	-	02,55	01,27	Ост.
14	01,75		04,34	00,68	03,24	01,31	Ост.

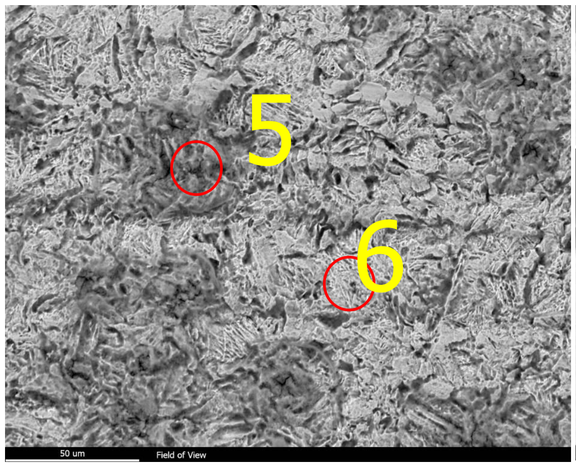
5%NaCl, 20°C 1 атм CO_2

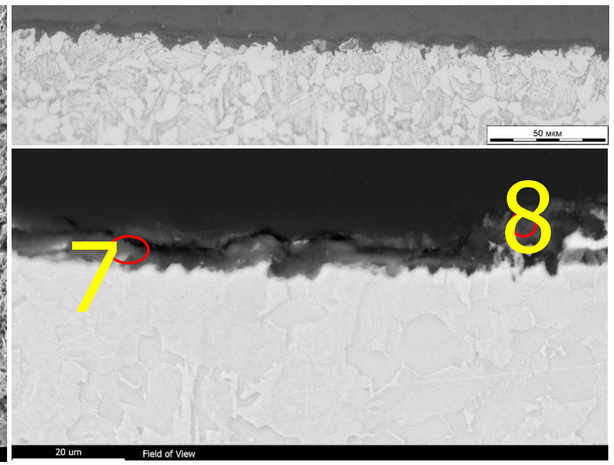
Закалка + отпуск 650С





5%NaCl, 50°C 1 атм CO_2





№	O	Si	S	Cr	Mn	Fe
1	1.36	-	-	1.14	0.97	Ост.
2	1.63	-	-	1.30	0.98	Ост.
3	3.49	0.42	0.37	1.61	0.99	Ост.
4	3.88	0.32	0.48	1.82	1.11	Ост.

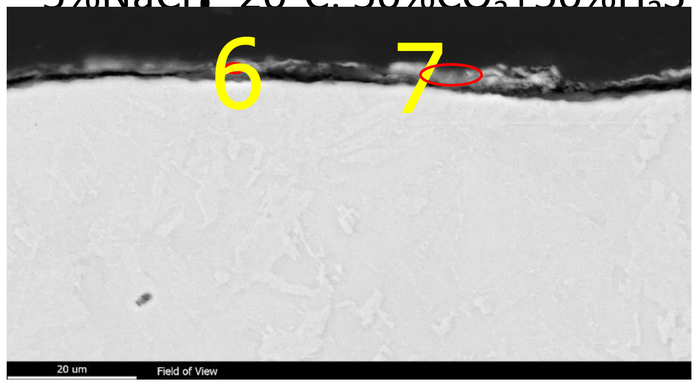
№	O	Si	S	Cl	Ca	Cr	Mn	Fe
5	-	0,55	0,92	-	-	2,24	0,82	Ост.
6	-	-	0,46	-	-	1,85	1,08	Ост.
7	4,44	0,58	-	0,39	0,60	4,76	0,79	Ост.
8	7,53	0,36	-	1,09	0,62	4,41	0,69	Ост.

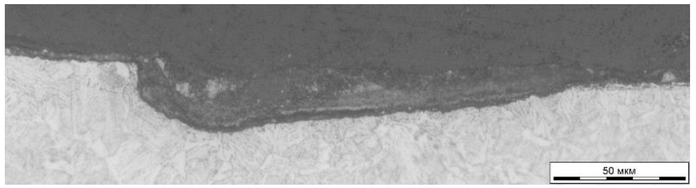
Закалка + отпуск 650С

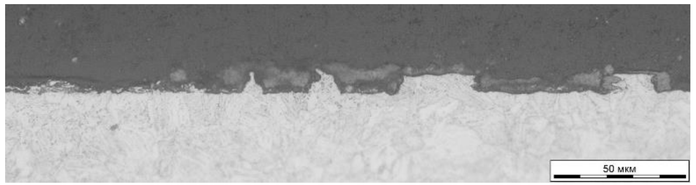
5%NaCl, 20°C, 90%CO_2+10%H_2S

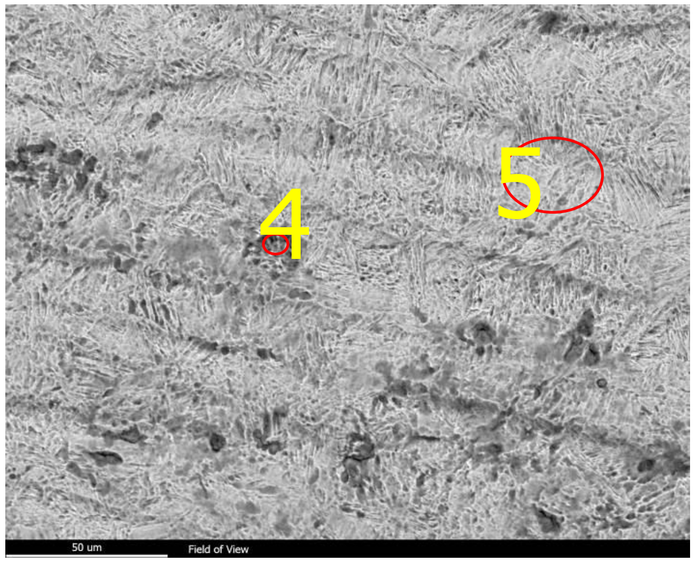


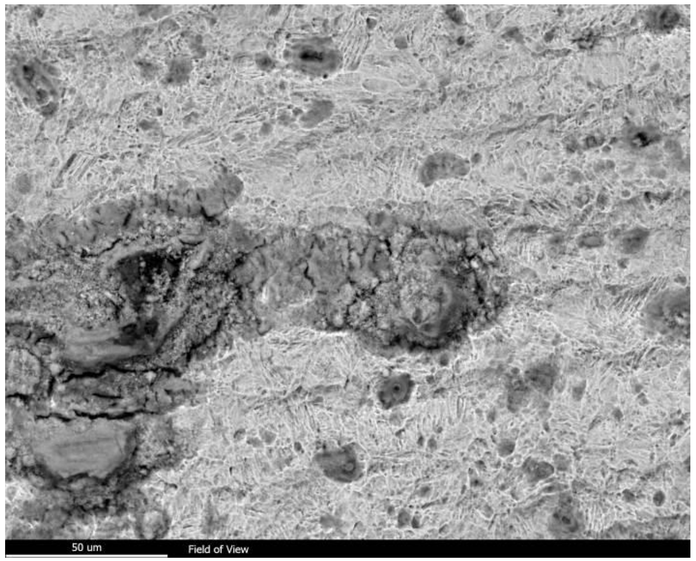
5%NaCl, 20°C, 50%CO_2+50%H_2S











№	O	Si	S	K	Ca	Cl	Cr	Mn	Fe
1	2.14	-	5.55	0.35	0.34	-	2.62	1.23	Ост.
2	3.83	-	9.01	0.37	0.44	-	1.95	0.82	Ост.
3	4.23	-	14.23	0.53	-	-	2.57	0.62	Ост.
4	11.75	0.59	2.89	-	-	-	2.31	0.73	Ост.
5	-	0.59	1.13	-	-	-	1.52	1.03	Ост.
6	3,64	0,30	1,37	-	-	-	1.61	0.90	Ост.
7	3,32	-	0,52	-	-	0.72	0.88	0.64	Ост.

Выводы

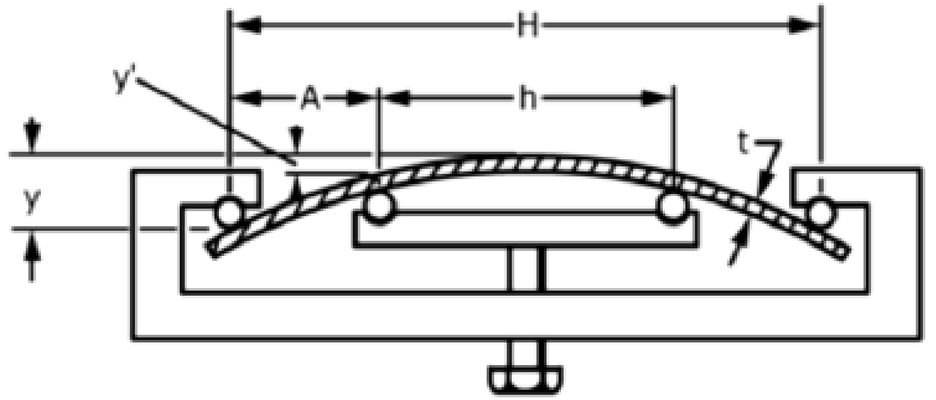
Проведённые испытания и исследования сталей, содержащих Cr от 1,0 до 9,0масс.% , по оценке коррозионной стойкости в сложных CO_2 и H_2S-содержащих многокомпонентных средах, показали:

1. 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;
2. Повышение минерализации модельной среды с 5% до 25% NaCl приводило к резкому падению скорости коррозии для всех исследуемых условий;
3. Скорость общей коррозии в сложных CO_2 и H_2S-содержащих многокомпонентных средах практически НЕ зависит от температурного режима отпуска объемной термической обработки;
4. Легирование сталей Cr от 1,0 до 9,0 масс% приводит к снижению скорости общей коррозии в сложных CO_2 и H_2S-содержащих многокомпонентных средах по сравнению с нелегированной сталью 20. В интервале концентраций хрома от 2,0 до 5,0 масс% снижение скорости коррозии монотонное на 30-40%. При легировании хромом 9,0 масс% сталь становится пассивной в исследуемой среде, скорость коррозии составляет 0 мм/год;
5. В результате выдержки в CO_2 и H_2S-содержащей среде на поверхности хромсодержащих сталей формируются двухслойные продукты коррозии. Нижний слой представлен гидроксидом хрома, а верхний слой – сульфиды железа. Чем больше содержания хрома в основном металле стали, тем более защитными свойствами обладает нижний слой.

Условия испытаний на локальную коррозию

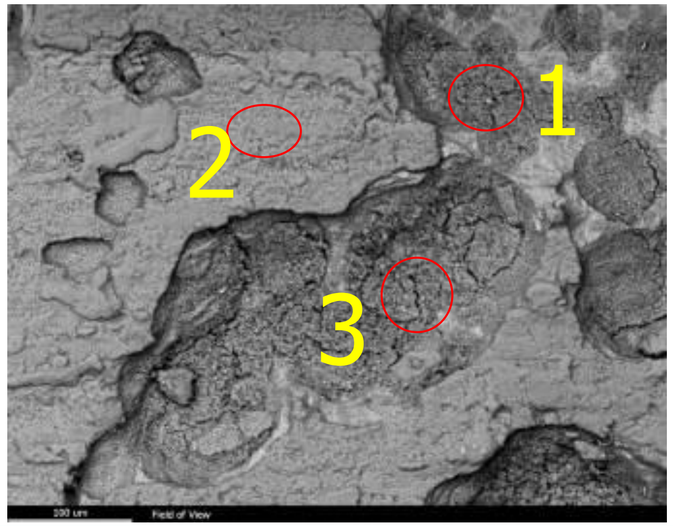
Нагрузка от $\sigma_т^{min}$	Модельный раствор	Т испы-тания, С°	Р испы-тания, атм	Прод-ть испытания, ч
85%	NACE TM0177 тип С (5%NaCl+0,4%CH_3COONa) насыщ. смесью газов CO_2 (90%)+H_2S (10%)	25	1	720
	NACE TM0177 тип С (5%NaCl+0,4%CH_3COONa) насыщ. смесью газов CO_2 (80%)+H_2S (20%)			
	NACE TM0177 р-р С + CO2 (90%)+H2S (10%)	60		
	NACE TM0177 р-р С + CO2 (90%)+H2S (10%)		10	360

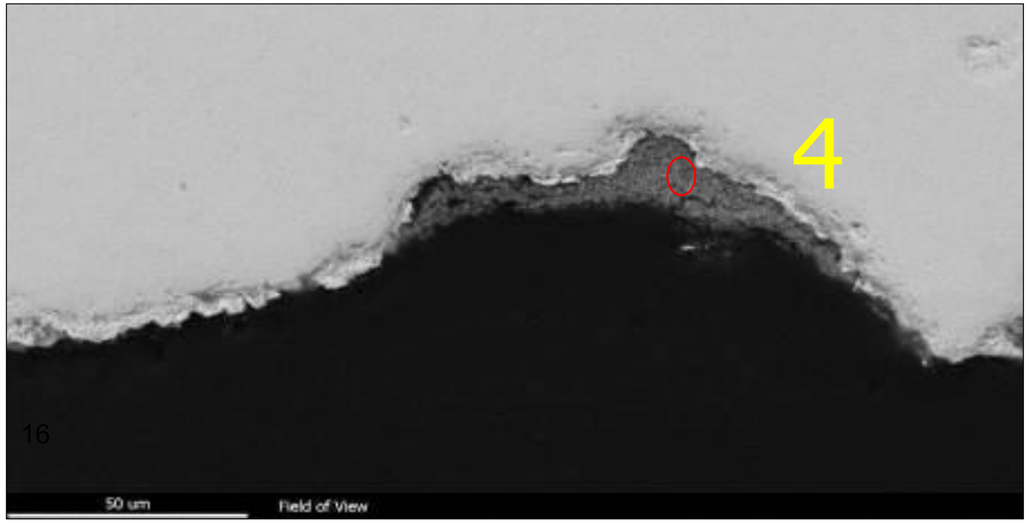
Подготовка поверхности образцов: шлифованная и без подготовки (с окалиной)



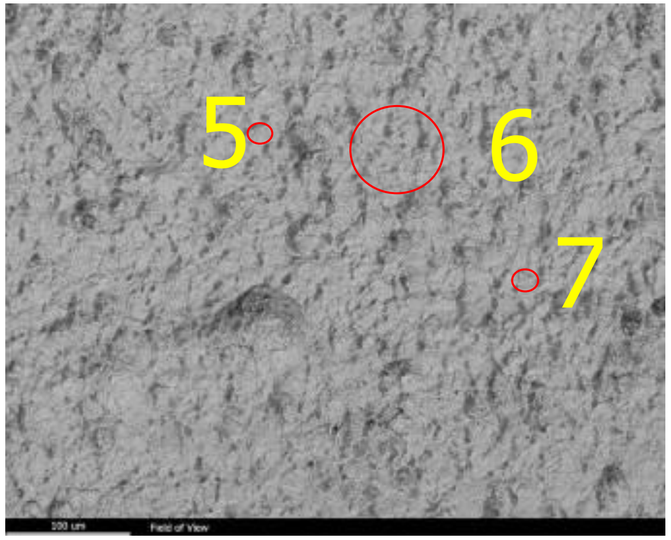
Испытание в среде: NACE TM0177 тип С + CO_2 (80%)+H_2S (20%), Р-1атм, Т комнатная. Время выдержки 720ч.

Сталь 09Г2С. (растянутая поверхность, нешлифованная)





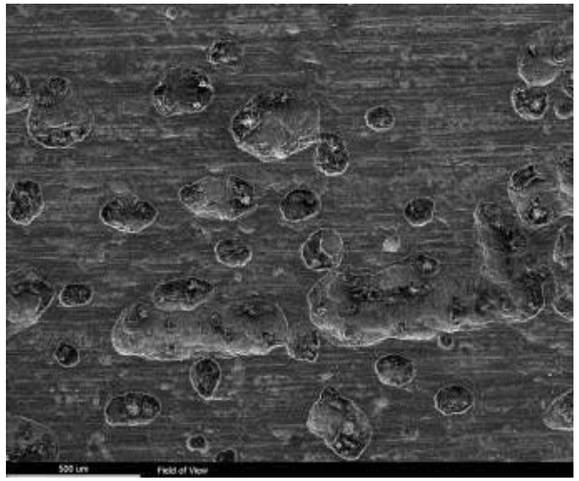
(растянутая поверхность, шлифованная)

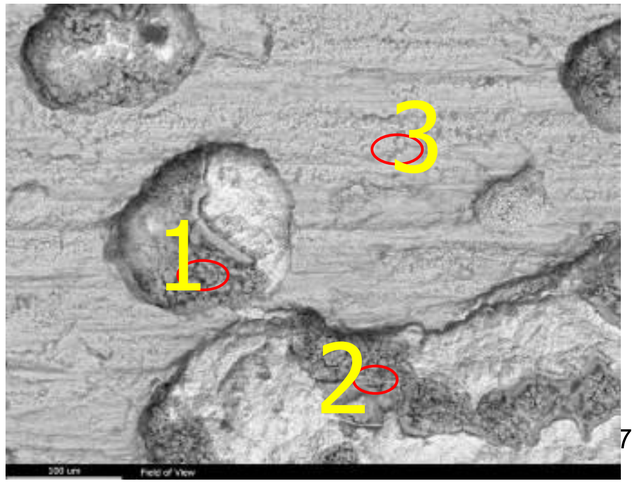


	O	Si	S	Mn	Fe
1	15,06	0,44	16,76	-	Ост.
2	-	-	35,03	-	Ост.
3	9,99	0,35	16,72	0,99	Ост.
4	7,09		22,42	-	Ост.
5	7,60	0,76	2,26	1,68	Ост.
6	5,03	0,59	1,35	1,69	Ост.
7	7,21	0,68	2,33	1,65	Ост.

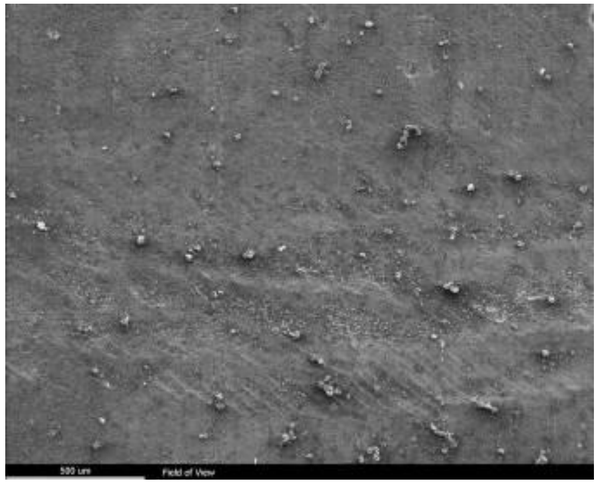
Испытание в среде: NACE TM0177 тип С + CO_2 (90%)+H_2S (10%), Р-1атм, Т комнатная. Время выдержки 720ч.

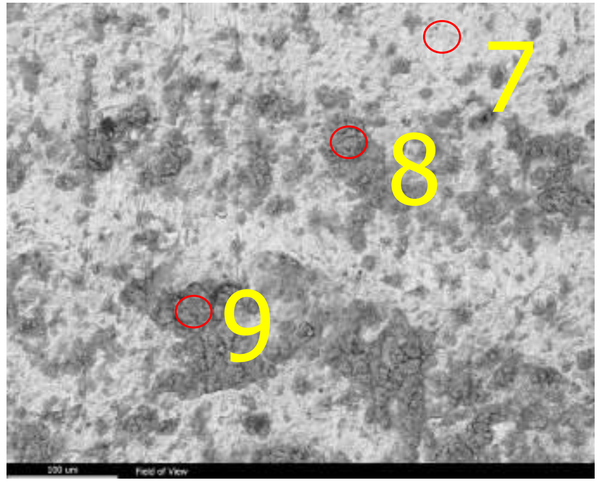
Сталь 09Г2С. (растянутая поверхность, нешлифованная)

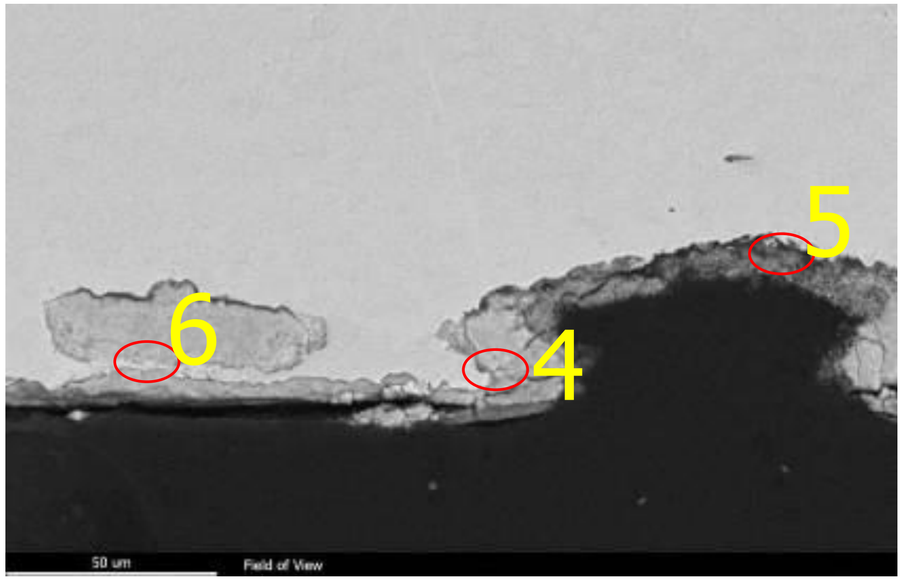




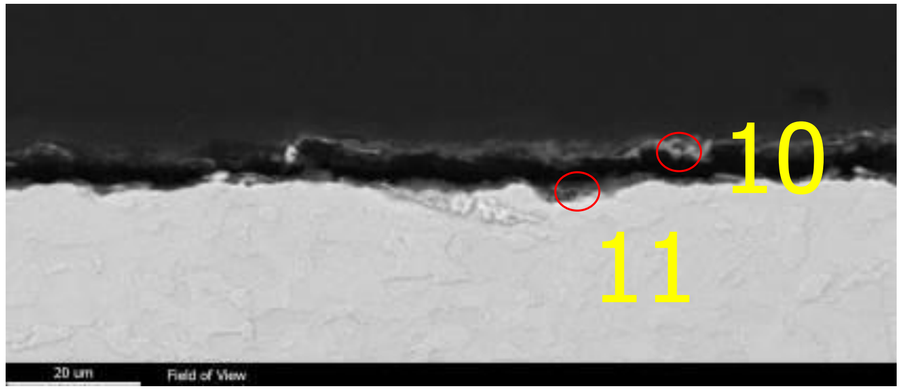
Сталь 09Г2С. (растянутая поверхность, шлифованная)





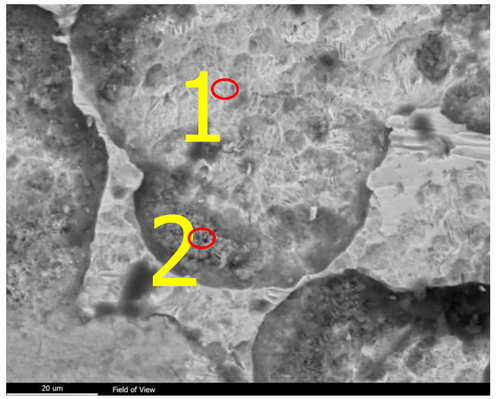


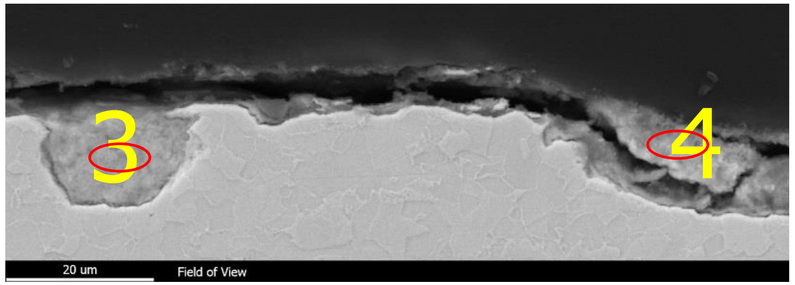
	O	Si	S	Mn	Fe
1	20,20	00,54	01,44	01,40	Ост.
2	19,86	-	01,81	01,43	Ост.
3	06,30	-	30,29	-	Ост.
4	-	-	37,05	-	Ост.
5	09,66	-	09,79	00,84	Ост.
6	-	-	36,25	-	Ост.
7	25,94	00,39	04,72	00,84	Ост.
8	24,34	00,57	02,16	00,99	Ост.
9	04,57	00,71	00,43	01,60	Ост.
10	09,20	00,78	09,20	00,66	Ост.
11	06,44	00,48	06,44	00,51	Ост.



Испытание в среде: NACE TM0177 тип С + CO_2 (90%)+H_2S (10%), Р-1атм, Т=60°С. Время выдержки 360ч.

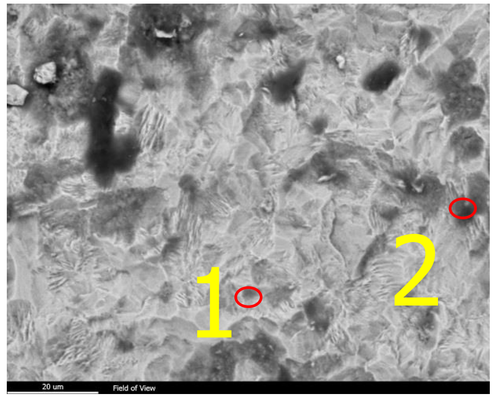
05ХГБ Растянутая поверхность

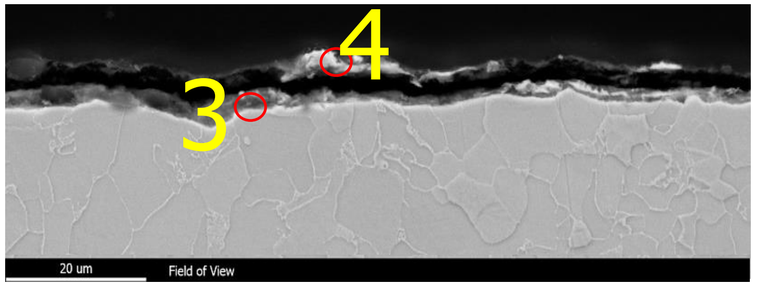




	O	Na	Si	S	Cl	Cr	Mn	Fe
1	2,87	-	0,43	0,65	-	0,91	0,95	Ост.
2	10,93	3,28	0,20	21,43	2,24	0,80	-	Ост.
3	-	-	-	30,91	-	1,39	-	Ост.
4	4,34	-	-	12,05	-	0,40	-	Ост.

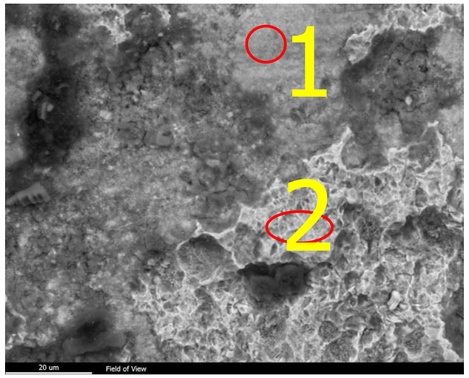
09ГСФ Растянутая поверхность

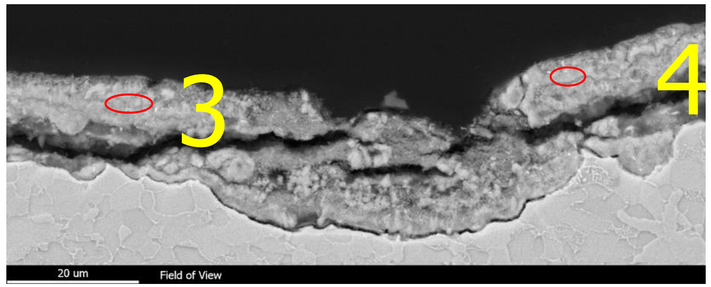




	O	Na	Si	S	Mn	Fe
1	2,42	-	0,68	0,93	1,42	Ост.
2	11,10	1,73	0,35	7,84	0,83	Ост.
3	10,72	-	0,57	1,22	0,81	Ост.
4	-	-	0,58	-	1,30	Ост.

Ст 20 Растянутая поверхность

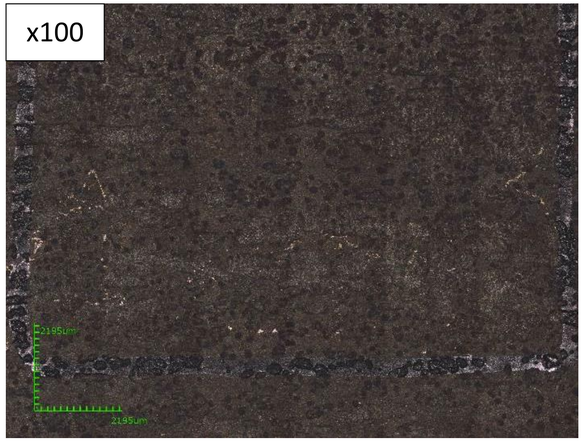


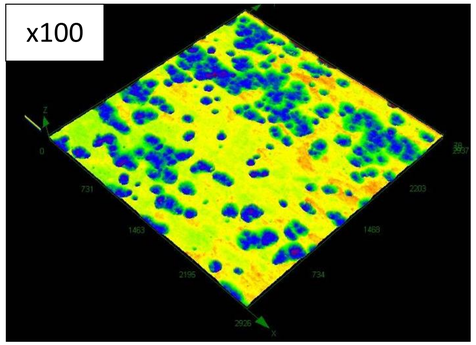


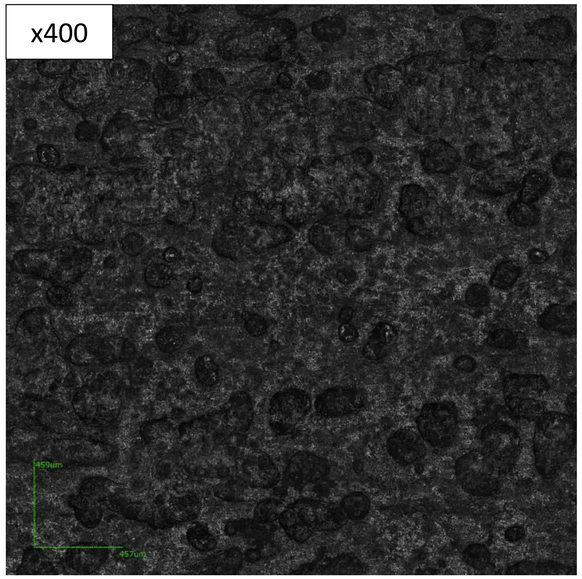
	O	Si	S	Fe
1	3,52	-	30,44	Ост.
2	4,85	0,46	1,61	Ост.
3	3,35	-	17,98	Ост.
4	-	-	22,50	Ост.

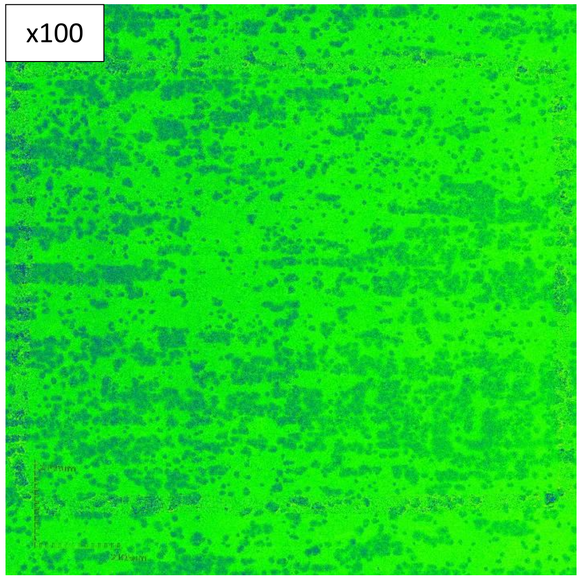
Анализ плотности и глубины язв на единицу площади на нешлифованных образцах стали 09Г2С после коррозионных испытаний

NACE TM0177 тип C + CO_2 (90%)+H_2S (10%)

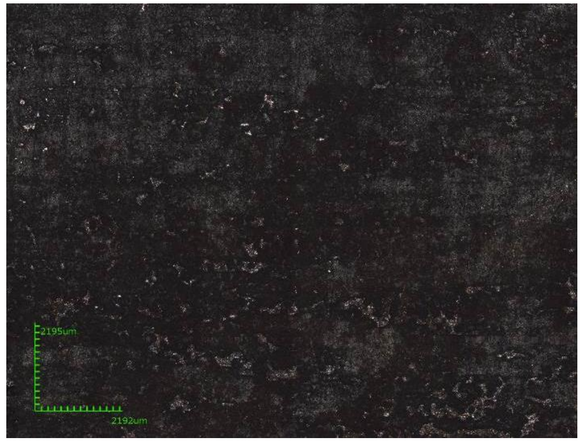


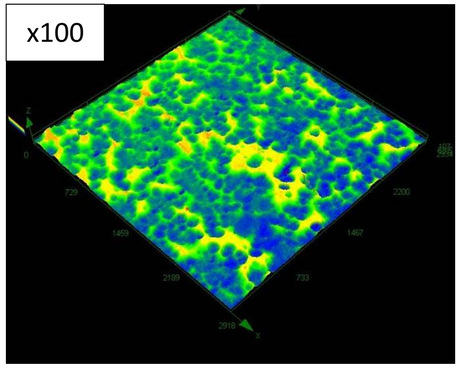


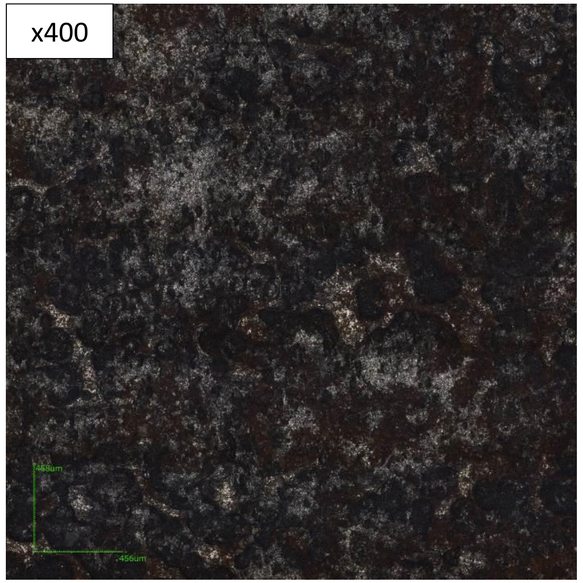


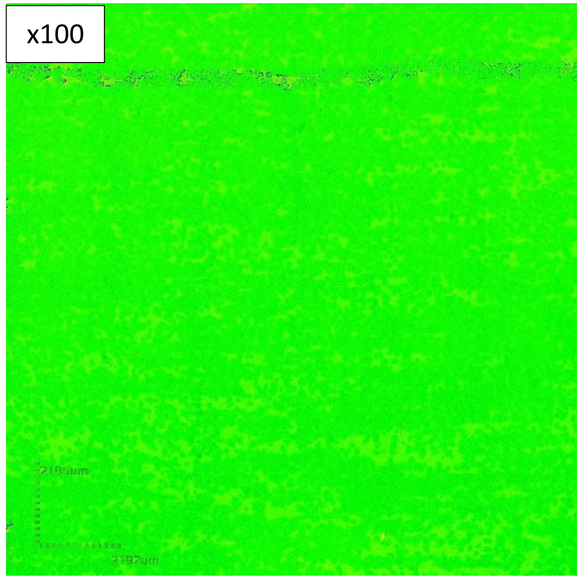


NACE TM0177 тип C + CO_2 (80%)+H_2S (20%)









Подготовка поверхности	Нагрузка	Модельный раствор	T испытания, С°	P испытания, атм	Прод-ть испытания, ч	Скорость локальной коррозии, мм/год
						09Г2С
Шлифованная поверхность	85%	NACE TM0177 тип С (5%NaCl+0,4%CH_3COONa) насыщ. смесью газов CO_2 (90%)+H_2S (10%)	25	1	720	0
Нешлифованная поверхность (с окалиной)						0,60
Шлифованная поверхность		NACE TM0177 тип С (5%NaCl+0,4%CH_3COONa) насыщ. смесью газов CO_2 (80%)+H_2S (20%)				0
Нешлифованная поверхность (с окалиной)						0,67
Шлифованная поверхность		NACE TM0177 тип А: (5%NaCl+ 0,5%CH_3COOH) попеременная подача CO2 и H2S каждые 180 часов				0,12
Шлифованная поверхность		NACE TM0177 тип А: (5%NaCl+ 0,5%CH_3COOH) смена раствора и попеременная подача газов CO2 и H2S каждые 180 часов				0,22
Шлифованная поверхность		NACE TM0177 р-р С + CO2 (90%)+H2S (10%)	60			0,52
Нешлифованная поверхность (с окалиной)						0,31
Шлифованная поверхность		NACE TM0177 р-р С + CO2 (90%)+H2S (10%)		10	360	0,70
Нешлифованная поверхность (с окалиной)						0,25

Выводы

МИСИС
УНИВЕРСИТЕТ

- При испытаниях на СКРН в растворе С в средах со смесью CO_2 и H_2S как при комнатной, так и при повышенной температуре на поверхности с растягивающими напряжениями создаются условия для возникновения локальной коррозии
- На образцах с неподготовленной поверхностью (с окалиной) язвы образовывались при всех опробованных испытательных средах

- Количество и размер язв зависит от химического состава стали. Наибольшее количество локальных поражений выявлено на поверхности образца из стали 20.
- Для количественной оценки параметров язв (доля поверхности и глубина) можно использовать конфокальную микровскопию

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