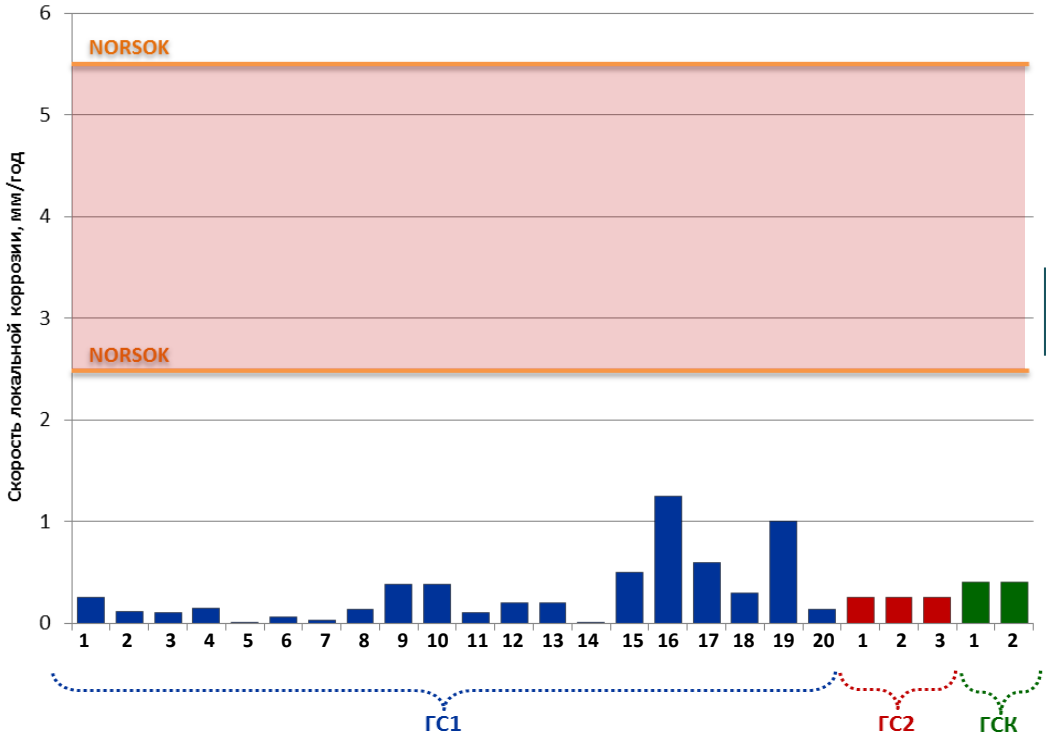
ИТС
ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Результаты ОПИ образцов-свидетелей коррозии из сталей с 1, 3 и 5% хрома в средах ачимовской залежи УНГКМ

Докладчик: Чистопольцева Е.А.,
к.т.н. , начальник отдела металловедения ООО «ИТ-Сервис»

Особенности коррозии в условиях ачимовской залежи

Значения скоростей локальной коррозии для исследованных образцов. Расчетные значения скоростей коррозии для данных термобарических условий







Остаточная толщина образца-свидетеля

Скорость коррозии

ОПИ опытных марок сталей

УТВЕРЖДАЮ
Начальник ИЦ
ООО «ИТ-Сервис»
_____А.В. Иоффе
«__»_____ 2022 г.

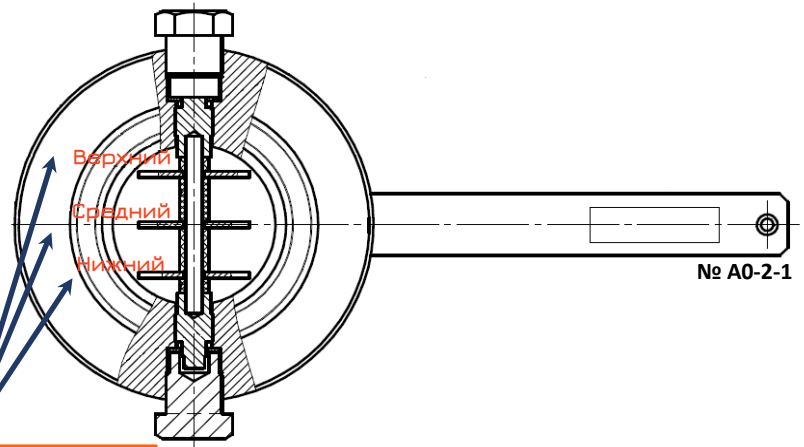
УТВЕРЖДАЮ
Начальник ПТО
АО «Ачимгаз»
_____М.Л. Ильин
«02»_02_ 2022 г.

ПРОГРАММА
промысловых испытаний
опытных марок низколегированных углеродистых сталей
с целью определения области их применения для
линий ГС-1, ГС-2 и газосборных коллекторов АО «Ачимгаз»

РАЗРАБОТАНО
Начальник отдела ОПИ ИЦ
ООО «ИТ-Сервис»
_____С.А. Князькин
«__»_____ 2022 г.

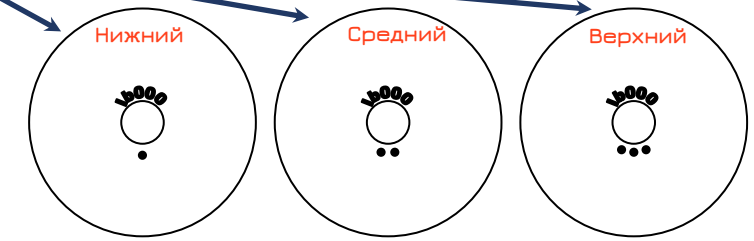
Самара – Новый Уренгой, 2022

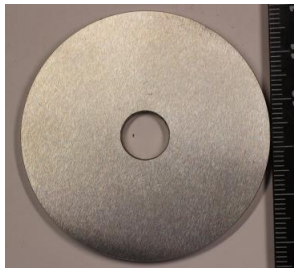
Вид межфланцевого узла контроля коррозии

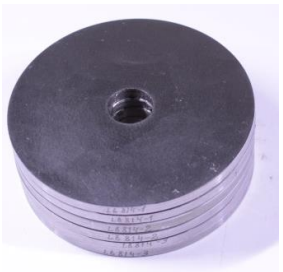


Образцы ОСК

Вид и схема маркировки клеймением образцов - свидетелей







Условия проведения ОПИ опытных марок сталей

Химический состав опытных сталей

Предметы испытаний	Содержание элементов, %										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Al	S	P
13ХФА	0,15	0,24	0,58	0,58	0,09	0,17	0,02	0,05	0,03	0,004	0,011
05Х3МФ	0,06	0,45	0,40	2,81	0,12	0,23	0,21	0,18	0,03	0,004	0,004
05Х1МФ	0,06	0,43	0,41	1,03	0,11	0,19	0,25	0,16	0,03	0,005	0,003
05Х5М	0,07	0,45	0,43	4,46	0,13	0,18	0,25	<0,01	0,04	0,005	0,003
09Г2С	0,13	0,66	1,36	0,03	0,10	0,16	0,02	<0,01	0,01	0,006	0,011

Все стали выплавлены и прокатаны на лабораторных установках АО «НПО «ЦНИИТМАШ» и подвергнуты термической обработке в лабораторных условиях по режимам, обеспечивающим прочностные свойства К50-К52 и повышенную хладостойкость.

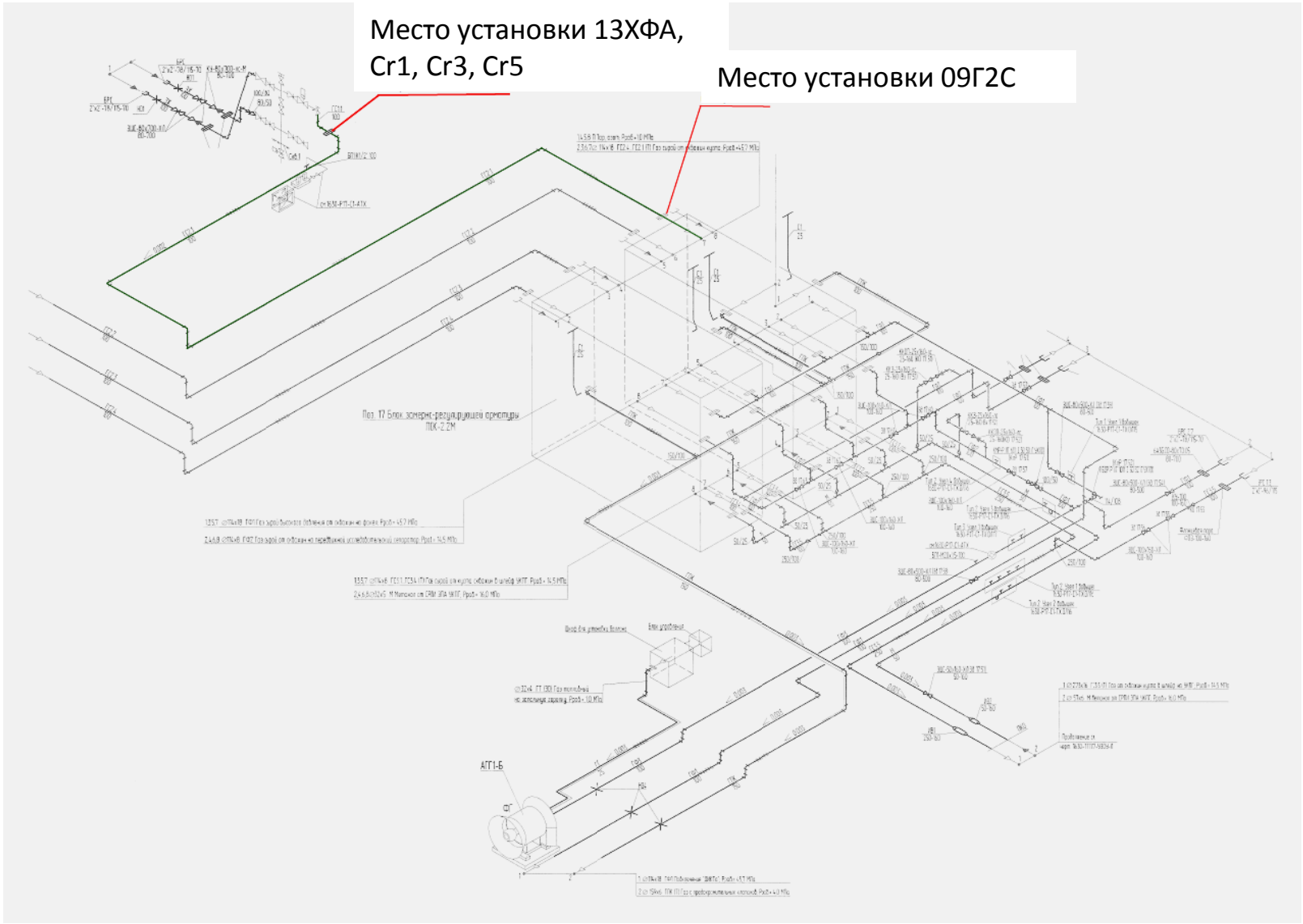
Режим работы на линиях ГС-1 объектов ОПИ

№ скв.	Обводненность, %	Температура, °С	Давление на устье, МПа	Ргск вх. на шлейфе, МПа	Тгск вх. на шлейфе, °С	Содержание CO_2, % мол	Парциальное давление CO_2, МПа	Объекты испытаний	№ установки/ съема
А 1-1	0,22	59	26,45	13,56	44,16	0,789	0,203	09Г2С/05Х1МФ	3
								09Г2С/05Х3МФ	4
А 17-2	0,19	58	28,70	13,12	33,27	0,798	0,226	09Г2С/05Х3МФ	5
								09Г2С/05Х1МФ	6
А 30-2	0,24	58	24,54	13,09	40,29	0,879	0,213	09Г2С/05Х5М	1
								09Г2С/13ХФА	2

Мольное содержание компонентов в пластовом флюиде (эксплуатационный режим)

Компонент	Значения компонентов по скважинам (объектам испытаний)		
	А 1-1	А 17-2	А 30-2
Метан, мольный %	87,041	83,065	81,010
Углеводороды C_2-C_4 , мольный %	13,263	12,052	13,136
Азот, , мольный %	0,153	0,159	0,184
Углекислый газ, , мольный %	0,789	0,798	0,879
Гелий, , мольный %	0,005	0,005	0,005
Водород, , мольный %	0,001	0,001	0,001
Потенциальное содержание УВ C_{5+} в составе пластового газа, г/м^3	260,87	217,04	266,65
Плотность СК, кг/м^3	789,4	792,2	786,1
Молярная масса СК, г/моль	147,88	152,33	147,91

Условия проведения ОПИ опытных марок сталей



Скорость коррозии ОСК опытных марок сталей после ОПИ

№ съема	Объекты испытания	Обводненность, %	Температура, °С	Давление на устье, МПа	Содержание CO_2, % мол	Парциальное давление CO_2, МПа	Скорость общей коррозии, мм/год			Среднее значение локальной коррозии	Max значение локальной коррозии
							До очистки		После очистки		
Скважина А 30-2											
1	09Г2С	0,24	58	24	0,9	0,213	Низ	0,9152	0,98	1,39	2,79
							Центр	0,3381	-	-	-
							Верх	0,0108	-	-	-
	05Х5М						Низ	0,3735	0,46	0,37	0,92
							Центр	0,1678	-	-	-
							Верх	0,0711	-	-	-
2	09Г2С						Низ	1,5456	1,63	1,72	2,47
							Центр	0,6563	-	-	-
							Верх	0,0546	-	-	-
	13ХФА						Низ	1,3349	1,40	1,24	1,85
							Центр	0,4279	-	-	-
							Верх	0,1153	-	-	-
Скважина А 1-1											
3	09Г2С	0,22	59	26	0,8	0,203	Низ	3,7640	3,79	2,35	3,65
							Центр	2,6664	-	-	-
							Верх	1,3652	-	-	-
	05Х1МФ						Низ	1,8351	1,86	1,82	1,26
							Центр	1,6009	-	-	-
							Верх	0,9691	-	-	-
4	09Г2С						Низ	3,7769	3,85	2,66	2,94
							Центр	2,2731	-	-	-
							Верх	0,9703	-	-	-
	05Х3МФ						Низ	0,9628	1,14	0,73	1,08
							Центр	0,7978	-	-	-
							Верх	0,6947	-	-	-
Скважина А 17-2											
5	09Г2С	0,19	58	29	0,8	0,226	Низ	0,1042	0,12	0,32	0,60
							Центр	-0,0093	-	-	-
							Верх	0,1143	-	-	-
	05Х3МФ						Низ	0,0716	0,11	0,22	0,30
							Центр	0,1413	-	-	-
							Верх	0,0745	-	-	-

Скорость коррозии возрастает от верхних образцов к нижним

Протекание коррозии по поверхности образцов неравномерно, а локализовано

Внешний вид ОСК из сталей 13ХФА и 09Г2С после ОПИ на скв. А 30-2

Мольное содержание компонентов в пластовом флюиде на скважине А 30-2 (эксплуатационный режим)

№ скважины	Метан, мол %	Углеводороды C_2-C_4, мол %	Азот, мол %	Углекислый газ, мол %	Гелий, мол %	Водород, мол %	Потенциальное содержание УВ C_{5+} в составе пластового газа, г/м^3	Плотность СК, кг/м^3	Молярная масса СК, г/моль
А 30-2	80,010	13,136	0,184	0,879	0,005	0,001	266,65	786,1	147,91

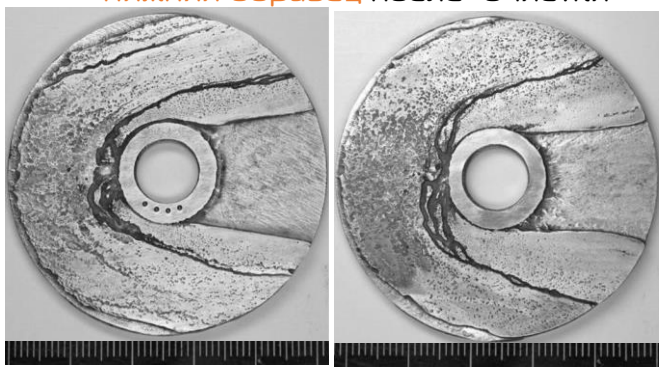
Образцы из ст. 09Г2С

до очистки

Нижний образец | Средний образец | Верхний образец



Нижний образец после очистки



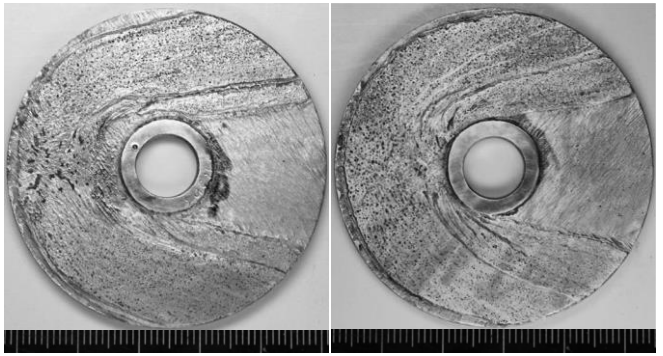
Образцы из ст. 13ХФА

до очистки

Нижний образец | Средний образец | Верхний образец

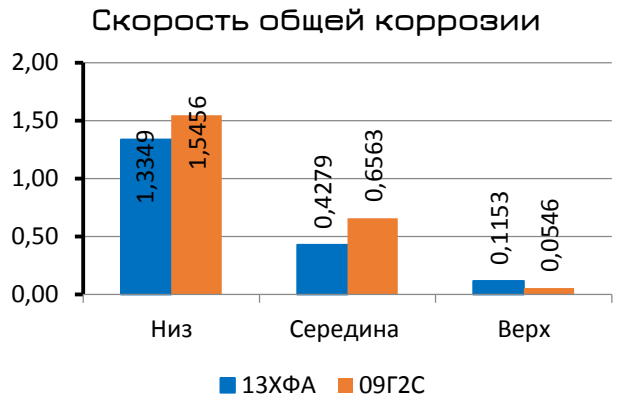


Нижний образец после очистки



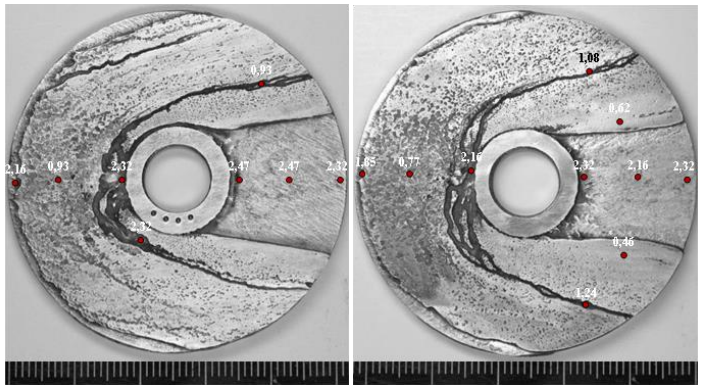
Скорость коррозии ОСК из сталей 13ХФА и 09Г2С после съема со скв. А 30-2

Марка стали	Располо-жение по высоте ОСК	Скорость общей коррозии с продуктами коррозии, мм/год	Скорость коррозии после очистки, мм/год		
		Гравиметрия	Гравиметрия	Среднее значение локальной коррозии	Максимальное значение локальной коррозии
13ХФА	низ	1,3349	1,40	1,24	1,85
	середина	0,4279	-	-	-
	верх	0,1153	-	-	-
09Г2С	низ	1,5456	1,63	1,72	2,47
	середина	0,6563	-	-	-
	верх	0,0546	-	-	-

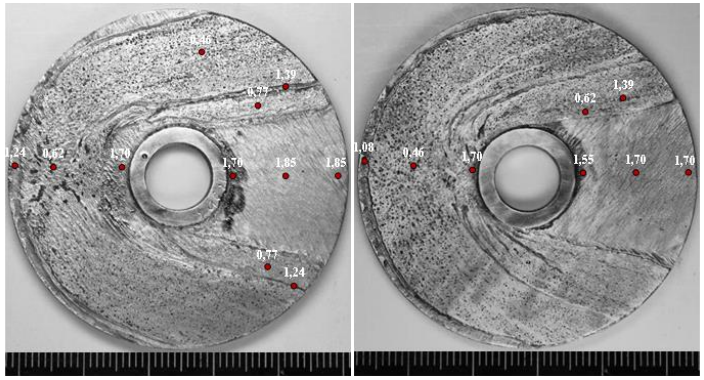


Результаты измерения скорости локальной коррозии (мм/год) по утонению ОСК

Сталь 09Г2С



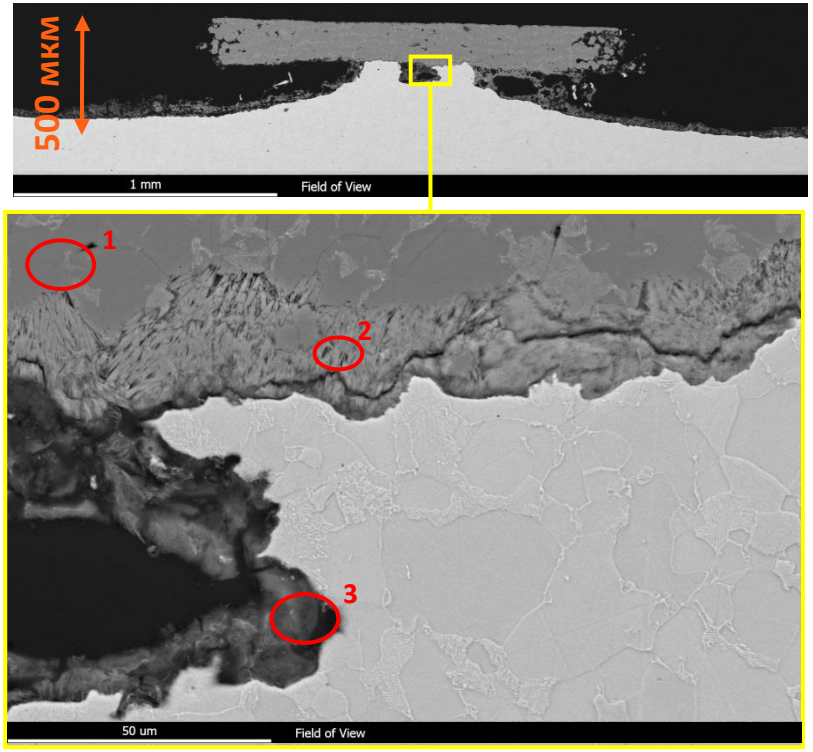
Сталь 13ХФА



Вид сечения продуктов коррозии ОСК после ОПИ на скв. А 30-2.

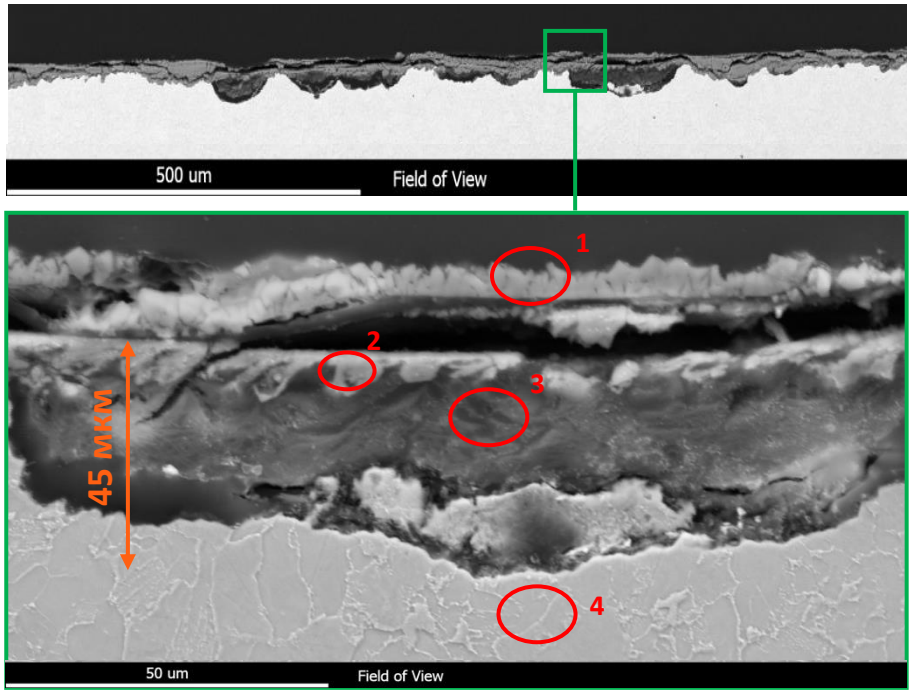
Вид и состав продуктов коррозии в сечении образцов-свидетелей

Сталь 09Г2С



	Массовая концентрация элементов, %							
	O	S	Cl	Ca	Cr	Zn	Cu	Fe
1	26,78	-	-	4,06	-	35,31	-	Ост.
2	24,48	-	-	0,71	-	46,21	-	Ост.
3	8,16	0,57	0,86	0,91	0,49	-	4,41	Ост.

Сталь 13ХФА



	Массовая концентрация элементов, %										
	O	S	Cl	Pb	Ca	V	Cr	Zn	Mn	Cu	Fe
1	30,54	0,36	0,21	-	2,81	-	0,37	11,46	0,38	-	Ост.
2	27,69	0,81	0,35	-	2,12	-	1,61	05,31	0,45	-	Ост.
3	14,17	0,86	1,13	0,74	1,72	0,77	11,01	2,53	-	1,61	Ост.
4	-	-	-	-	-	-	0,73	-	0,76	-	Ост.

Внешний вид ОСК из сталей 05Х5М и 09Г2С после ОПИ на скв. А 30-2

Мольное содержание компонентов в пластовом флюиде на скважине А 30-2 (эксплуатационный режим)

№ скважины	Метан, мол %	Углеводороды C_2-C_4, мол %	Азот, мол %	Углекислый газ, мол %	Гелий, мол %	Водород, мол %	Потенциальное содержание УВ C_{5+} в составе пластового газа, г/м^3	Плотность СК, кг/м^3	Молярная масса СК, г/моль
А 30-2	80,010	13,136	0,184	0,879	0,005	0,001	266,65	786,1	147,91

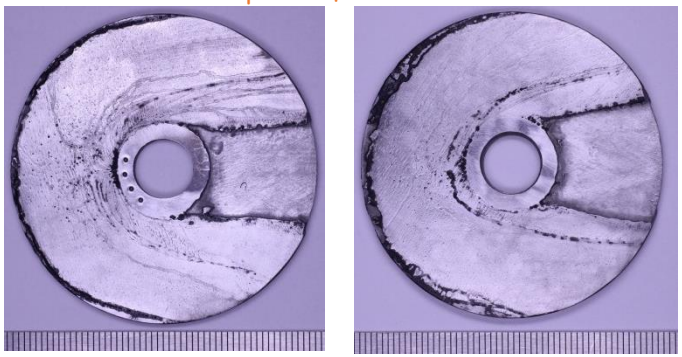
Образцы из 09Г2С

до очистки

Нижний образец | Средний образец | Верхний образец



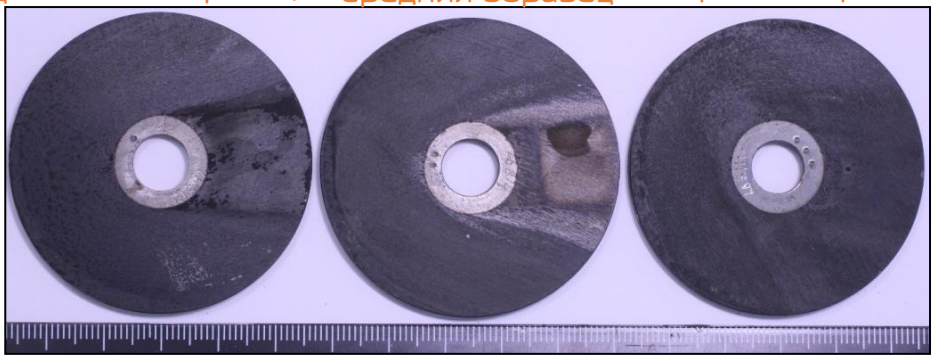
Нижний образец после очистки



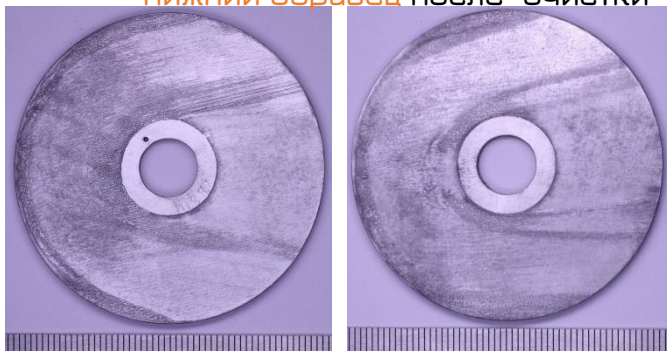
Образцы из 05Х5М

до очистки

Нижний образец | Средний образец | Верхний образец

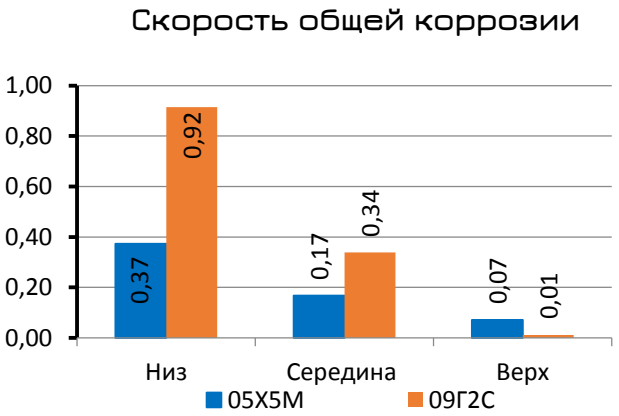


Нижний образец после очистки



Скорость коррозии ОСК из сталей 05Х5М и 09Г2С после ОПИ на скв. А 30-2

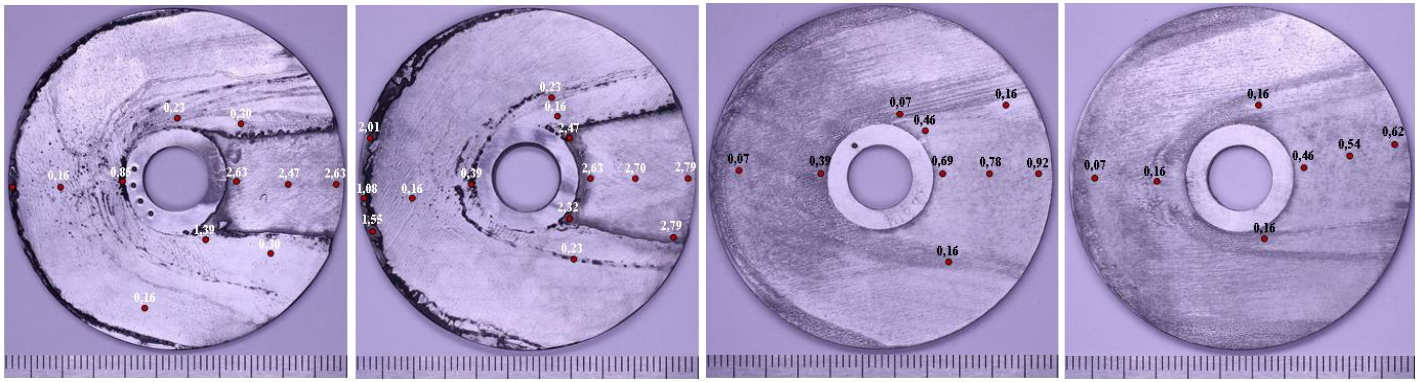
Марка стали	Располо-жение по высоте ОСК	Скорость общей коррозии с продуктами коррозии, мм/год	Скорость коррозии после очистки, мм/год		
		Гравиметрия	Грави-метрия	Среднее значение локальной коррозии	Максимальное значение локальной коррозии
05Х5М	низ	0,3735	0,46	0,37	0,92
	середина	0,1678	-	-	-
	верх	0,0711	-	-	-
09Г2С	низ	0,9152	0,98	1,39	2,79
	середина	0,3381	-	-	-
	верх	0,0108	-	-	-



Результаты измерения скорости локальной коррозии (мм/год) по утонению ОСК

Сталь 09Г2С

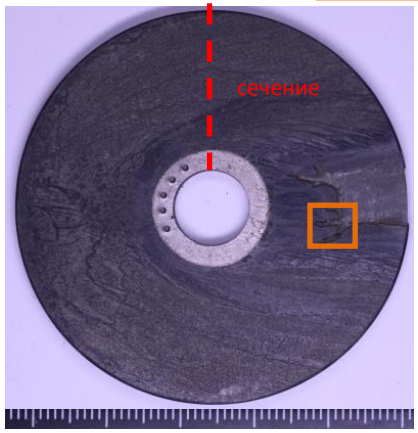
Сталь 05Х5М

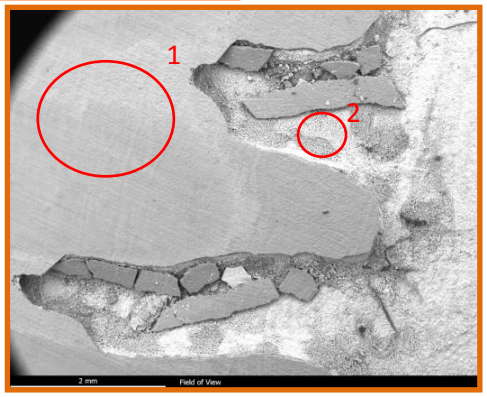


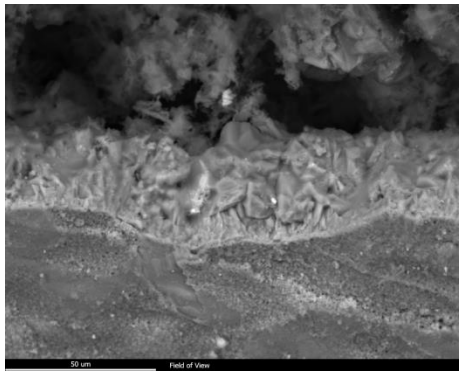
Вид продуктов коррозии на поверхности ОСК после ОПИ на скв. А 30-2.

Вид и состав продуктов коррозии с поверхности образцов-свидетелей

Сталь 09Г2С

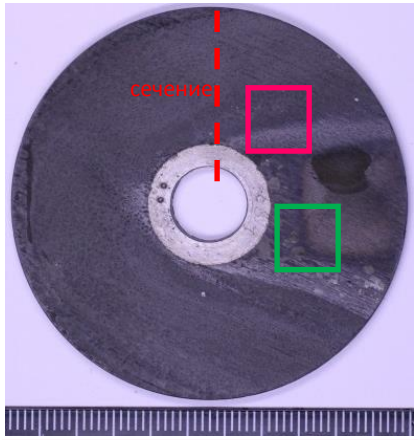


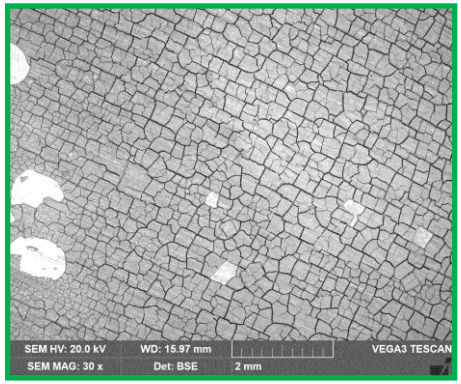


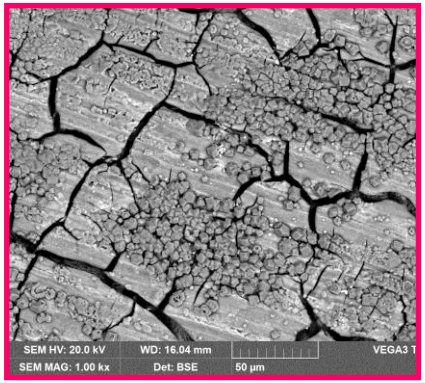


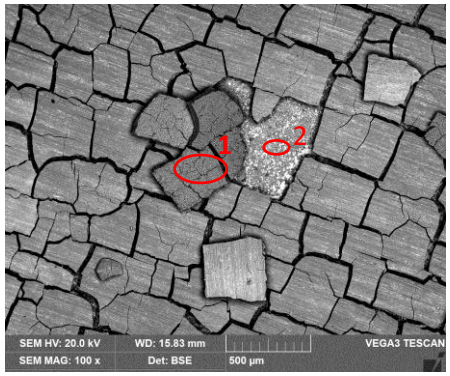
	Массовая концентрация элементов, %									
	C	O	S	Ca	Cr	Zn	Ni	Cu	Mn	Fe
1	4,71	21,76	5,11	3,05	0,77	22,43	1,61	1,13	1,04	Ост.
2	6,42	7,30	1,39	0,32	-	1,41	3,72	4,15	2,84	Ост.

Сталь 05Х5М







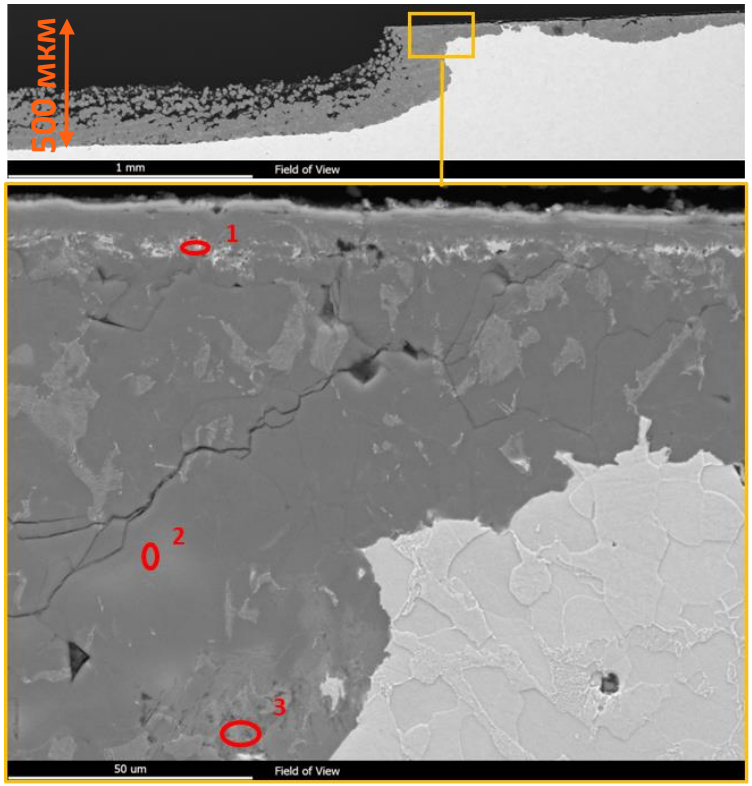


	Массовая концентрация элементов, %										
	C	O	Ca	Cr	Zn	Cu	Ba	Si	Mo	Al	Fe
1	9,27	52,74	1,68	23,35	2,13	3,06	1,33	0,23	2,43	0,35	Ост.
2	7,00	23,41	0,54	12,75	1,23	1,51	-	0,33	1,43	0,16	Ост.

Вид сечения продуктов коррозии ОСК после ОПИ на скв. А 30-2.

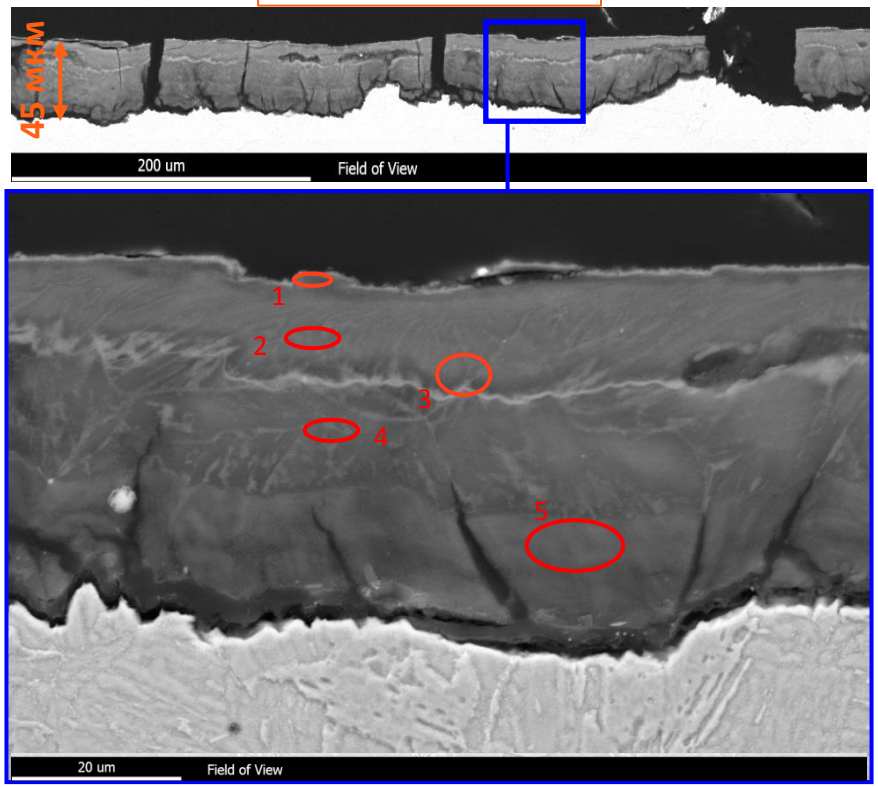
Вид и состав продуктов коррозии в сечении образцов-свидетелей коррозии

Сталь 09Г2С



№ п/п	Массовая концентрация элементов, %					
	O	Si	Ca	Mn	Zn	Fe
1	14,93	0,45	2,08	1,44	4,65	Ост.
2	29,63	-	2,82	-	16,04	Ост.
3	22,62	-	-	1,01	8,42	Ост.

Сталь 05Х5М



№ п/п	Массовая концентрация элементов, %							
	O	Ca	Cr	Zn	Mn	Si	Mo	Fe
1	13,97	00,28	07,62	16,38	00,15	-	07,34	ост.
2	31,94	02,16	30,60	05,54	00,85	00,46	01,44	ост.
3	22,70	02,37	36,99	05,88	00,75	00,50	02,79	ост.
4	27,44	02,51	32,88	05,40	00,75	00,47	01,75	ост.
5	21,95	02,35	27,90	03,41	00,61	00,37	03,14	ост.

Внешний вид ОСК из сталей 05Х1МФ и 09Г2С после ОПИ на скв. А 1-1

Мольное содержание компонентов в пластовом флюиде на скважине А 1-1 (эксплуатационный режим)

№ скважины	Метан, мол %	Углеводороды C_2-C_4, мол %	Азот, мол %	Углекислый газ, мол %	Гелий, мол %	Водород, мол %	Потенциальное содержание УВ C_{5+} в составе пластового газа, г/м^3	Плотность СК, кг/м^3	Молярная масса СК, г/моль
А 1-1	87,041	13,263	0,153	0,789	0,005	0,001	260,87	789,4	147,88

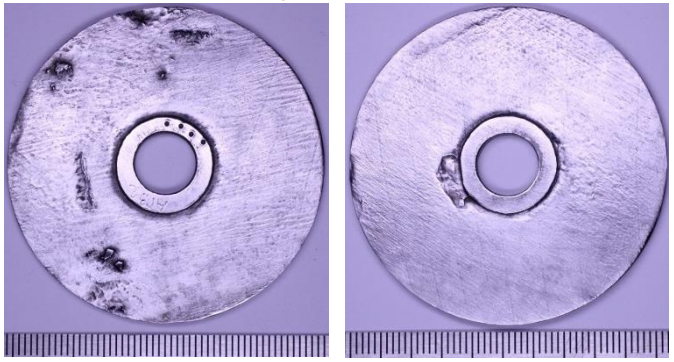
Образцы из ст. 09Г2С

до очистки

Нижний образец | Средний образец | Верхний образец



Нижний образец после очистки



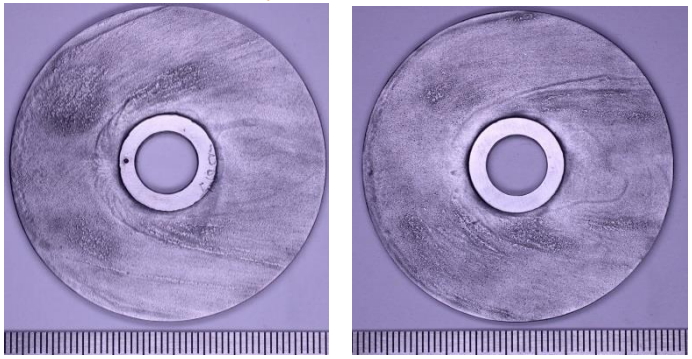
Образцы из ст. 05Х1МФ

до очистки

Нижний образец | Средний образец | Верхний образец

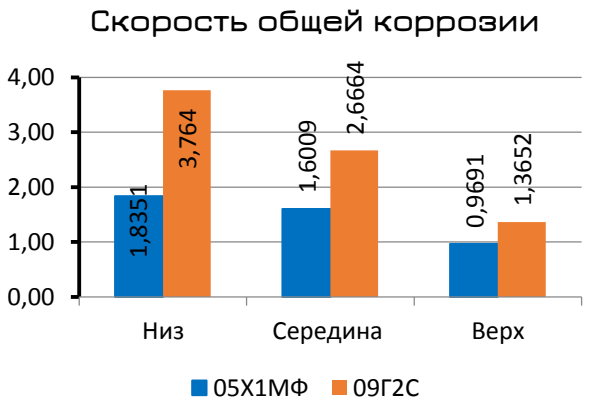


Нижний образец после очистки



Скорость коррозии ОСК из сталей 05Х1МФ и 09Г2С после ОПИ на скв. А 1-1

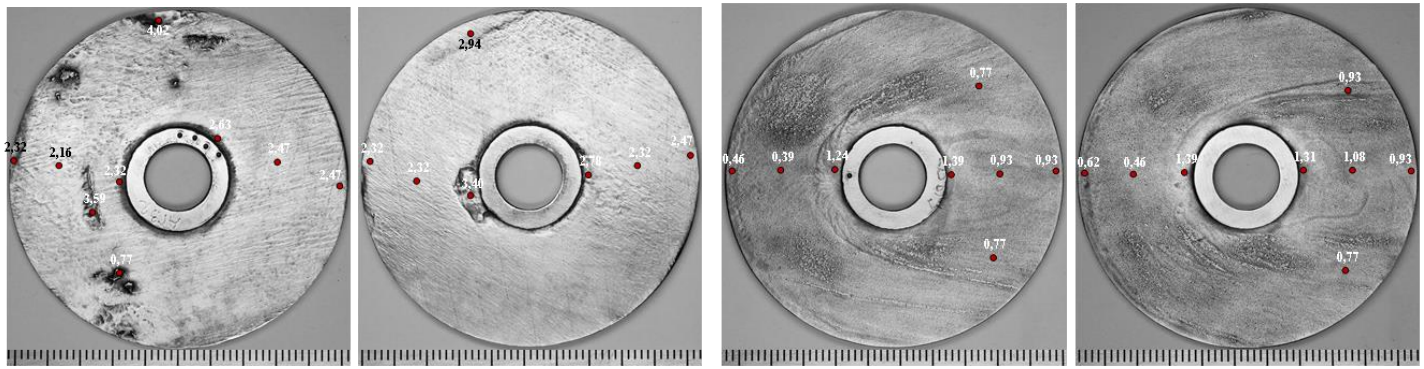
Марка стали	Располо-жение по высоте ОСК	Скорость общей коррозии с продуктами коррозии, мм/год	Скорость коррозии после очистки, мм/год		
		Гравиметрия	Гравиметрия	Среднее значение локальной коррозии	Максимальное значение локальной коррозии
Cr1	низ	1,8351	1,86	1,82	1,26
	середина	1,6009	-	-	-
	верх	0,9691	-	-	-
09Г2С	низ	3,7640	3,79	2,35	3,65
	середина	2,6664	-	-	-
	верх	1,3652	-	-	-



Результаты измерения скорости локальной коррозии (мм/год) по утонению ОСК

Сталь 09Г2С

Сталь 05Х1МФ



Внешний вид ОСК из сталей 05Х3МФ и 09Г2С после ОПИ на скв. А 1-1

Мольное содержание компонентов в пластовом флюиде на скважине А 1-1 (эксплуатационный режим)

№ скважины	Метан, мол %	Углеводороды C_2-C_4, мол %	Азот, мол %	Углекислый газ, мол %	Гелий, мол %	Водород, мол %	Потенциальное содержание УВ C_{5+} в составе пластового газа, г/м^3	Плотность СК, кг/м^3	Молярная масса СК, г/моль
А 1-1	87,041	13,263	0,153	0,789	0,005	0,001	260,87	789,4	147,88

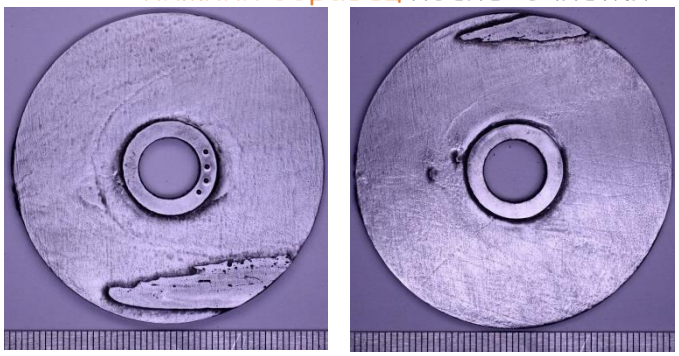
Образцы из ст. 09Г2С

до очистки

Нижний образец Средний образец Верхний образец



Нижний образец после очистки



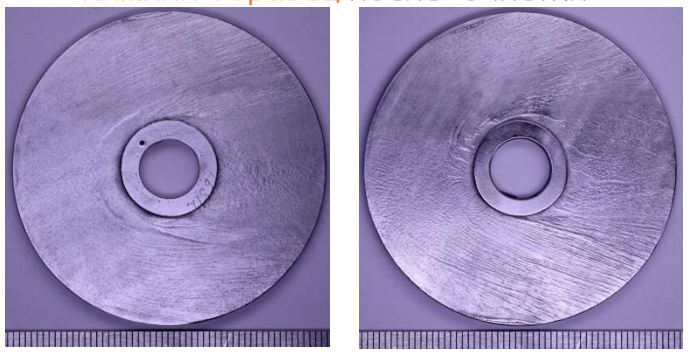
Образцы из ст. 05Х3МФ

до очистки

Нижний образец Средний образец Верхний образец

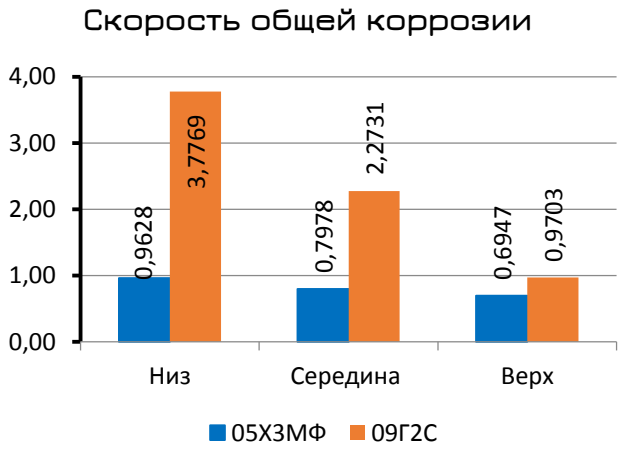


Нижний образец после очистки



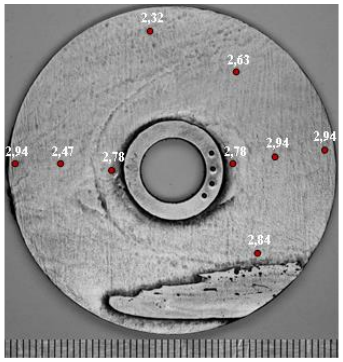
Скорость коррозии ОСК из сталей 05Х3МФ и 09Г2С после ОПИ на скв. А 1-1

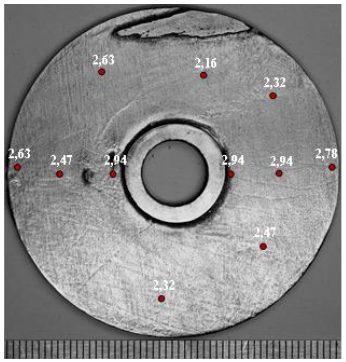
Марка стали	Располо-жение по высоте ОСК	Скорость общей коррозии с продуктами коррозии, мм/год	Скорость коррозии после очистки, мм/год		
		Гравиметрия	Гравиметрия	Среднее значение локальной коррозии	Максимальное значение локальной коррозии
Ст3	низ	0,9628	1,14	0,73	1,08
	середина	0,7978	-	-	-
	верх	0,6947	-	-	-
09Г2С	низ	3,7769	3,85	2,66	2,94
	середина	2,2731	-	-	-
	верх	0,9703	-	-	-



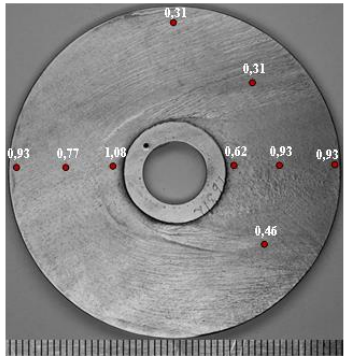
Результаты измерения скорости локальной коррозии (мм/год) по утонению ОСК

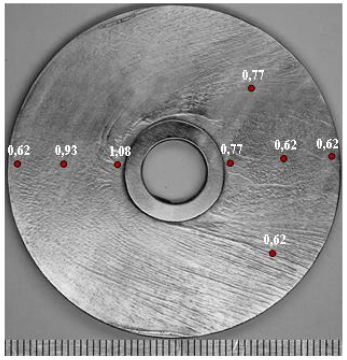
Сталь 09Г2С





Сталь 05Х3МФ

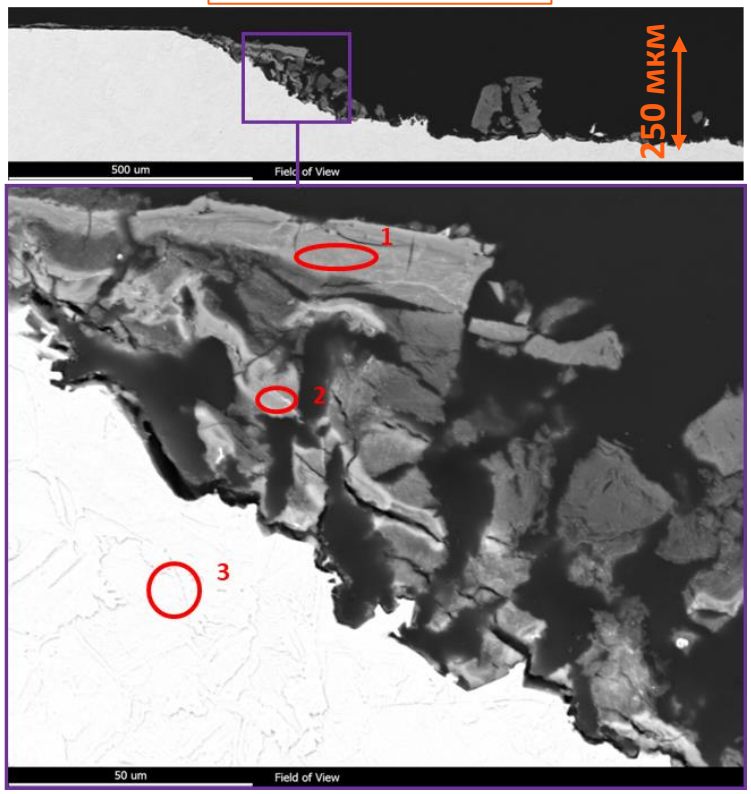




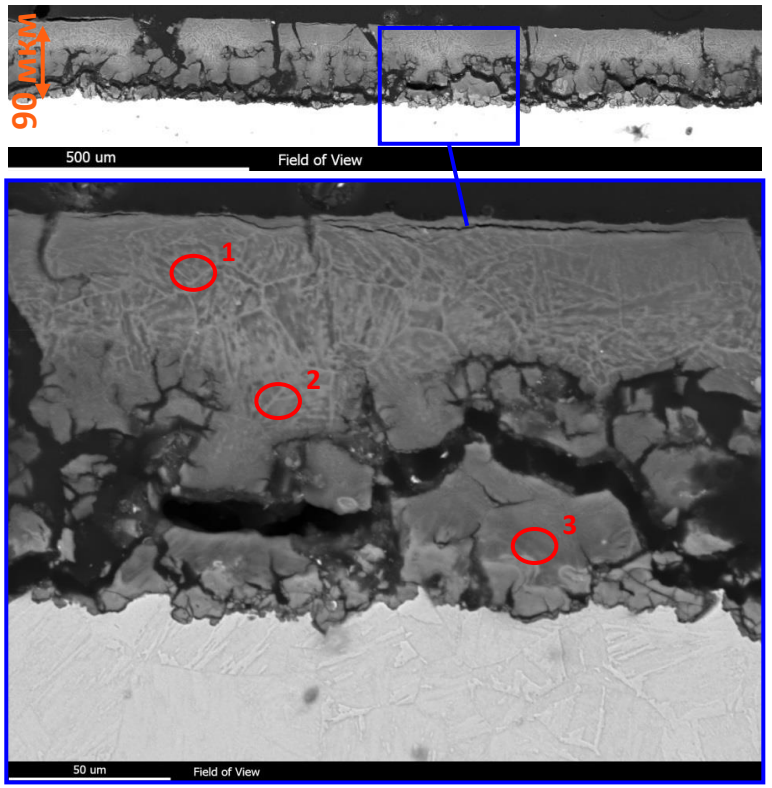
Вид сечения продуктов коррозии ОСК после ОПИ на скв. А 1-1

Вид и состав продуктов коррозии с поверхности образцов-свидетелей

Сталь 05Х1МФ



Сталь 05Х3МФ



	Массовая концентрация элементов, %										
	O	Si	Mo	Cl	Ca	V	Cr	Cu	Zn	Ni	Fe
1	23,26	0,31	1,98	0,49	1,56	1,57	15,25	-	5,60	-	Ост.
2	19,88	0,21	2,87	0,43	0,76	1,05	6,44	3,26	5,15	1,61	Ост.
3	-	0,70	0,34	-	-	-	1,37	-	-	-	Ост.

	Массовая концентрация элементов, %											
	O	Al	Si	S	Cl	Mo	Ca	V	Cr	Cu	Zn	Fe
1	19,91	0,22	0,32	1,80	0,41	-	1,26	0,90	21,23	1,96	3,95	Ост.
2	20,80	0,26	0,38	-	0,47	1,50	0,67	1,19	16,16	-	3,13	Ост.
3	10,87	-	1,10	-	0,43	1,53	-	0,55	7,38	3,09	-	Ост.

Внешний вид ОСК из сталей 05Х1МФ и 09Г2С после ОПИ на скв. А 17-2

Мольное содержание компонентов в пластовом флюиде на скважине А 17-1 (эксплуатационный режим)

№ скважины	Метан, мол %	Углеводороды C_2-C_4, мол %	Азот, мол %	Углекислый газ, мол %	Гелий, мол %	Водород, мол %	Потенциальное содержание УВ C_{5+} в составе пластового газа, г/м^3	Плотность СК, кг/м^3	Молярная масса СК, г/моль
А 17-2	83,065	12,052	0,159	0,798	0,005	0,001	217,04	792,2	152,33

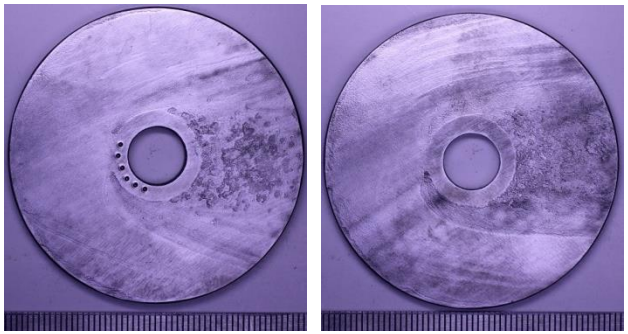
Образцы из ст. 09Г2С

до очистки

Нижний образец Средний образец Верхний образец



Нижний образец после очистки



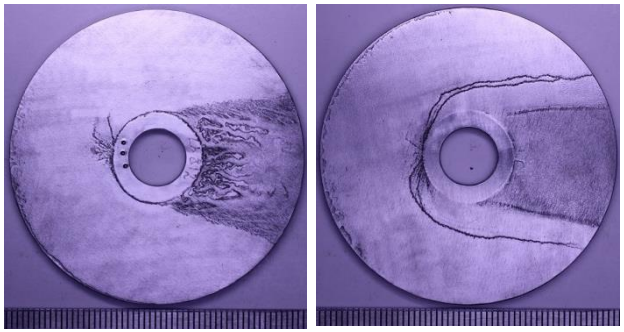
Образцы из ст. 05Х3МФ

до очистки

Нижний образец Средний образец Верхний образец

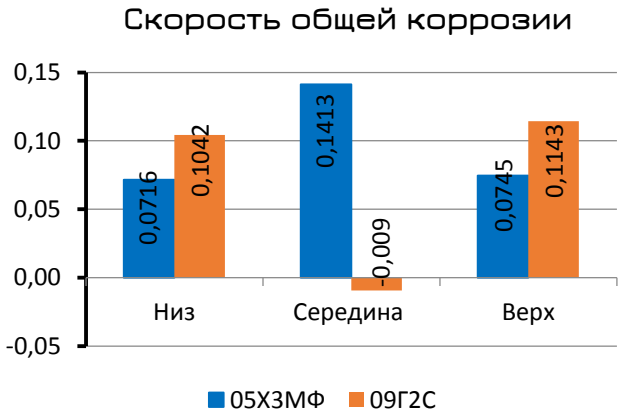


Нижний образец после очистки



Скорость коррозии ОСК из сталей 05Х3МФ и 09Г2С после ОПИ на скв. А 17-2

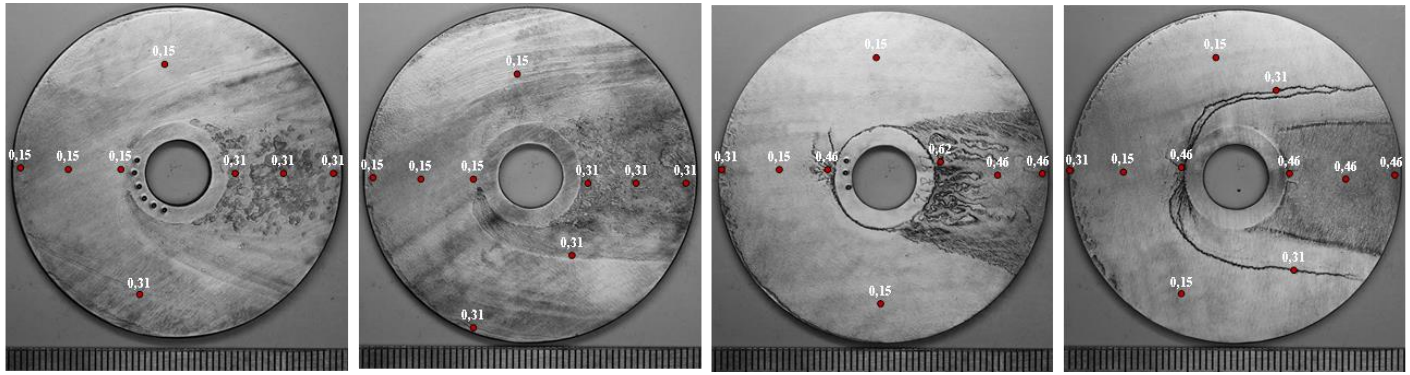
Марка стали	Располо-жение по высоте ОСК	Скорость общей коррозии с продуктами коррозии, мм/год	Скорость коррозии после очистки, мм/год		
		Гравиметрия	Грави-метрия	Среднее значение локальной коррозии	Максимальное значение локальной коррозии
Ст3	низ	0,0716	0,11	0,32	0,60
	середина	0,1413	-	-	-
	верх	0,0745	-	-	-
09Г2С	низ	0,1042	0,12	0,22	0,30
	середина	-0,009	-	-	-
	верх	0,1143	-	-	-



Результаты измерения скорости локальной коррозии (мм/год) по утонению ОСК

Сталь 09Г2С

Сталь 05Х3МФ



- Скорость коррозии в условиях ачимовской залежи в большей степени определяется не температурой и парциальным давлением CO_2, а свойствами углеводородной фазы. Скорость коррозии резко уменьшается, если корродирующая поверхность смачивается преимущественно углеводородами, а не водой.
- Благоприятные условия для смачивания поверхности образцов водной фазой создаются на участках, где поток замедляется: перед торцом образца, за крепежным штоком.
- Для скважин А-1, А-30 повышение содержания хрома в стали снижает скорость локальной и общей коррозии за счет формирования продуктов коррозии, обогащенных хромом и молибденом.
- Для скважины А-17, характеризующейся минимальной скоростью коррозии продукты коррозии не успевают сформироваться за 30 суток. Разницы между хромистыми сталями и сталью сравнения 09Г2С в данных условиях не наблюдается.

Чистопольцева Елена Александровна

моб. 89179429428
раб. 8(846)2073628
chistopolceva@its-samara.com

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

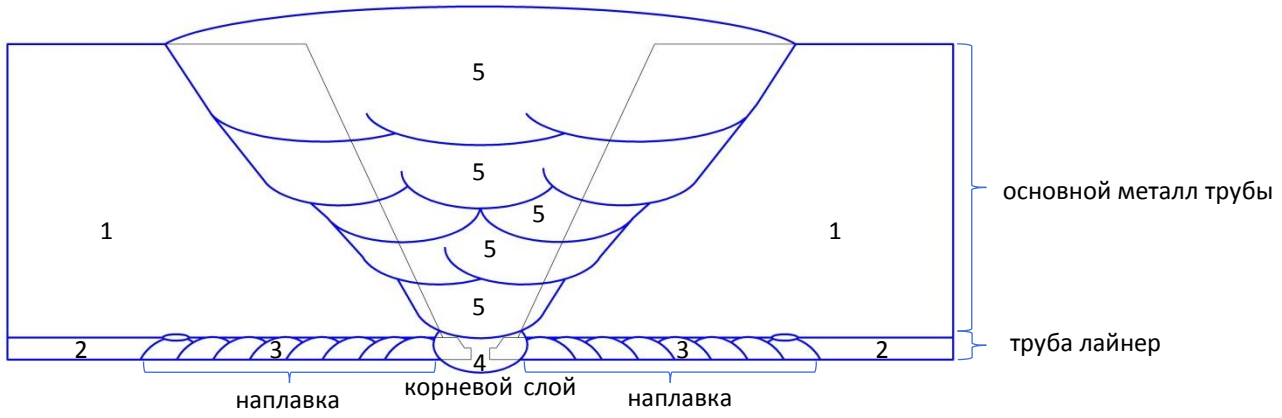
Особенности выполнения монтажных сварных швов биметаллических нефтегазопроводных труб

Докладчик:
Инженер отдела металловедения
Мачалкина Анна Николаевна

Особенности монтажной сварки биметаллических труб в условиях месторождения

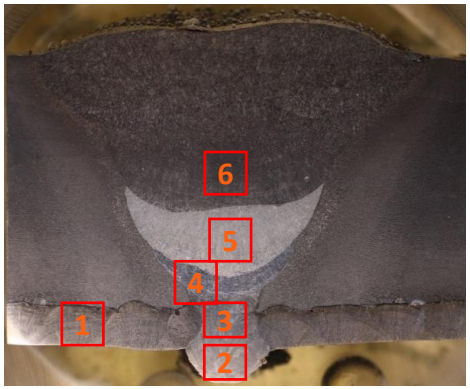
- односторонняя ручная сварка без внутреннего подварочного шва;
- неповоротное сварное соединение;
- традиционно используется сварка электродом;
- отсутствие макро- и микродефектов ;
- экономически обоснованные сварочные материалы.

1- основной металл (09Г2С)
2- труба лайнер (316L)
3 – наплавка (309L или Inconel 625)
4 – корневой слой (309L или 321)
5 – заполняющие слои (10Г2)



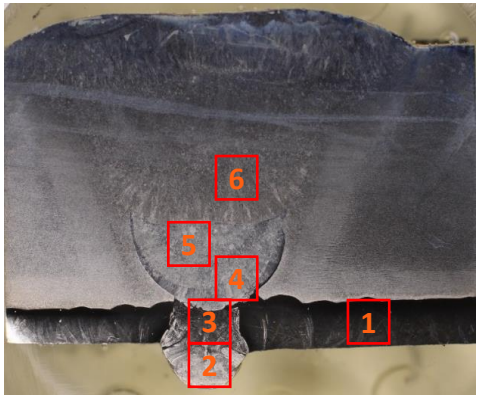
Контрольные швы футерованных труб Ø114х16 мм с наплавкой, выполненные двумя видами электродов

Наплавка 309L+корень 304+10Г2



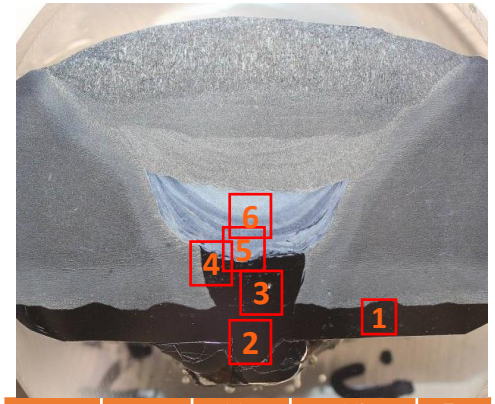
№ п/п	Cr	Mn	Ni	Fe
	Wt, %			
Обл.1	21,9	1,8	12,2	Ост.
Обл.2	18,7	0,8	9,0	Ост.
Обл.3	18,2	0,9	9,2	Ост.
Обл.4	17,5	0,8	8,0	Ост.
Обл.5	3,7	1,2	1,5	Ост.
Обл.6	1,5	1,4	-	Ост.
304/ 03Л22	17,0-19,0	<2,0	8,0-10,5	Ост.

Наплавка 625+корень 309L+10Г2

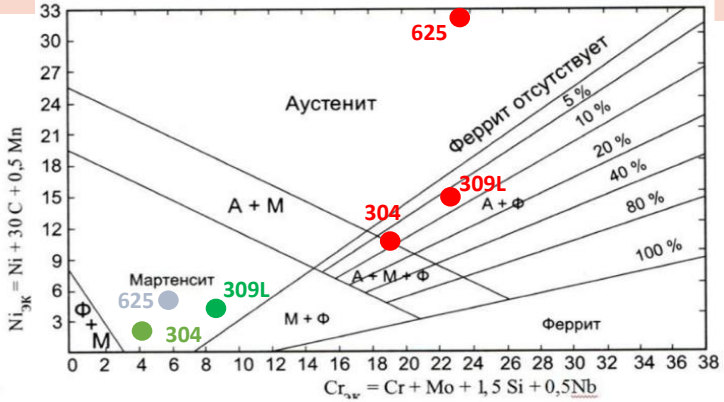


№ п/п	Mo	Cr	Mn	Ni	Fe
	Wt, %				
Обл.1	8,4	18,8	-	54,09	Ост.
Обл.2	1,4	18,8	0,8	17,3	Ост.
Обл.3	1,9	18,7	0,6	18,5	Ост.
Обл.4	0,7	6,8	0,7	4,0	Ост.
Обл.5	-	3,1	1,2	2,1	Ост.
Обл.6	-	0,7	1,4	0,4	Ост.
625	8,0-10,0	20,0-23,0	<0,50	>58,0	Ост.

Наплавка 309L+корень 309L+10Г2



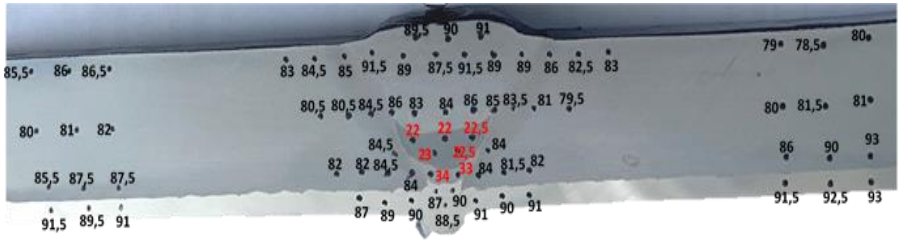
№ п/п	Cr	Mn	Ni	Fe
	Wt, %			
Обл.1	23,72	1,6	13,7	Ост.
Обл.2	23,75	1,6	14,5	Ост.
Обл.3	24,29	1,8	14,4	Ост.
Обл.4	8,9	1,7	4,5	Ост.
Обл.5	4,9	1,7	1,1	Ост.
Обл.6	2,7	1,6	-	Ост.
309L	22,0-26,0	1,0-2,5	11,0-14,0	Ост.



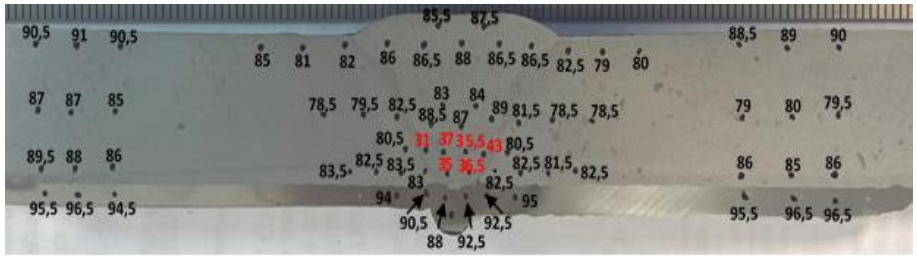
Контрольные швы футерованных труб Ø114х16 мм с наплавкой, выполненные двумя видами электродов

Результаты измерения твердости в различных зонах шва

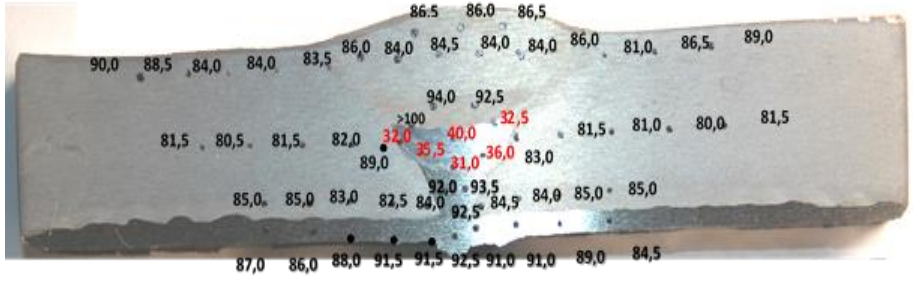
Наплавка 309L, корень 304,10Г2



Наплавка 625, корень 309L,10Г2



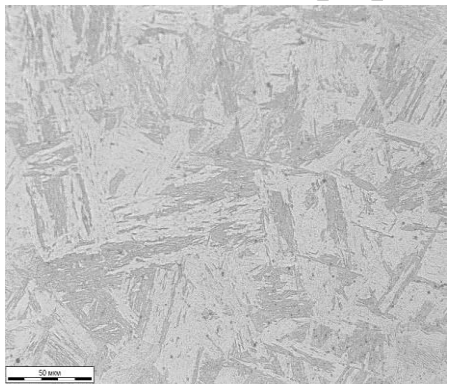
Наплавка 309L, корень 309 L, 10Г2

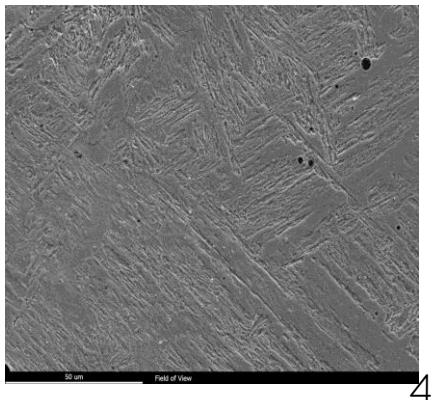


Ударная вязкость сварных соединений, выполненных двумя видами электродов

Марка стали	Температура испытания, °С	Ударная вязкость KCV^{-60}Ш, кгс•м/см^2 (Дж/см^2)
09Г2С+309L+304	-60	2,5 (25)
		1,8 (17)
		1,9 (18)
09Г2С+625+309	-60	1,6 (16)
		1,2 (12)
		1,1 (11)
09Г2С+309L+ 309L	-60	4,8 (47)
		1,8 (12)
		4,9 (48)
Требования ТУ 14-3Р-1128-2007		≥3,0 (29,4)

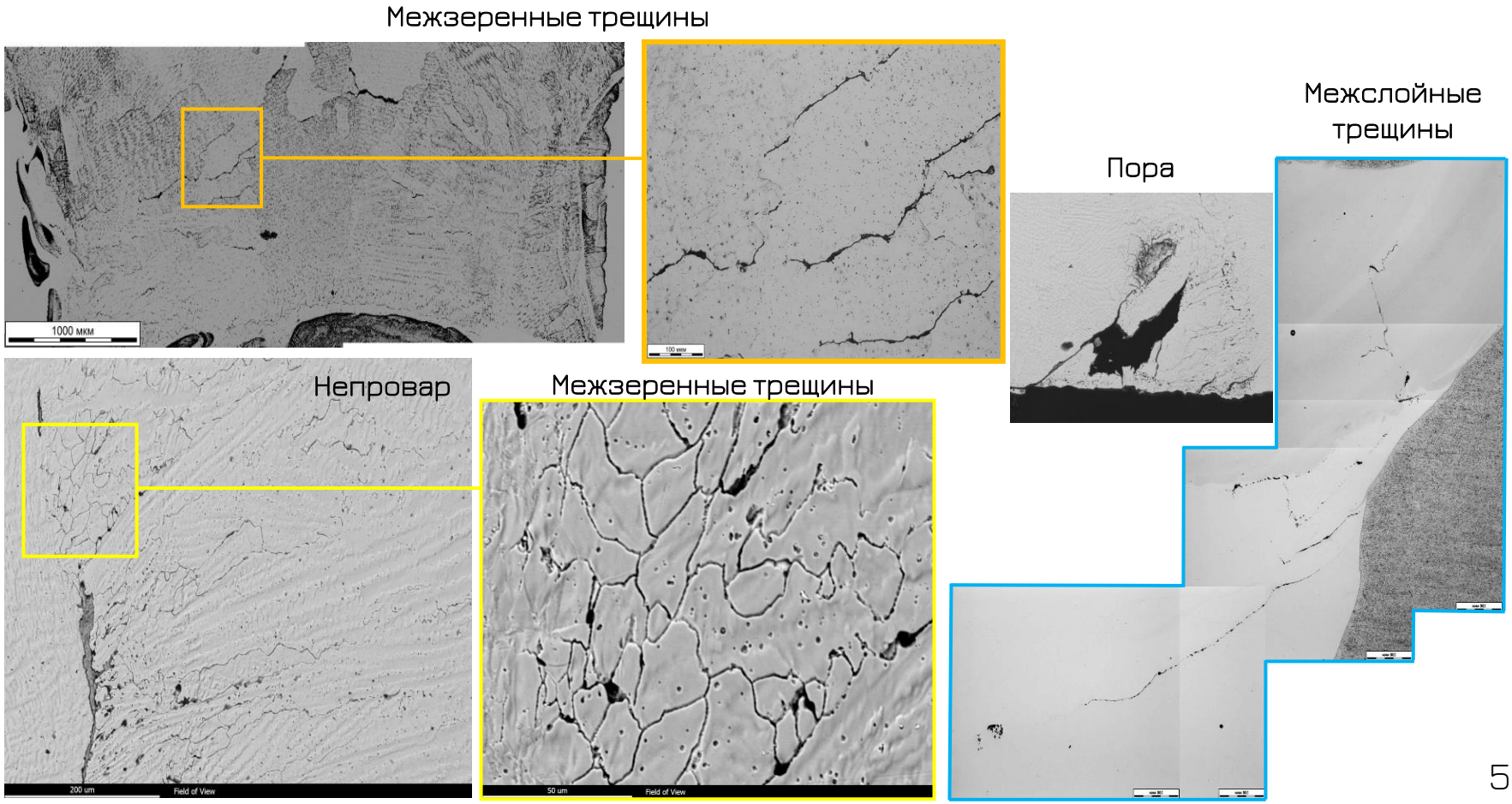
Микроструктура переходной области





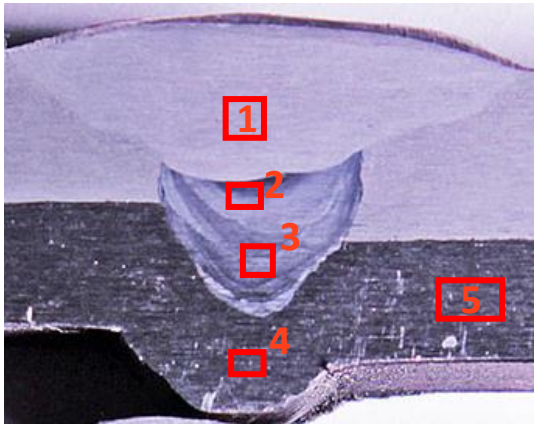
Контрольные швы футерованных труб Ø114х16 мм с наплавкой, выполненные двумя видами электродов

Типичные макро- и микродефекты сварного шва, выполненного двумя видами электродов



Монтажное сварное соединение труб с наконечниками (втулкой) из нержавеющей стали

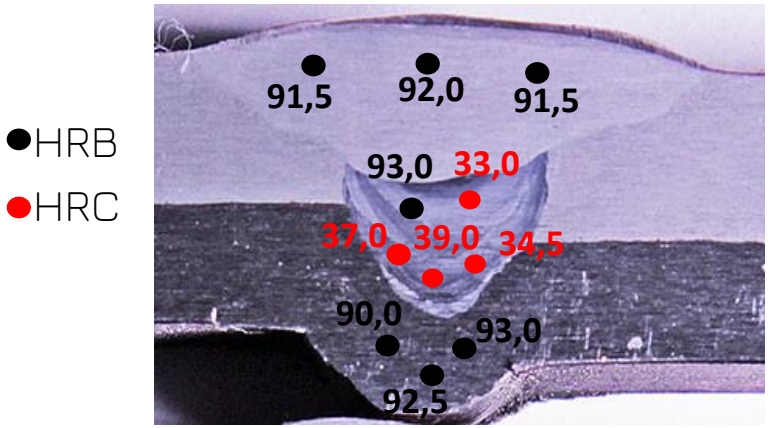




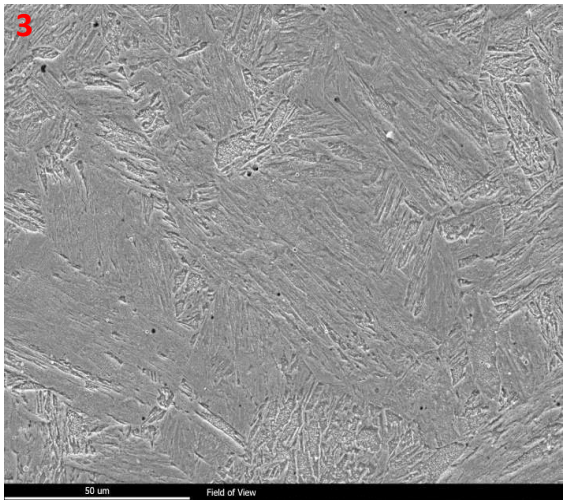
Локальный химический анализ

№ п/п	Si	Cr	Mn	Ni	Fe
	Wt. %				
Обл. 1	0,9	2,8	1,1	1,1	Ост.
Обл. 2	0,8	5,8	1,1	2,6	Ост.
Обл. 3	1,1	7,5	1,0	3,6	Ост.
Обл. 4	1,1	18,1	1,0	9,5	Ост.
Обл. 5 (304)	0,9	17,9	0,8	8,1	Ост.

Значения твердости по Роквеллу

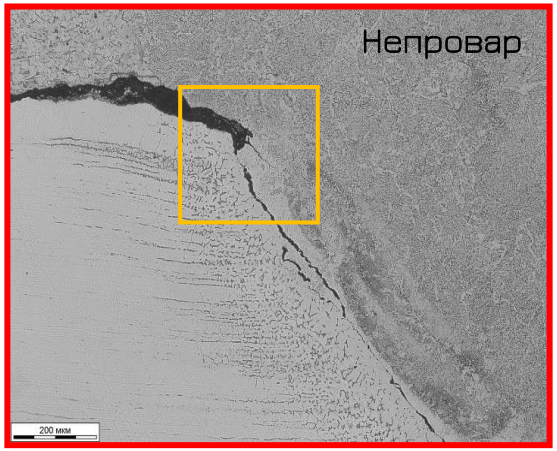


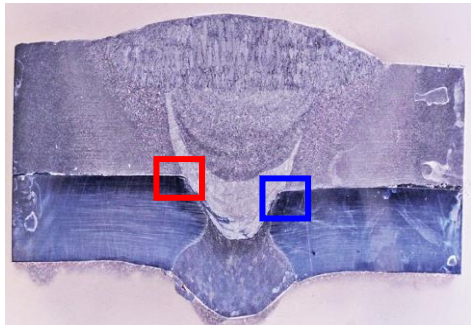
Микроструктура переходной области

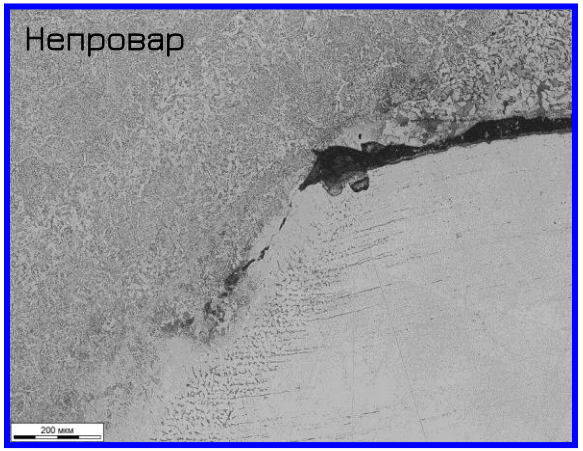


Макро- и микродефекты монтажного сварного соединения труб с наконечниками (втулкой) из нержавеющей стали

Оптическая микроскопия дефектов сварного соединения

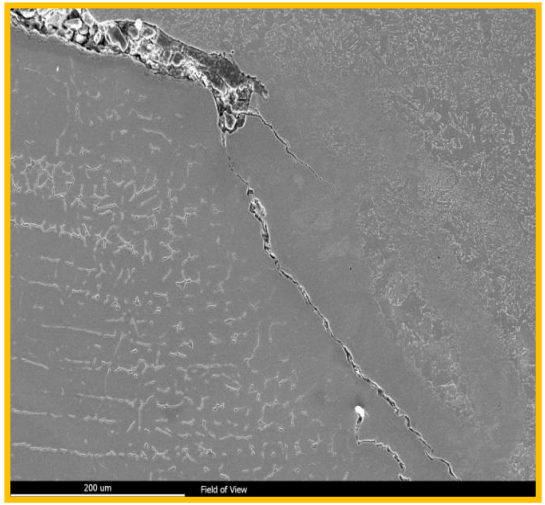






Электронная микроскопия дефектов сварного соединения

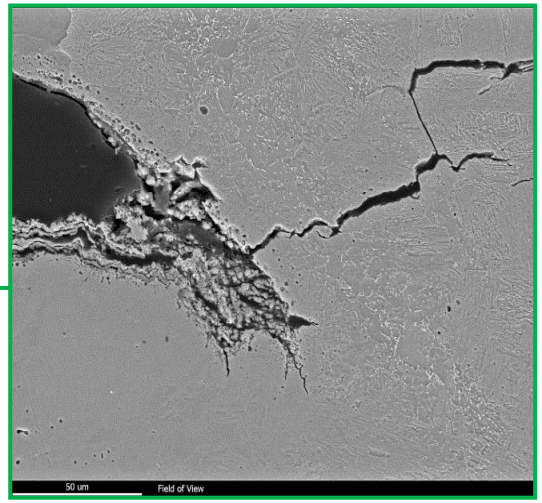
Трещина по линии сплавления



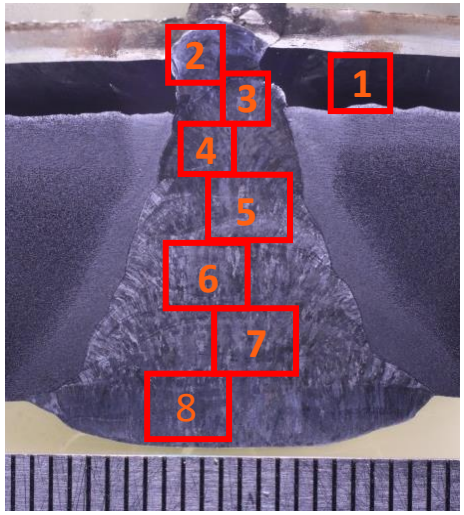
Непровар



Трещина в переходной области



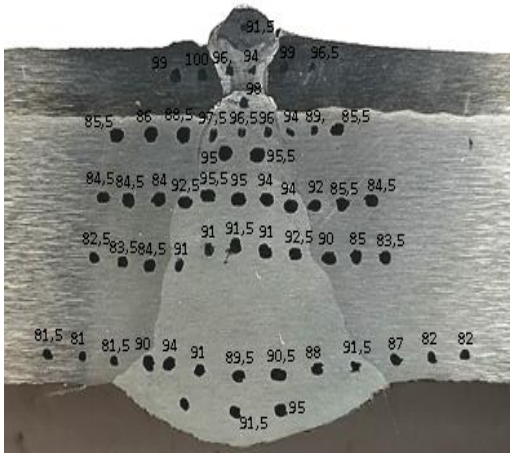
Монтажные сварные швы футерованных труб Ø114х16 мм с наплавкой, выполненные электродом Cr-Ni (304) по всей толщине



Локальный химический анализ

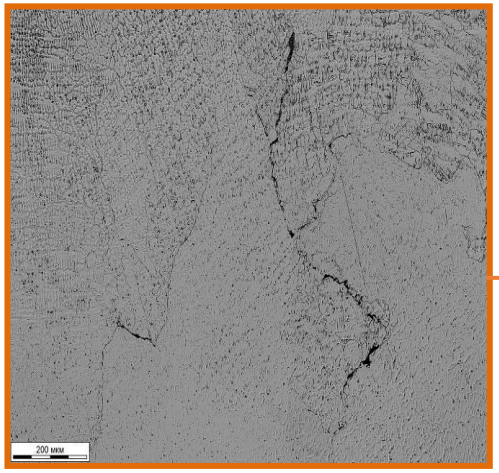
№ п/п	Si	Nb	Mo	Cr	Mn	Ni	Fe
	Wt, %						
Обл.1	0,2	3,5	6,8	17,9	0,2	50,7	Ост.
Обл.2	0,9	1,2	2,5	18,1	1,1	22,6	Ост.
Обл.3	1,0	-	0,7	19,2	1,5	12,4	Ост.
Обл.4	1,0	-	0,4	19,5	1,7	9,0	Ост.
Обл.5	1,9	-	0,4	16,9	2,0	7,4	Ост.
Обл.6	1,8	-	0,6	16,1	1,9	7,0	Ост.
Обл.7	1,7	-	-	16,07	1,7	7,1	Ост.
Обл.8	1,7	-	-	15,8	1,7	6,7	Ост.
Наплавка 10Х17Н13М2	<0.8	-	2,0-3,0	16,0-18,0	<2,0	12,0-14,0	Ост.
304 03Х18Н11	<0,75	-	-	18,0-20,0	<2,0	8,0-12,0	Ост.

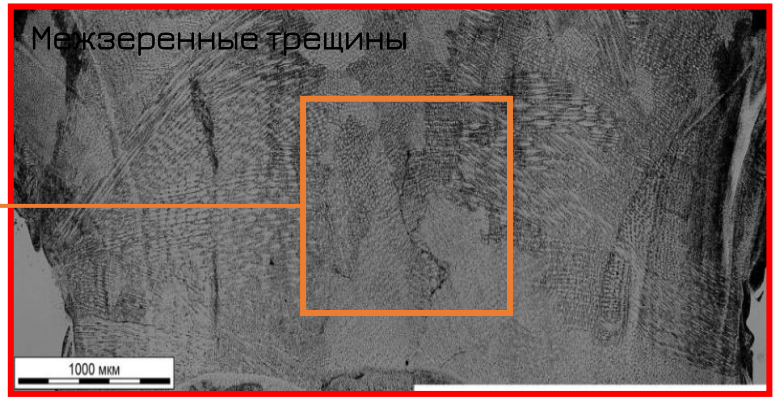
Значения твердости, HRB

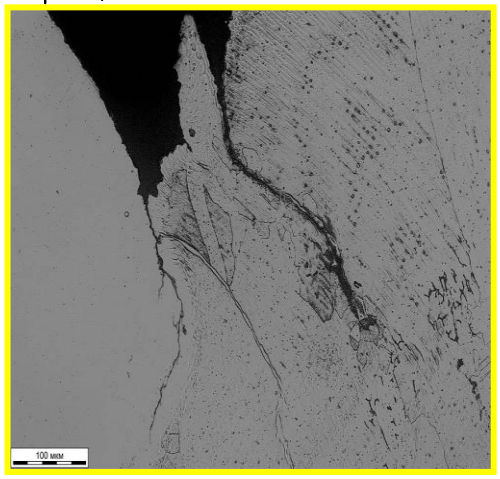


Непровар +Межзеренные трещины

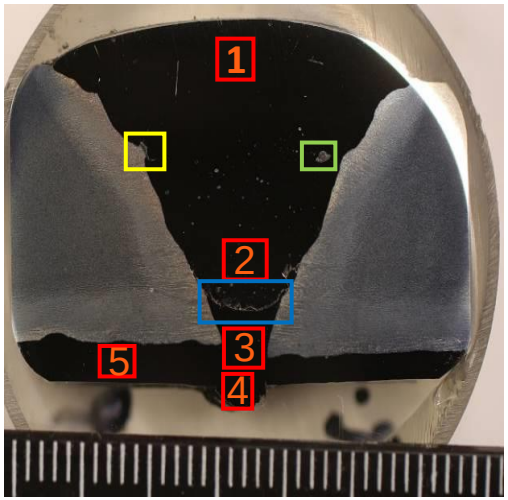
Макро- и микродефекты сварного шва







Монтажные сварные швы футерованных труб Ø114x16 мм с наплавкой, выполненные электродом Cr-Ni (309L) по всей толщине

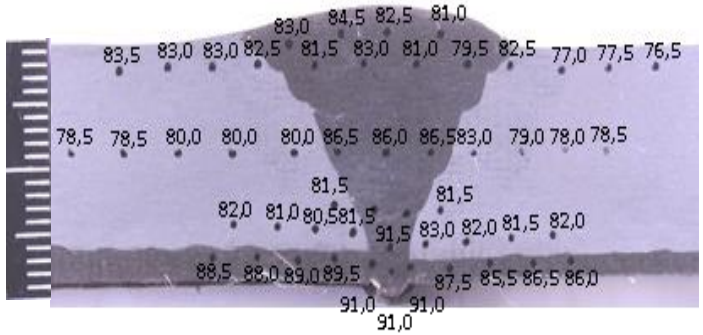


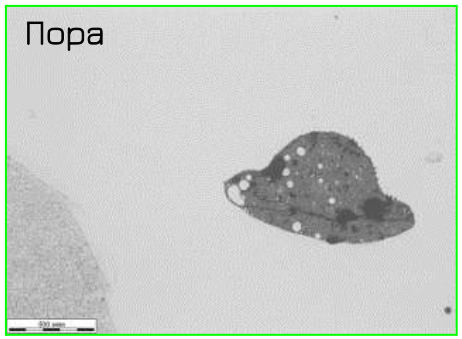
Макро- и микродефекты сварного соединения

Локальный химический анализ

№ п/п	Si	Cr	Mn	Ni	Fe
	Wt, %				
Обл.1	0,7	22,3	1,5	12,2	Ост.
Обл.2	0,6	22,5	1,6	12,3	Ост.
Обл.3	0,6	24,0	1,5	13,4	Ост.
Обл.4	0,5	24,5	1,6	13,2	Ост.
Обл.5 Наплавка (309L)	0,9	23,8	1,6	12,8	Ост.

Значения твердости, HRB







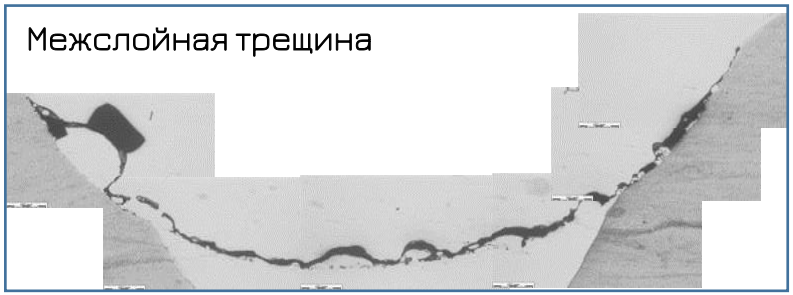
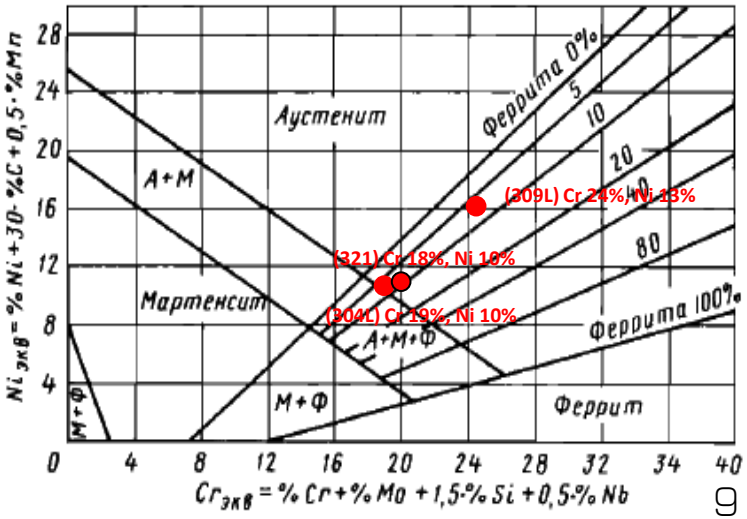
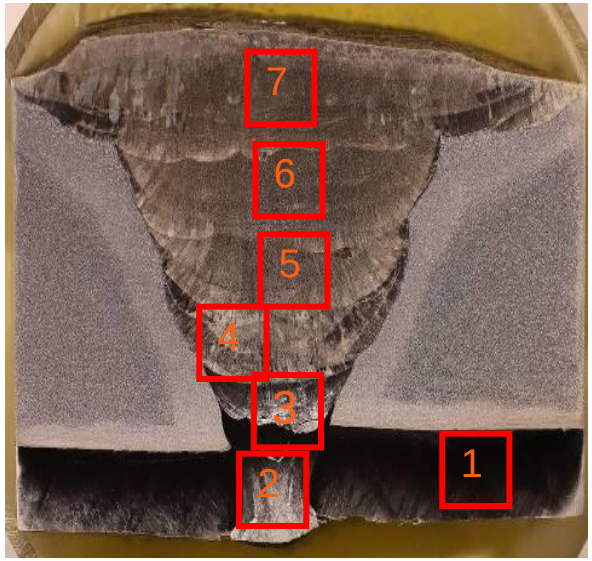


Диаграмма Шеффлера



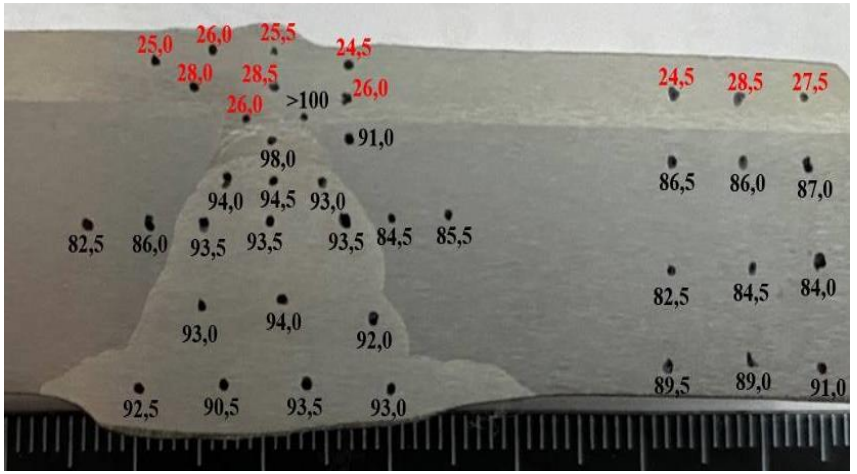
Контрольный шов футерованных труб Ø114х16 мм с наплавкой, выполненный электродом Cr-Ni (309L) в защитной среде

Локальный химический анализ



№ п/п	Si	Nb	Mo	Cr	Mn	Ni	Fe
	Wt, %						
Обл.1 наплавка 625	-	3,4	8,2	21,1	0,08	63,8	Ост.
Обл.2	0,4	3,8	7,7	19,9	0,7	56,5	Ост.
Обл.3	0,8	1,0	1,3	22,8	2,2	19,5	Ост.
Обл.4	0,7	-	-	22,0	2,4	12,0	Ост.
Обл.5	0,6	-	-	23,0	2,5	12,3	Ост.
Обл.6	0,7	-	-	23,5	2,6	13,1	Ост.
Обл.7	0,7	-	-	21,6	2,5	11,8	Ост.

Значения твердости

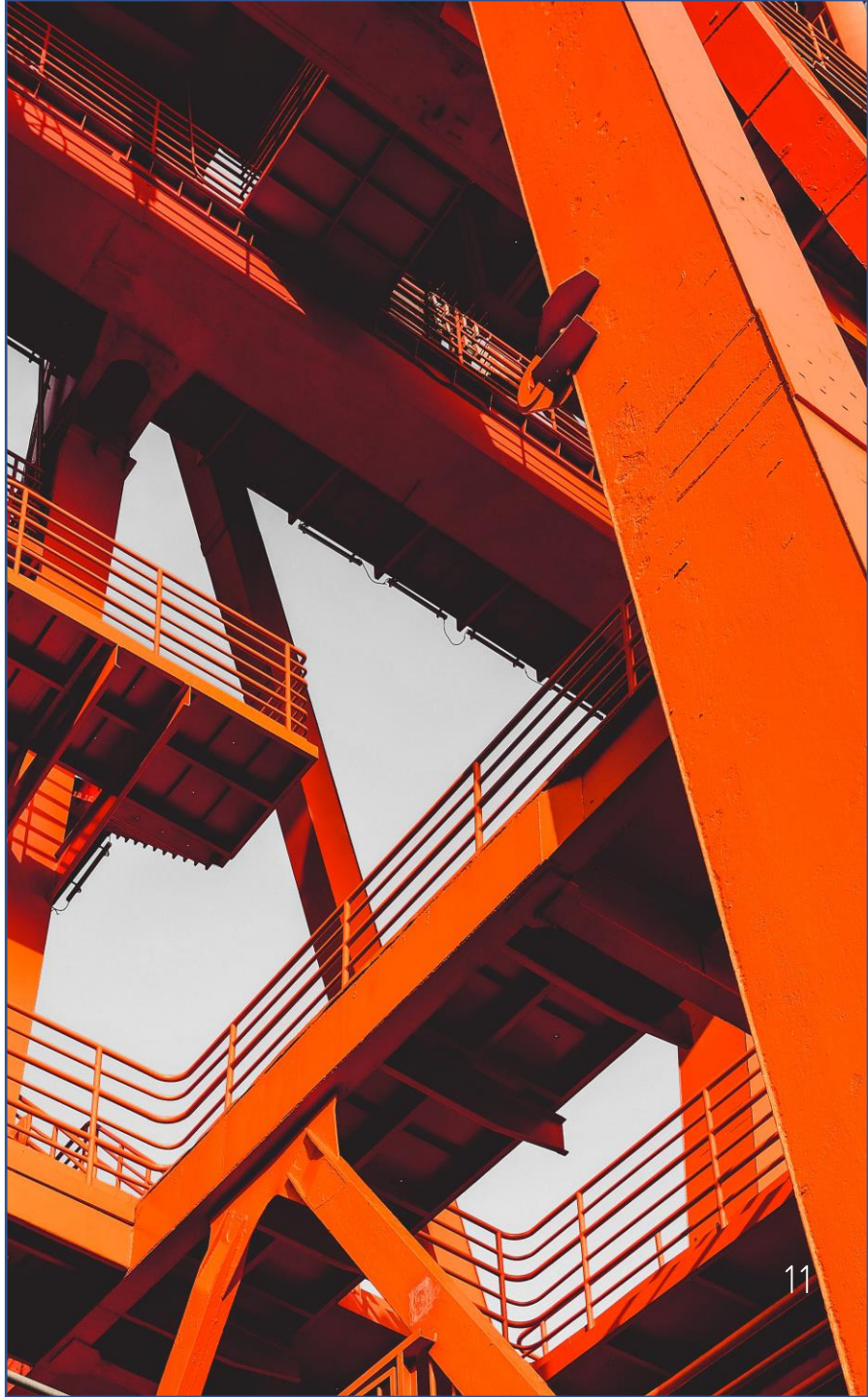


Ударная вязкость сварного соединения, выполненного одним видом электрода

№ обр.	Работа удара, KV, кгс•м	Ударная вязкость KCV^{-60}Ш, кгс•м/см^2 (Дж/см^2)
09Г2С+625+309L	8,9	11,2 (109)
	9,6	12,0 (118)
	8,8	11,0 (108)
Требования ТУ 14-3Р-1128-2007	-	≥3,0 (29,4)

ВЫВОДЫ

Необходимо разработать технические требования к технологии проведения монтажной сварки биметаллических труб, которые должны регламентировать:
-материал исполнения шва и режим сварки
- форма кромок
- допустимые и недопустимые дефекты сварного шва
-требования по коррозионной стойкости к МКК и питтингу





РОСНЕФТЬ

Практический опыт применения сварочных технологий при ремонте запорной арматуры из стали марки ASTM A350 LF3.

А.О. Худяков, к.т.н., главный специалист
Р.Т. Шафиков, начальник отдела технологического анализа и мониторинга
ООО «РН-БашНИПИнефть»

VI научно-техническая конференция «Коррозия в нефтяной и газовой промышленности»
г. Самара, 2022

Введение

Важным элементом промысловых и технологических трубопроводов является запорная и запорно-регулирующая арматура. Основными видами запорной арматуры, применяемыми в трубопроводном транспорте нефти и газа, являются задвижки и шаровые краны. Именно шаровой кран становится наиболее популярным решением в нефтегазовой сфере по сравнению с другими запорными устройствами. Это обусловлено быстротой закрытия и открытия, надежностью и долговечностью конструкции, возможностью простого внешнего контроля положения запорного органа. Шаровые краны используются на нефтепроводах и газопроводах для осуществления перекрытия транспорта сред.

Шаровые краны имеют различные типы соединения с трубопроводом: муфтовые, фланцевые, штуцерные и приварные. При транспортировке газа и газового конденсата с целью исключения утечек применяют приварные шаровые краны.

Шаровой кран с приварным типом соединения

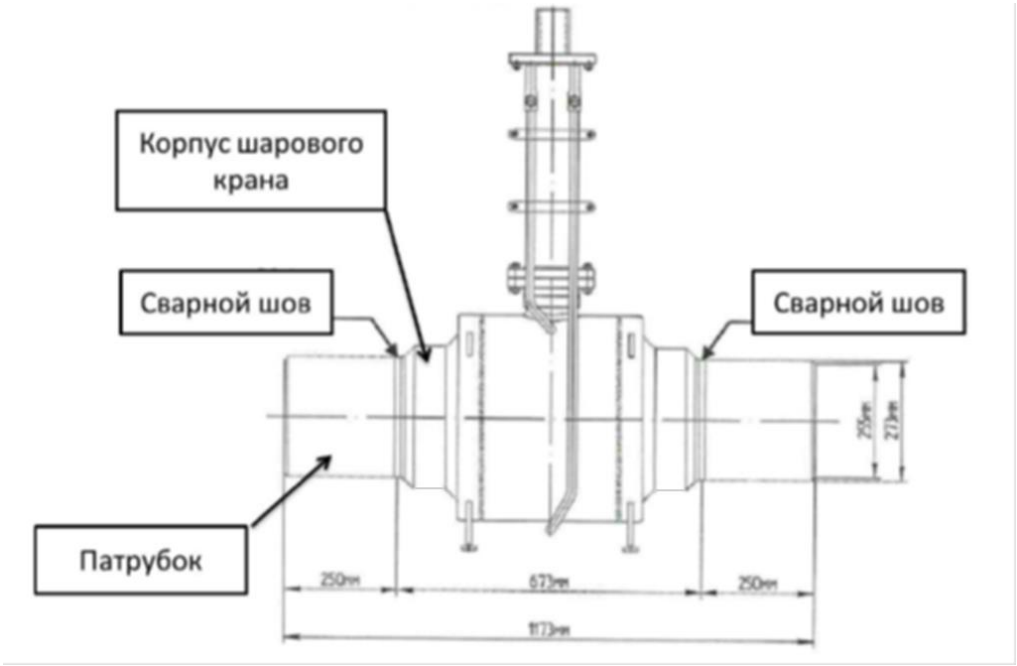


Цели и задачи исследования

Для удобства монтажа шаровых кранов в трассовых условиях к шаровому крану приваривают монтажные патрубки из стали, соответствующей материалу трубопровода.

Корпус шарового крана может быть изготовлен из различных марок стали в зависимости от эксплуатационных требований. Одним из материальных исполнений корпуса шарового крана является никелевая сталь категории LF3 по ASTM A 350 (российский аналог – сталь марки 13Н5А), легированная до 4% никелем. Несмотря на хорошие технологические и эксплуатационные свойства данных сталей их сварка может быть затруднена из-за их склонности к закалке в зоне термического влияния (ЗТВ).

Принципиальная схема шарового крана DN250



Цель работы:

Разработка параметров режимов сварки корпуса шарового крана из стали LF3 по ASTM A350 с монтажным патрубком, исключающих образование холодных трещин и обеспечивающих высокий уровень вязкопластических свойств.

Задачи исследования:

1. Оценить свариваемость стали LF 3;
2. Выполнить анализ скоростей охлаждения на участке перегрева с помощью численного моделирования тепловых полей посредством метода конечных элементов;
3. Разработать технические решения для обеспечения скоростей охлаждения в целевом диапазоне.

Свойства стали LF3

Химический состав исследуемой стали LF3 по ASTM A350

Элемент	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Mo
Доля, мас.%	Не более 0,20	0,15-0,35	Не более 0,9	Не более 0,040	Не более 0,040	Не более 0,30	3,3 – 3,7	Не более 0,30	Не более 0,12

Химический состав исследуемой стали LF3 по ASTM A350

Марка стали	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение, %	Работа удара KV при -100°C, мин., Дж
LF3ASTM A350	Не менее 260	485-655	Не менее 22	20

$$C_{экв} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

$C_{экв}$=0,573

Ориентировочную оценку свариваемости стали проводили на основании химического состава, пользуясь значением углеродного эквивалента, рассчитанного по формуле международного института сварки.

Сталь LF3 обладает довольно высоким углеродным эквивалентом $C_{экв=}$0,573, склонна к образованию закалочных структур в зоне термического влияния (ЗТВ) и, соответственно, склонна к образованию холодных трещин после сварки.

В связи со склонностью металла корпуса шарового крана к закалке необходимы тщательный подбор сварочных материалов и разработка специальных технологических мер, предотвращающих образование холодных трещин и охрупчивание сварного соединения.

Никель существенно повышает устойчивость аустенита в стали и существенно снижает критическую скорость охлаждения. Поэтому стали с 3,5% никеля закаливаются на воздухе и в условиях сварочного нагрева и охлаждения могут формировать структуры мартенсита в ЗТВ. Образующиеся структуры и их количественные соотношения практически определяются продолжительностью охлаждения стали в интервале температур 800—500° С. Оптимальный диапазон скоростей охлаждения при сварке для никелевых сталей составляет 7-30 ºС/с.

Выбор сварочных материалов

Для предотвращения образования холодных трещин в ЗТВ сварного соединения сварку необходимо выполнять электродами с основным типом покрытия и с минимальным содержанием водорода в нем.

Обеспечение высокого качества сварного соединения может быть достигнуто за счет применения сварочных материалов близких по химическому составу к металлу шарового крана. Применение таких сварочных материалов приведет к минимизации механической, структурной и химической неоднородности и позволит предотвратить растрескивание и охрупчивание сварных соединений.

Для обеспечения вышеуказанных условий были выбраны следующие сварочные материалы для ручной дуговой сварки:

1. Электроды марки LB-52U фирмы KOBELCO диаметром 2,6 мм для выполнения корневого валика сварного шва;
2. Электроды марки Fox 2,5Ni фирмы Bohler диаметром 3,2 мм для выполнения заполняющих и облицовочных валиков.

Типовой химический состав наплавленного металла выбранными электродами

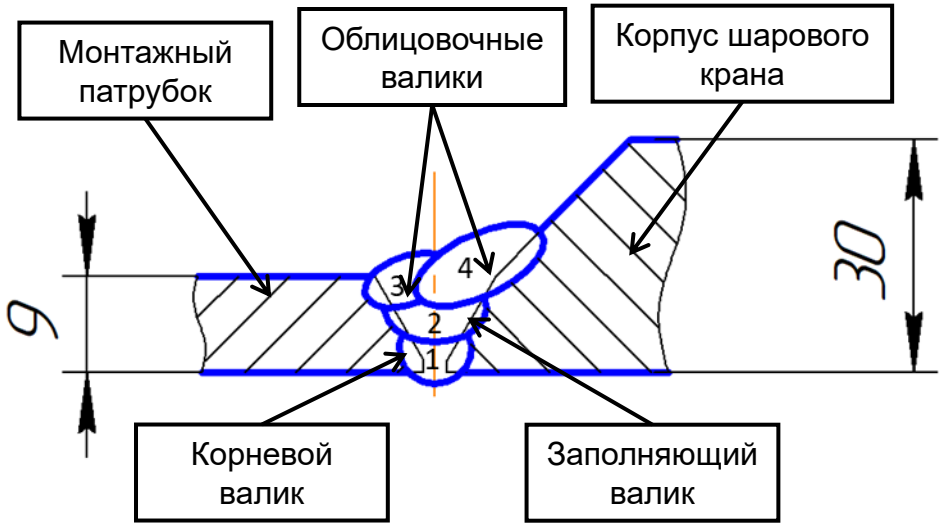
Марка сварочных электродов	Химический состав наплавленного металла, % по массе				Содержание диффузионного водорода, мл/100 г:
	C	Si	Mn	Ni	
LB-52U	0,06	0,51	1,02	0,01	1,5…1,9
Fox 2,5Ni	0,04	0,3	0,8	2,5	<4

Типовые механические свойства наплавленного металла выбранными электродами

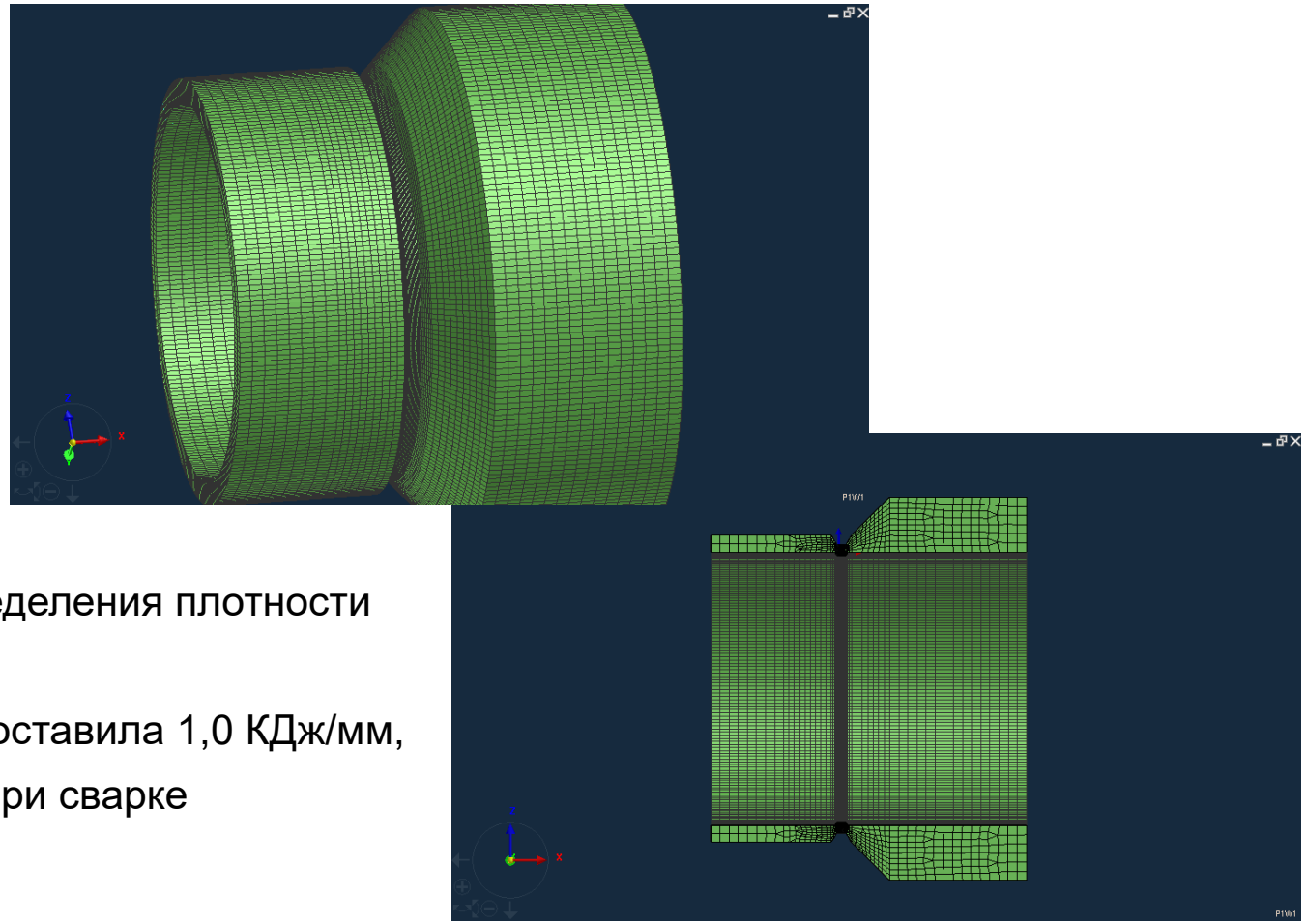
Механические свойства наплавленного металла					
Марка электродов	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Относит. удлинение, %	Работа удара KV, Дж	
				+20°C	-80°C
LB-52U	441	546	31	160	
Fox 2,5Ni	490	570	30	180	110

Конечно-элементное моделирование процесса сварки кольцевого шва

Схема наложения сварочных валиков



Конечно-элементная модель сварного соединения



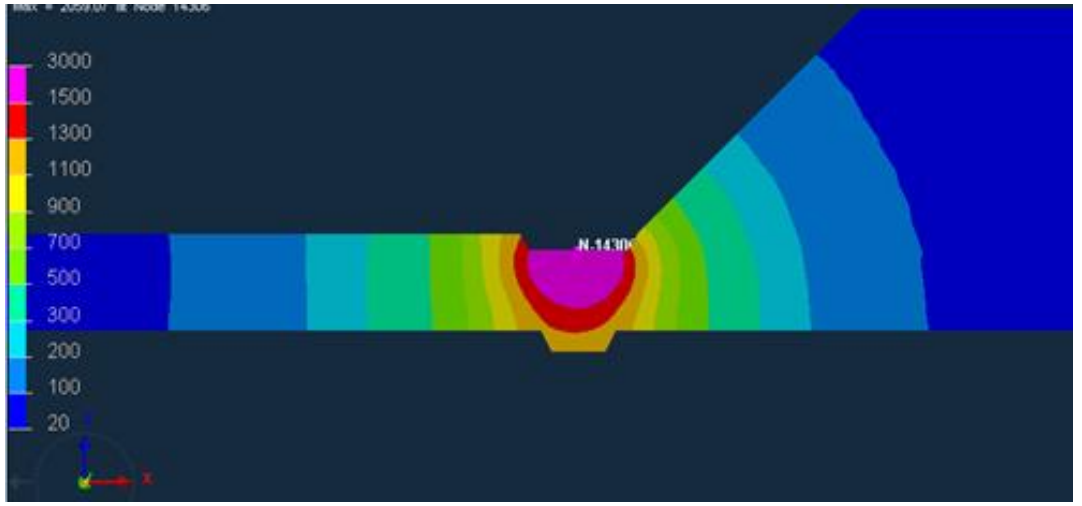
- В конечно-элементной модели сварки для распределения плотности тепловыделения принята модель Дж. Голдака.
- Погонная энергия при сварке корневого валика составила 1,0 КДж/мм, при сварке заполняющего валика - 2,0 КДж/мм, при сварке облицовочных валиков – 2,2 КДж/мм

Распределение максимальных температур при сварке на базовом варианте

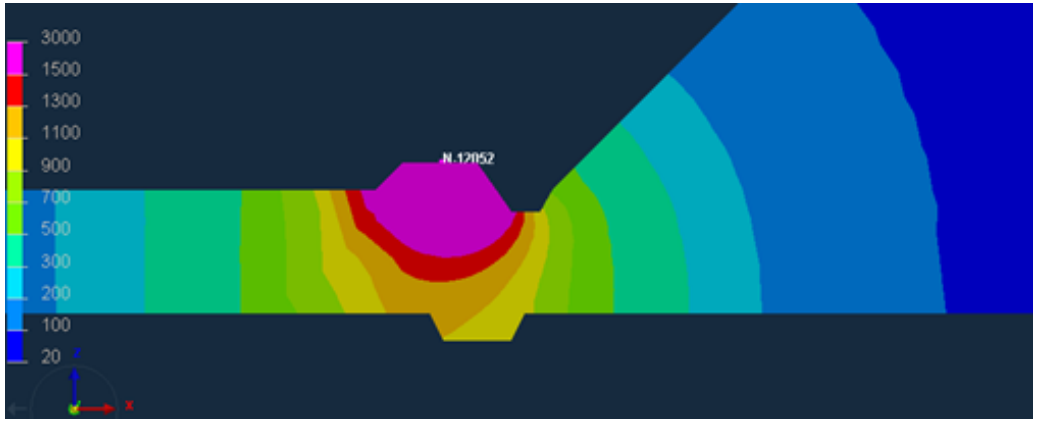
Сварка корневого валика



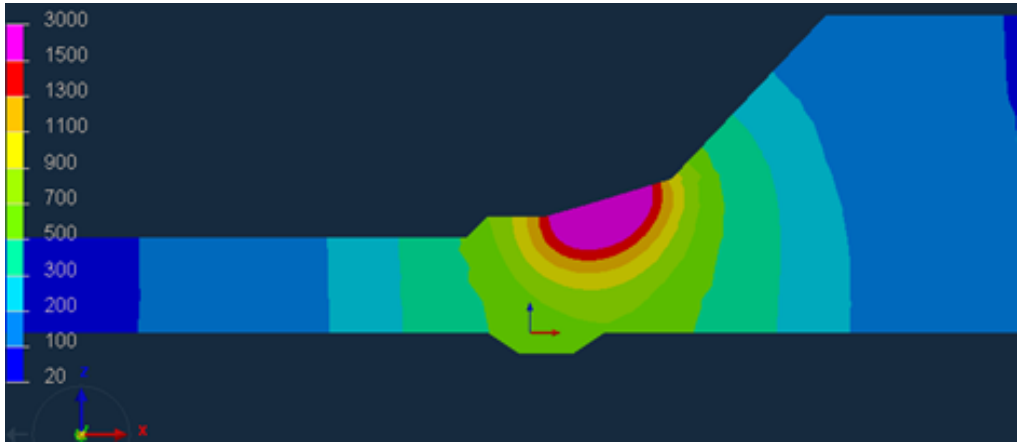
Сварка заполняющего валика



Сварка первого облицовочного валика

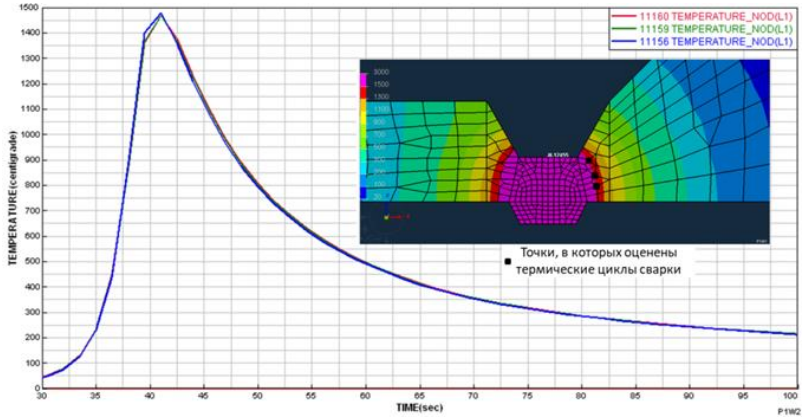


Сварка второго облицовочного валика

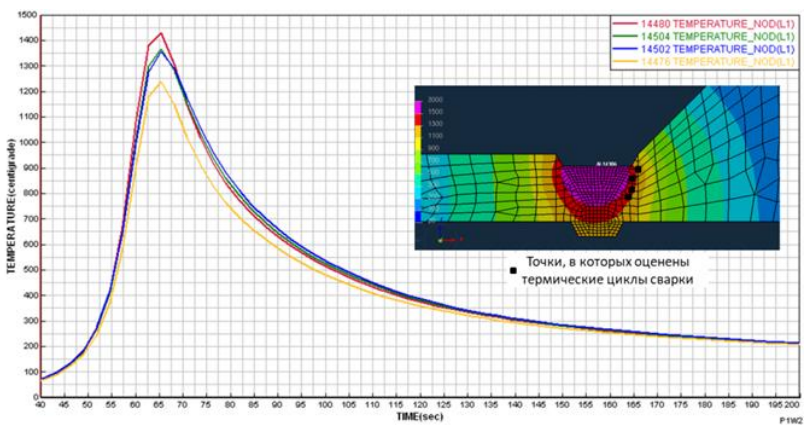


Термические циклы сварки при сварке на базовом варианте

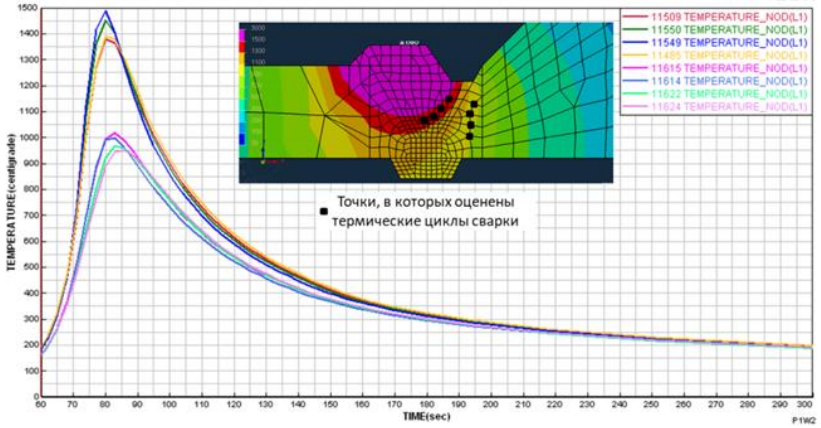
Сварка корневого валика



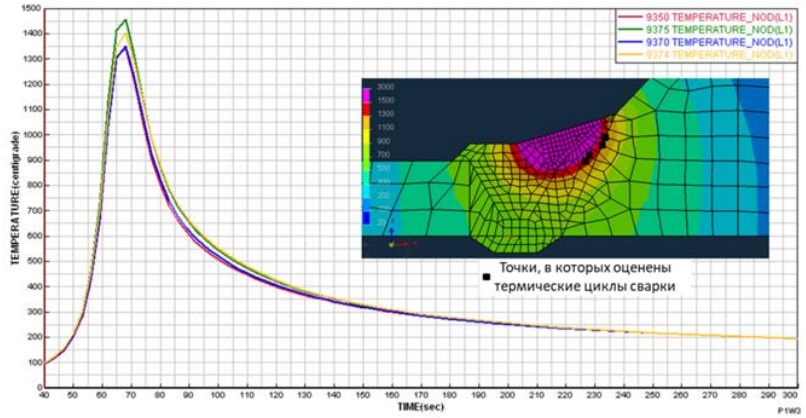
Сварка заполняющего валика



Сварка первого облицовочного валика



Сварка второго облицовочного валика



Результаты измерения скоростей охлаждения в области перегрева ЗТВ при базовом варианте сварки

№ и наименование сварочного валика	Погонная энергия сварки, Q, кДж/мм	Время охлаждения в интервале температур 800-500 ºС, $t_{8/5}$, с.	Скорость охлаждения в интервале температур 800-500ºС, $w_{8/5}$, ºС/с.
1. Корневой	1,0	8,5-9	33-35
2. Заполняющий	2,0	9,5-10	30-31,6
3. Облицовочный	2,2	26-28	10,7-11,5
4. Облицовочный	2,2	20-21	14,3-15

Твердость металла в ЗТВ достигала 380-400 HV10, что объясняется образованием бейнитной и мартенситной фаз в ЗТВ сварного соединения шарового крана.

Расчет температуры предварительного и сопутствующего подогрева

Для предотвращения образования закалочных структур в ЗТВ и снижения твердости было принято решение выполнять предварительный и сопутствующий подогрев при сварке.

Расчет температуры предварительного и сопутствующего подогрева выполняли в соответствии с EN 1011-2:2001 Welding – Recommendations for welding of metallic materials. Part 2: Arc welding of ferritic steels

$$T_p = 697 \cdot CET + 160 \cdot th\left(\frac{d}{35}\right) + 62 \cdot HD^{0,35} + (52 \cdot CET - 32) \cdot Q - 328$$

где $CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+Cu}{20} + \frac{Ni}{40}$ – специальный эквивалент углерода стали,%;

d – толщина стали, мм;

HD – исходная концентрация диффузионного водорода в металле шва, мл/100 г;

Q – погонная энергия сварки, кДж/мм;

$th(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$ – гиперболический тангенс ($x = \frac{d}{35}$).

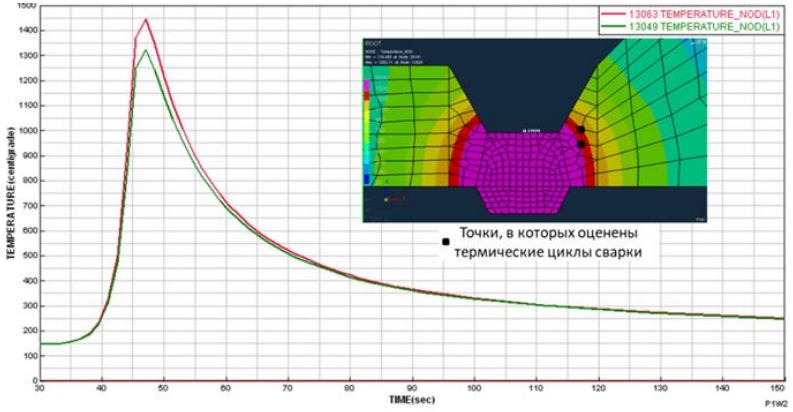
По результатам расчета температура предварительного подогрева перед сваркой составила **$T_{пп}$=146ºС**, а температура сопутствующего подогрева **$T_{сп}$=141ºС**. Было принято выполнять предварительный и сопутствующий подогрев до температур

$T_{пп}$=150ºС **Тсп=150ºС**

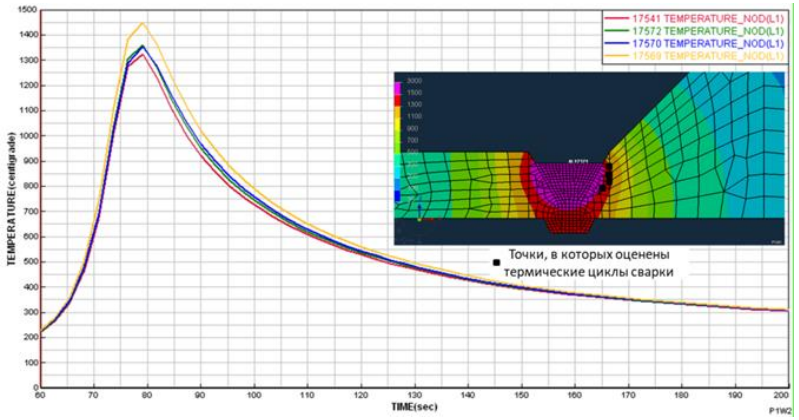
Для предотвращения образования холодных трещин и снятия остаточных сварочных напряжений рекомендуется выполнять послесварочный нагрев до 300ºС.

Термические циклы сварки при сварке с предварительным и сопутствующим подогревом

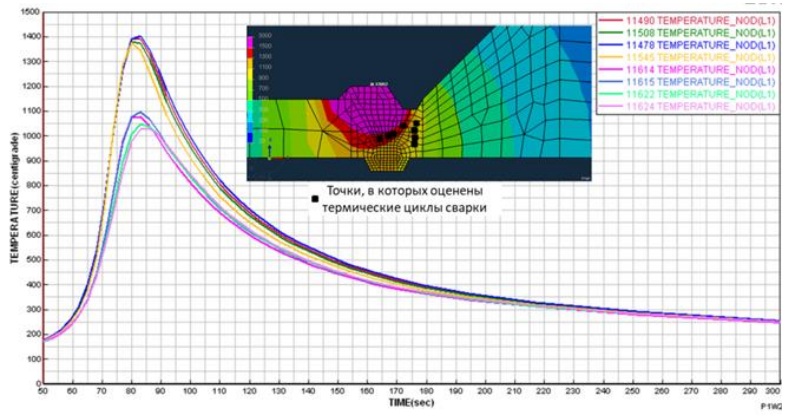
Сварка корневого валика



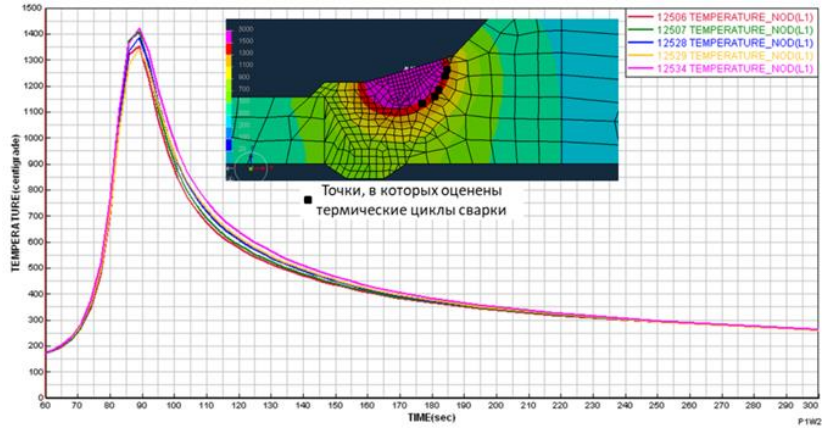
Сварка заполняющего валика



Сварка первого облицовочного валика



Сварка второго облицовочного валика



Результаты измерения скоростей охлаждения в области перегрева ЗТВ при сварке с предварительным и сопутствующим подогревом

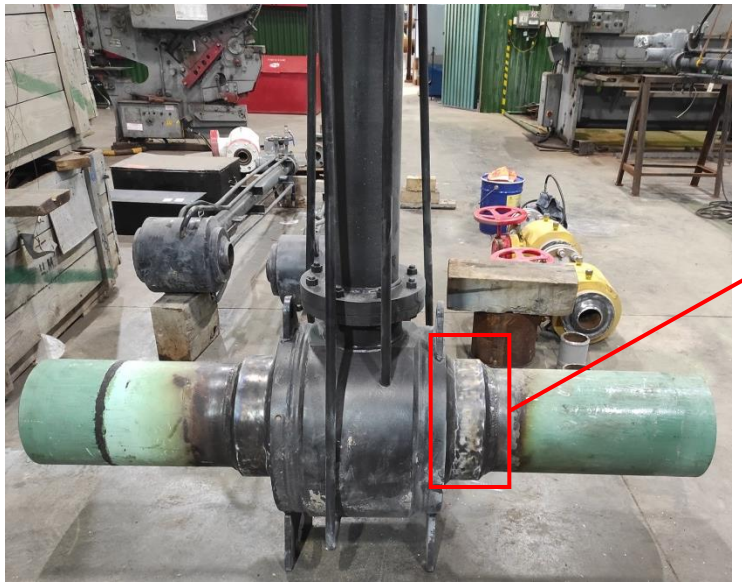
№ и наименование сварочного валика	Температура подогрева	Погонная энергия сварки, Q, кДж/мм	Время охлаждения в интервале температур 800-500 ºС, $t_{8/5}$, с.	Скорость охлаждения в интервале температур 800-500ºС, $w_{8/5}$, ºС/с.
1. Корневой	150	1,0	13,5-14,5	20,1-22,2
2. Заполняющий	150	2,0	27,5-28,5	10,5-11,0
3. Облицовочный	150	2,2	36,0-38,0	10,7-11,5
4. Облицовочный	150	2,2	30,0-32,0	9,4-10,0

Промышленное опробование разработанной технологии сварки

Была выполнена сварка корпуса шарового крана с монтажным патрубком с предварительным и сопутствующим подогревом до температуры 150ºС. После завершения сварки выполняли нагрев сварного соединения до 300 ºС для снятия остаточных сварочных напряжений и предотвращения образования холодных трещин.

По результатам неразрушающего контроля сварных соединений трещин не обнаружено. Для оценки эксплуатационных свойств сварных соединений были выполнены механические испытания и металлографические исследования.

Шаровой кран с приваренными монтажными патрубками



Сварной шов

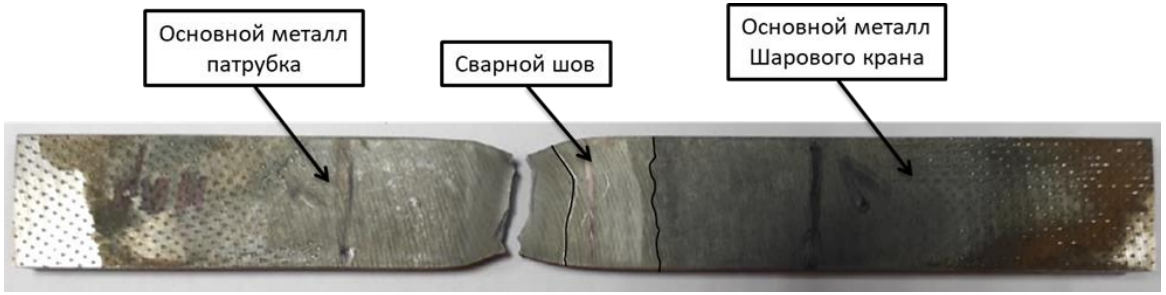


Механические испытания сварных соединений

Результаты испытаний на растяжение

№ образца	Временное сопротивление разрыву, σв, МПа	Относительное удлинение, δ_5, %
1	568	17,5
2	564	21,2
Среднее	566	19,4

Разрушенный образец на растяжение



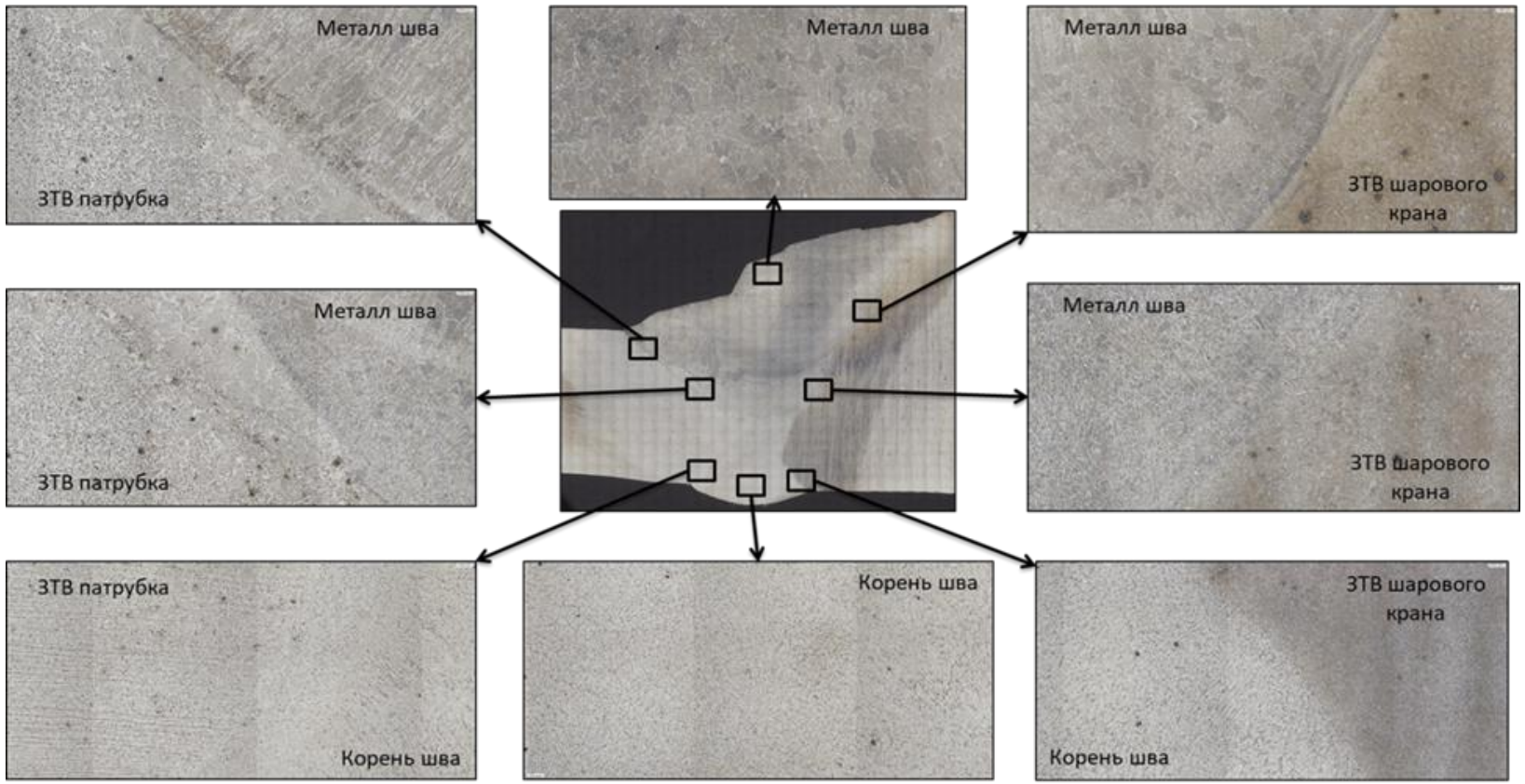
Результаты испытаний на статический изгиб



Результаты испытаний на ударный изгиб

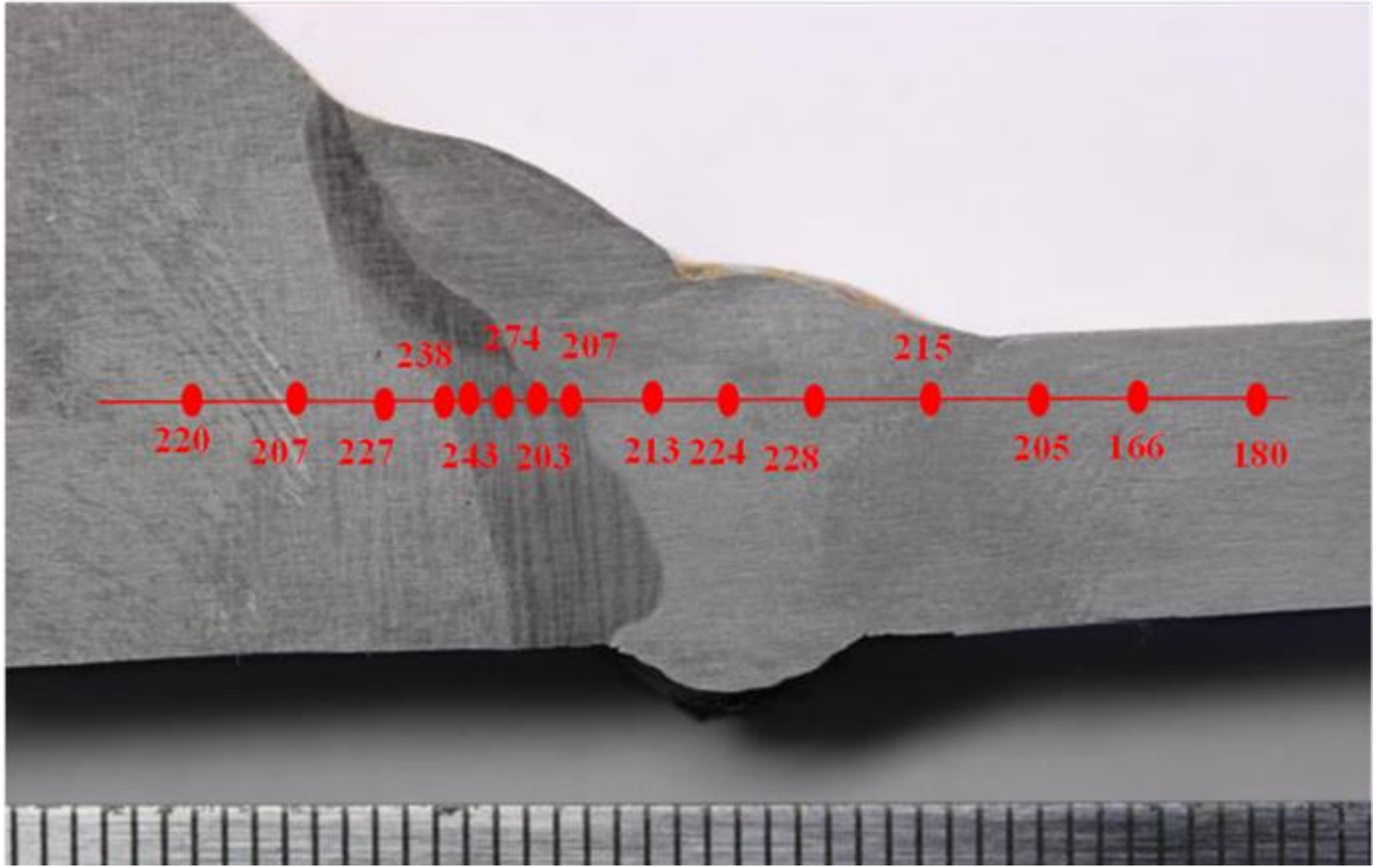
№ образца	Место нанесения надреза	Температура испытаний	Ударная вязкость, KCV, Дж	
			по образцу	среднее
1	по центру шва	-60°C	110	117
2			130	
3			110	
4	по линии сплавления	-60°C	85	95
5			115	
6			85	
7	+2 мм от линии сплавления	-60°C	165	123
8			95	
9			110	
10	+5 мм от линии сплавления	-60°C	130	112
11			130	
12			75	
13	по центру шва	-20°C	175	183
14			175	
15			200	
16	по линии сплавления	-20°C	135	148
17			145	
18			165	

Металлографические исследования сварных соединений



В корне сварного шва сформировалась феррито-перлитная структура, которая наиболее близка к структуре металла патрубка. В области перегрева ЗТВ патрубка, как в районе корневого валика, так и в районе заполняющего и облицовочного валиков, сформировалась феррито-перлитная структура, наблюдается укрупнение зерна до 100 мкм. В металле заполняющего и облицовочного валиков сформировалась дисперсная структура реечного (нижнего) бейнита. Структура металла заполняющего и облицовочного валиков близка по морфологии структуре металла шарового крана. В области перегрева ЗТВ корпуса шарового крана сформировалась структура реечного бейнита, наблюдается укрупнение зерна до 50-60 мкм. Наблюдаются плавные структурные переходы от металла корпуса шарового крана к металлу шва, от металла шва к металлу патрубка..

Дюрометрические исследования



Твердость металла во всех зонах сварного соединения не превышает 300 HV10, что подтверждает отсутствие формирования мартенсита и закаленных областей.

Заключение

- Сталь LF 3 по ASTM A350 склонна к закалке в ЗТВ при сварке;
- В результате расчета были установлены температуры предварительного и сопутствующего подогрева до 150ºС;
- Результаты компьютерного моделирования показали, что такой подогрев позволяет достичь скоростей охлаждения в рекомендуемом диапазоне;
- По результатам неразрушающего контроля сварных соединений трещин не обнаружено;
- Разработанная технология сварки обеспечивает высокое качество и высокий уровень эксплуатационных свойств сварных соединений шаровых кранов из стали LF3 с монтажными патрубками, что подтверждено механическими испытаниями и металлографическими исследованиями;
- Разработанная технология внедрена в промышленное производство



Спасибо за внимание!

РОСНЕФТЬ

ООО «РН-БашНИПИнефть»



РОСНЕФТЬ

ООО «РН-БашНИПИнефть»

По всем возникающим вопросам просьба общаться к

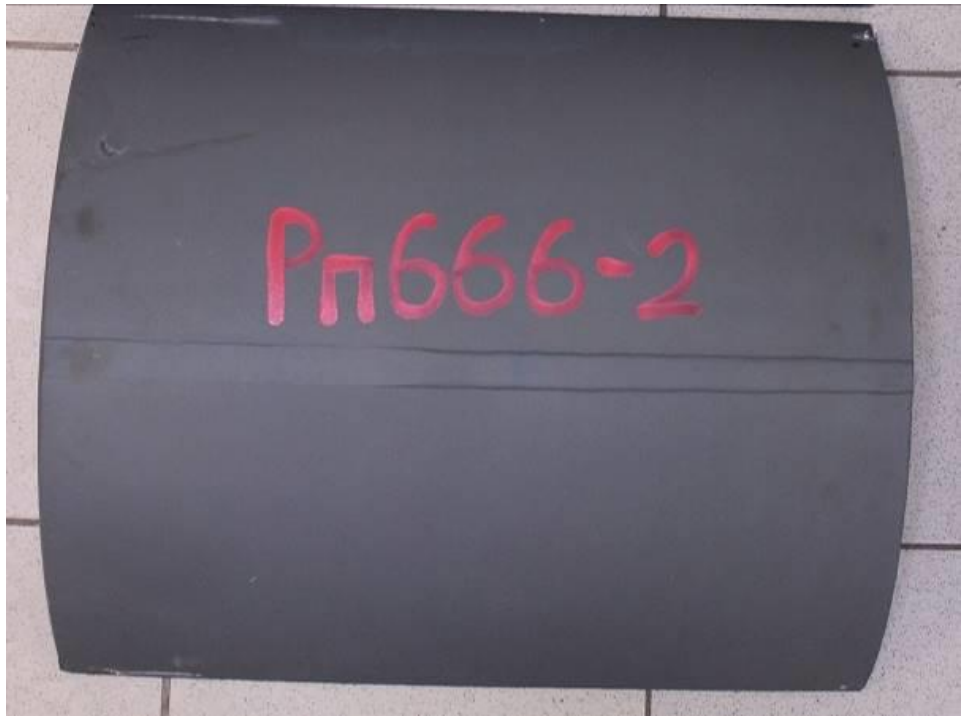
Худяков Артем Олегович, Шафиков Рустам Талгатович

по адресу электронной почты: **KHUDYAKOVAO@bnipi.rosneft.ru, SHAFIKOVRT@bnipi.rosneft.ru**

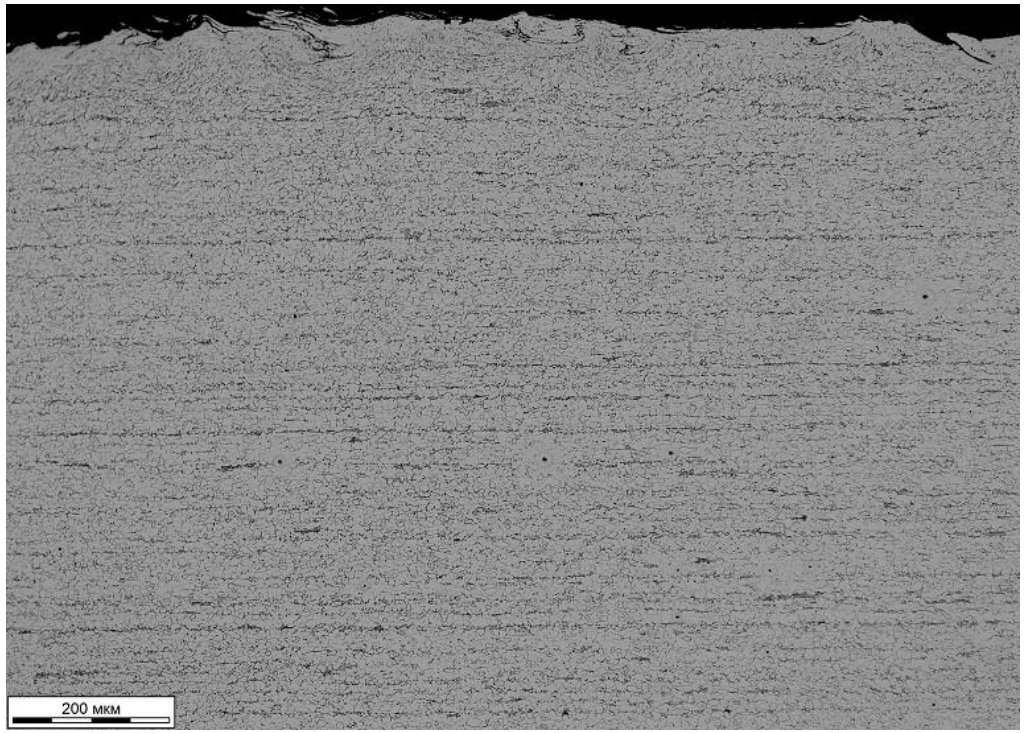
Перспективы азотирования для повышения коррозионной стойкости нефтегазопроводных труб.

Чулков Аркадий Анатольевич, АО «Загорский трубный завод»
Иоффе Андрей Владиславович ООО «ИТ-Сервис».

Объекты исследования: фрагменты прямошовных нефтегазопроводных труб из стали феррито-перлитного класса после азотирования

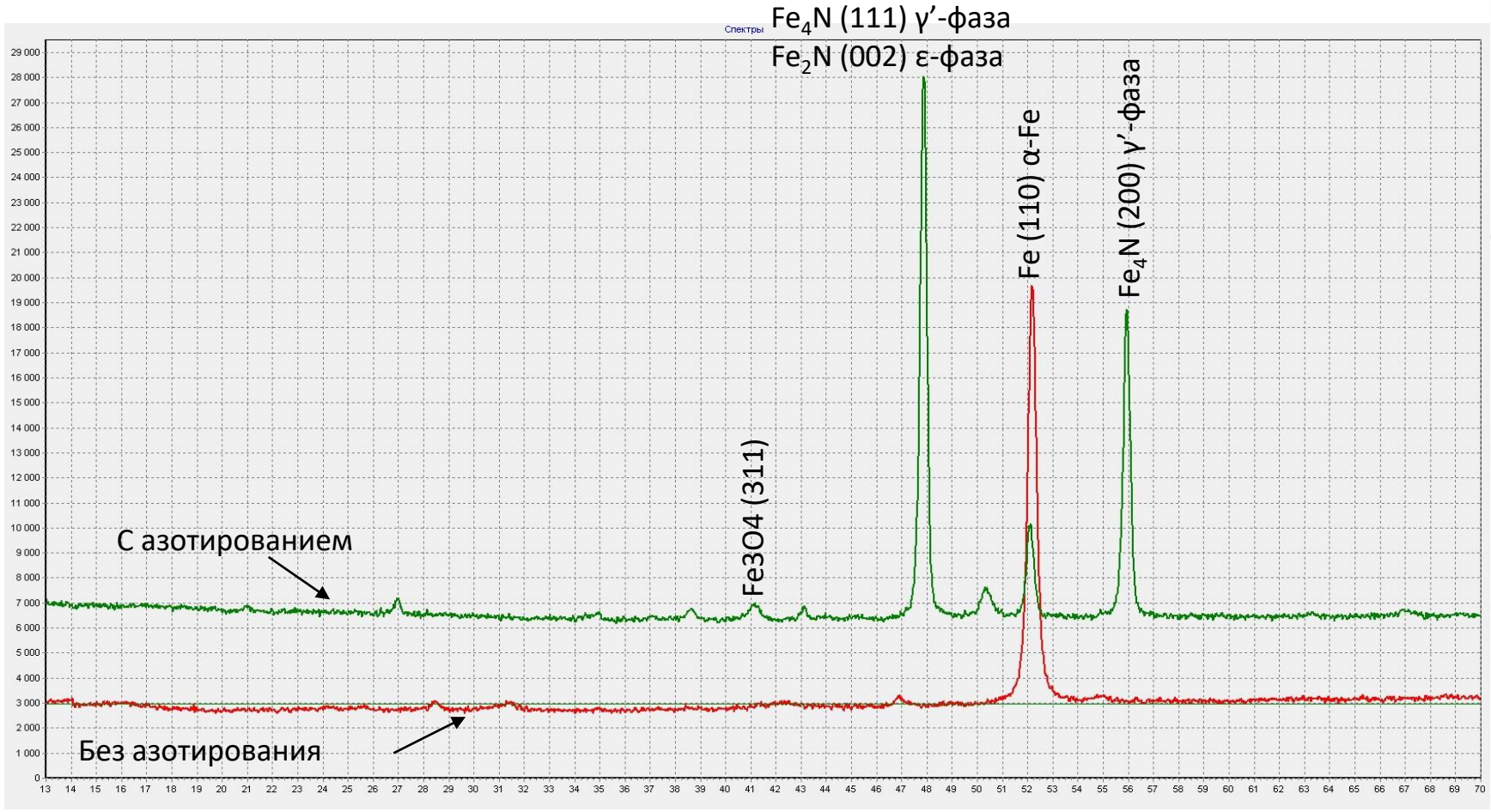


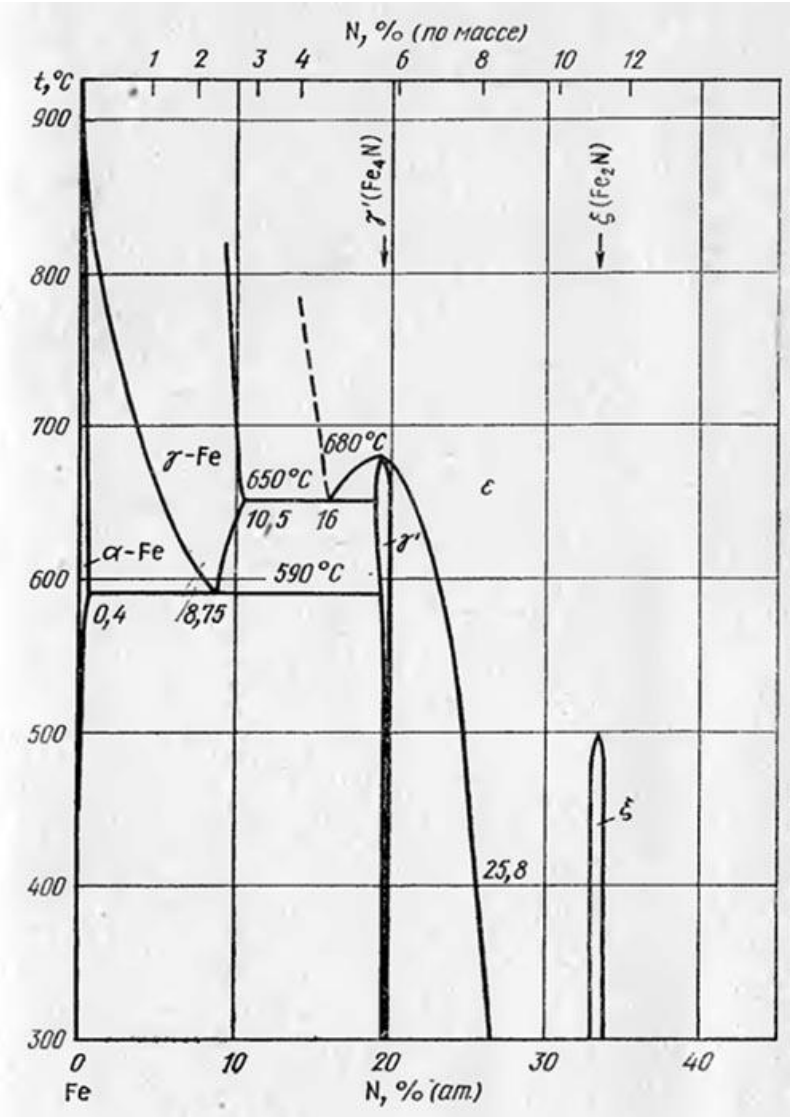
Внешний вид фрагмента трубы после азотирования



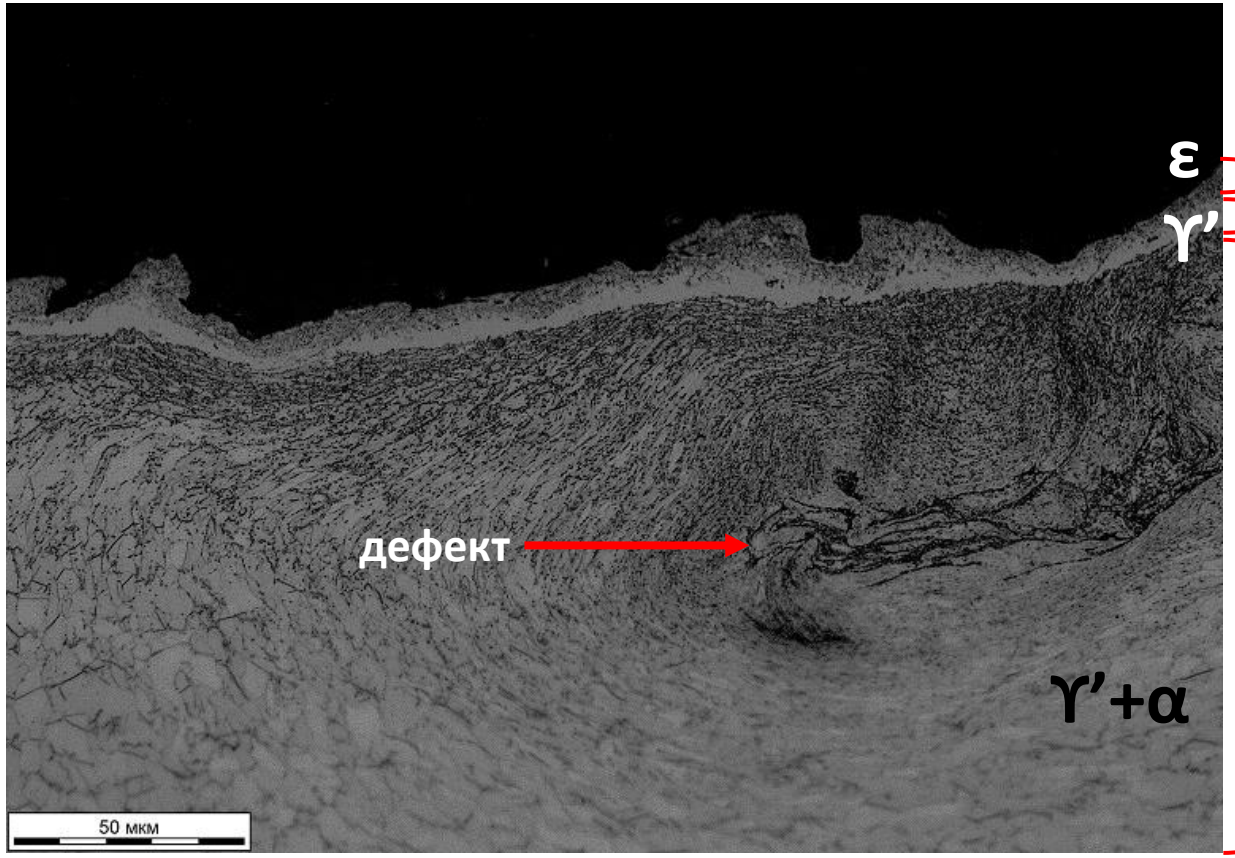
Типичная микроструктура основного металла

Изменение фазового состава поверхности труб при азотировании

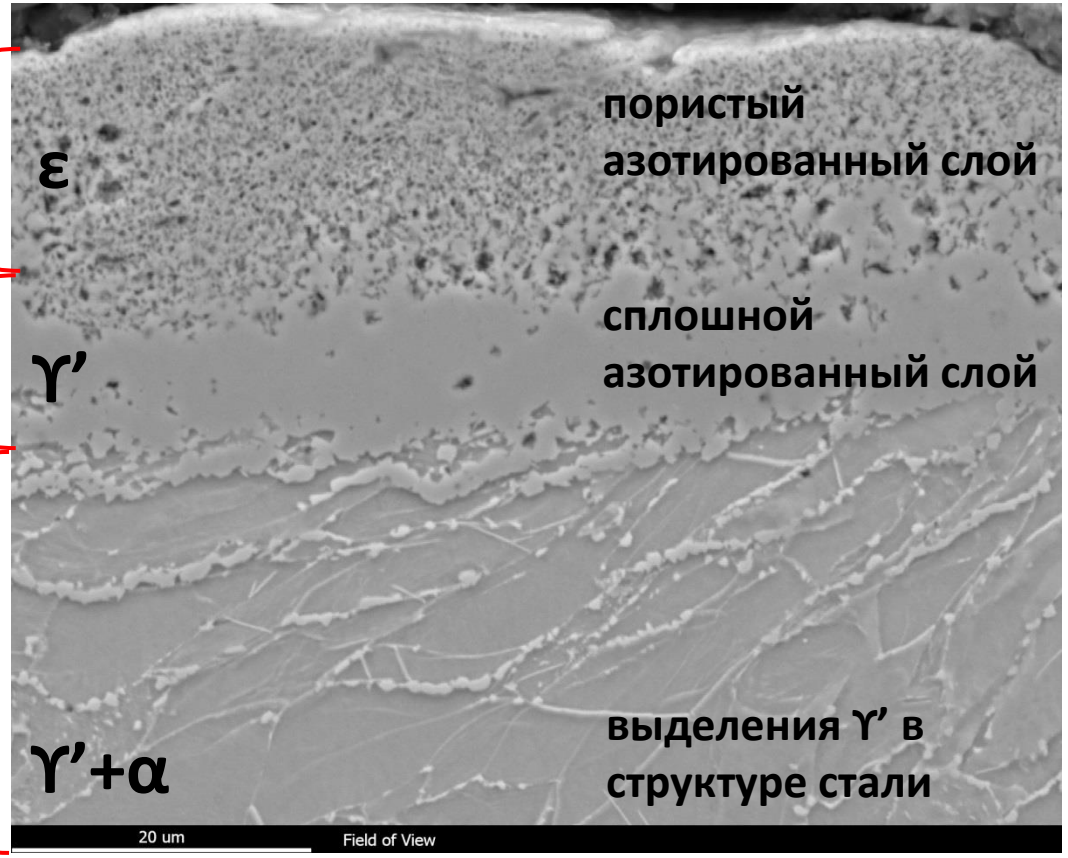




Типичная микроструктура азотированного слоя на поверхности труб

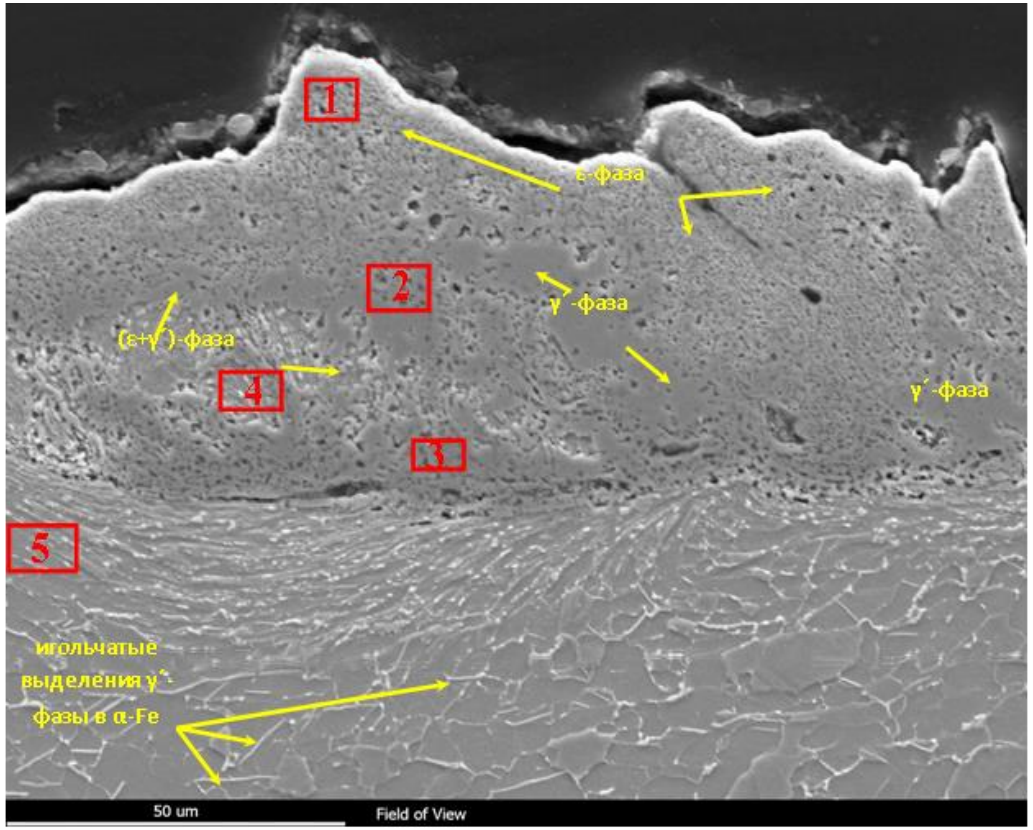


Оптическая микроскопия, х500, показан дефект от дробеструйной обработки

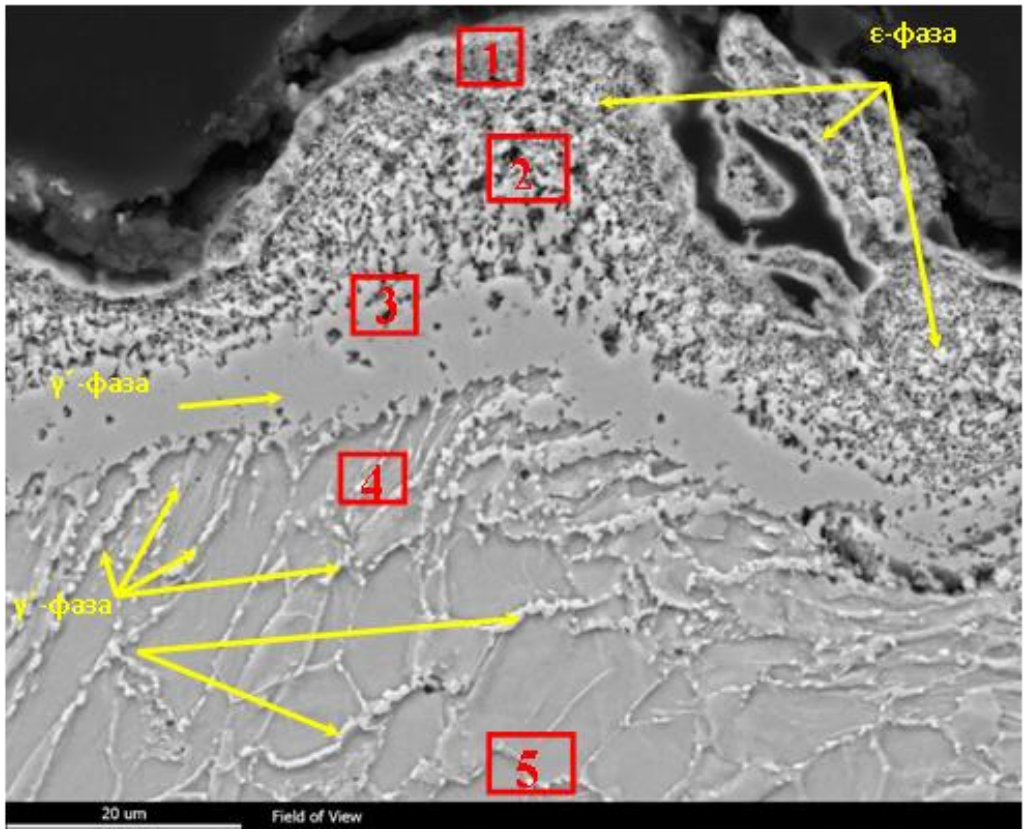


Растровая электронная микроскопия, х5 000. Участок без дефектов

Типичная микроструктура азотированного слоя на поверхности труб

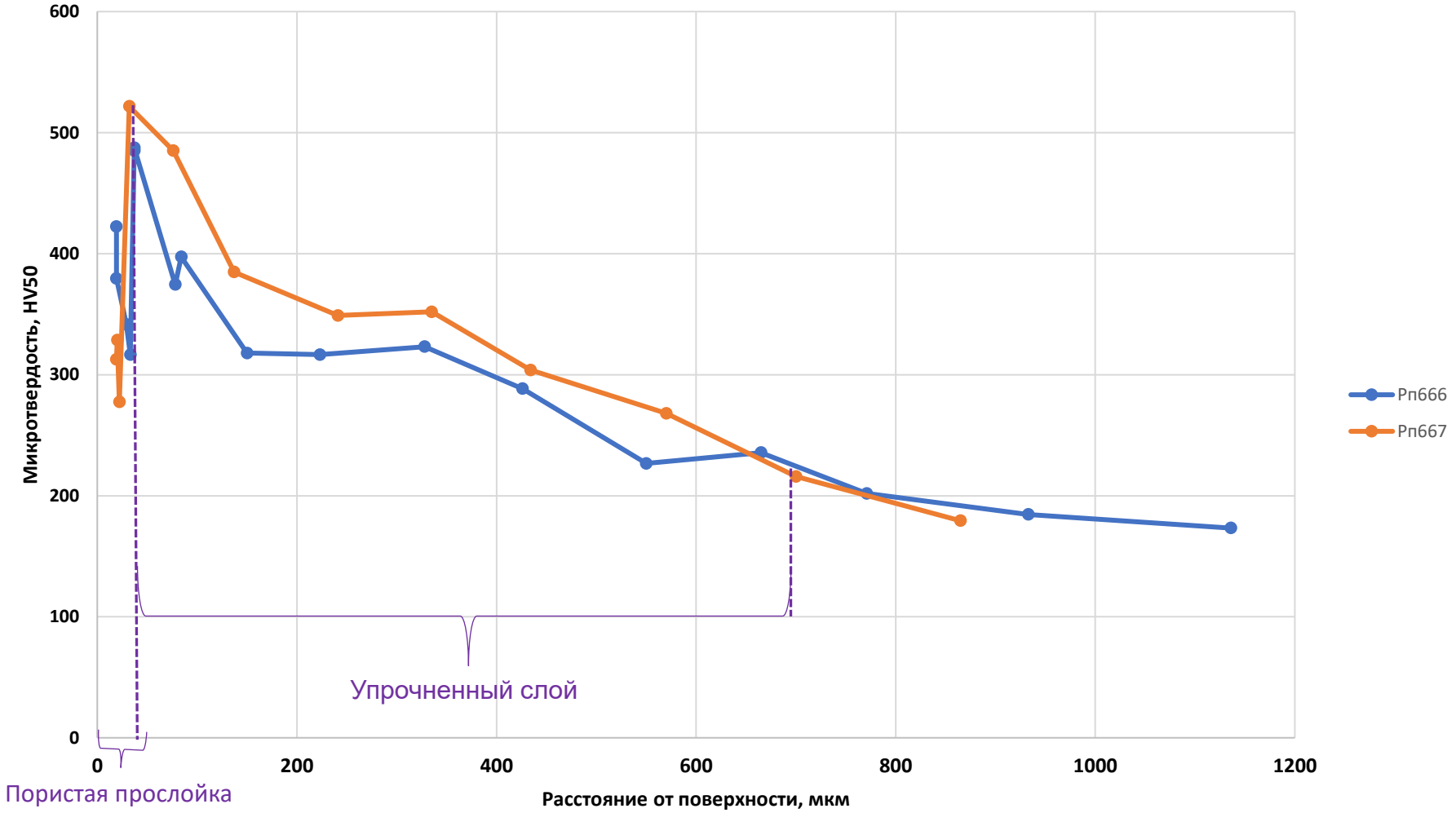


№ п/п		N	Si	Mn	Fe
Область 1	Wt, %	03,09	00,57	00,85	ост.
Область 2		02,94	00,68	01,61	ост.
Область 3		02,67	00,68	01,32	ост.
Область 4		-	00,92	01,01	ост.
Область 5		-	01,08	02,06	ост.

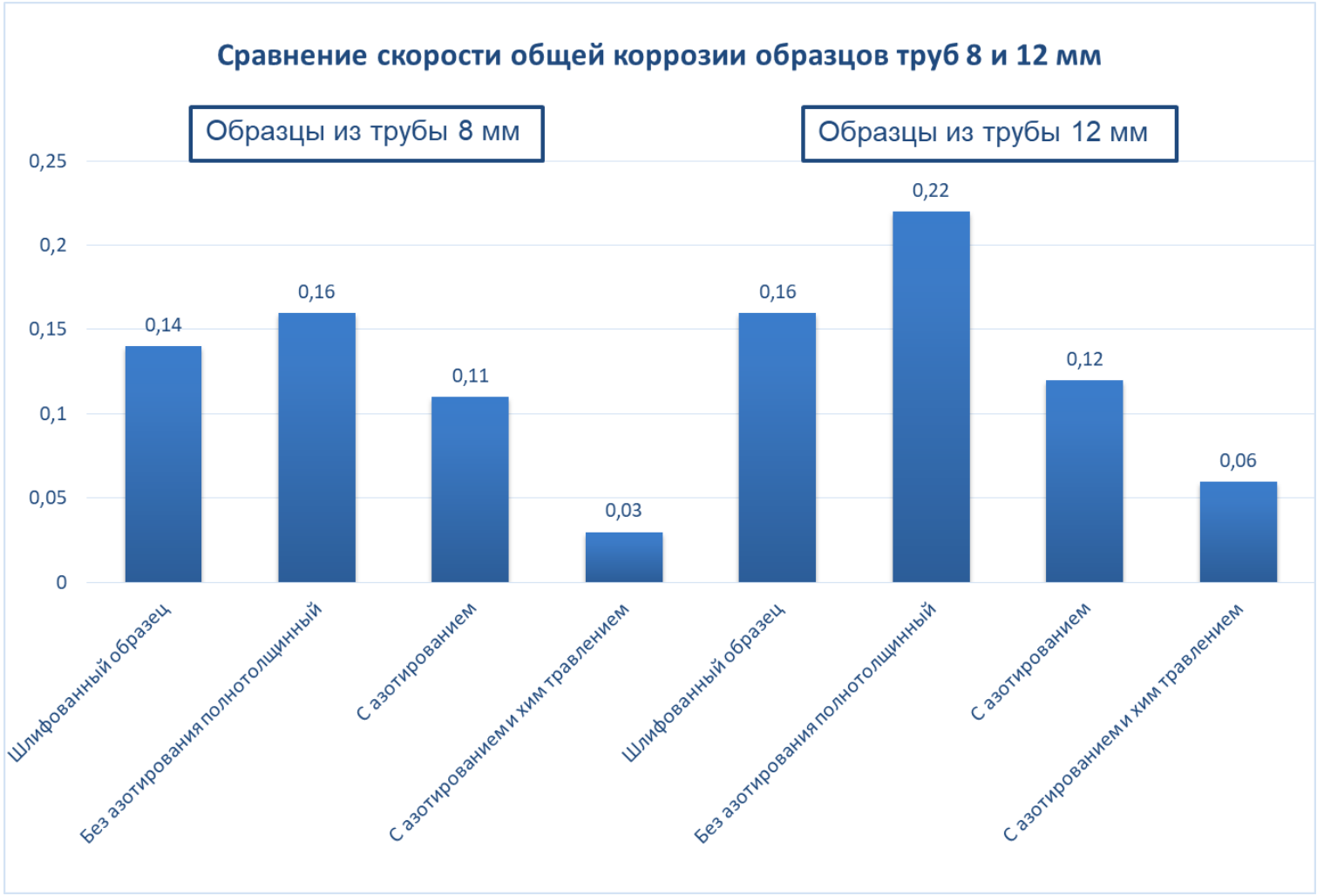


№ п/п		N	Si	Mn	Fe
Область 1	Wt, %	03,98	00,49	00,93	ост.
Область 2		03,13	00,84	00,90	ост.
Область 3		03,01	00,65	01,17	ост.
Область 4		01,71	01,21	01,63	ост.
Область 5		-	01,38	01,62	ост.

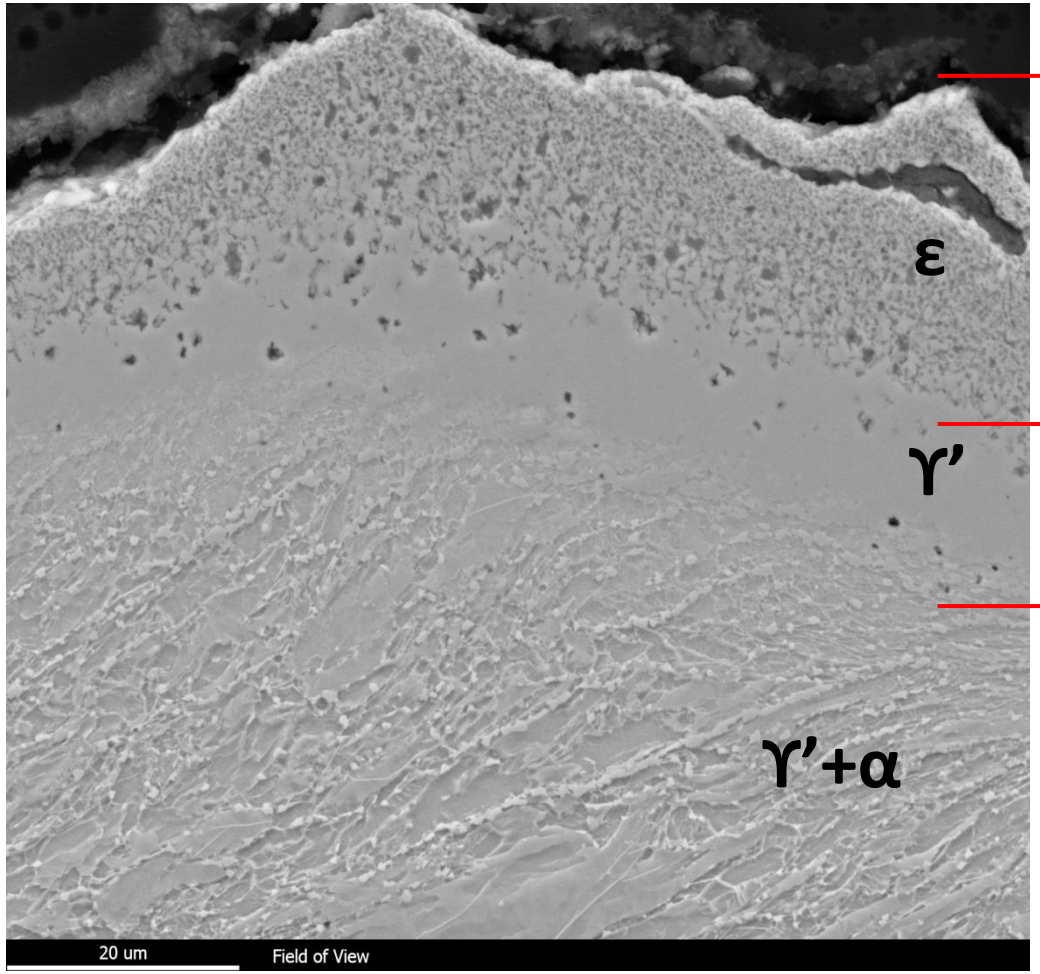
Микротвердость HV^{50} азотированного слоя



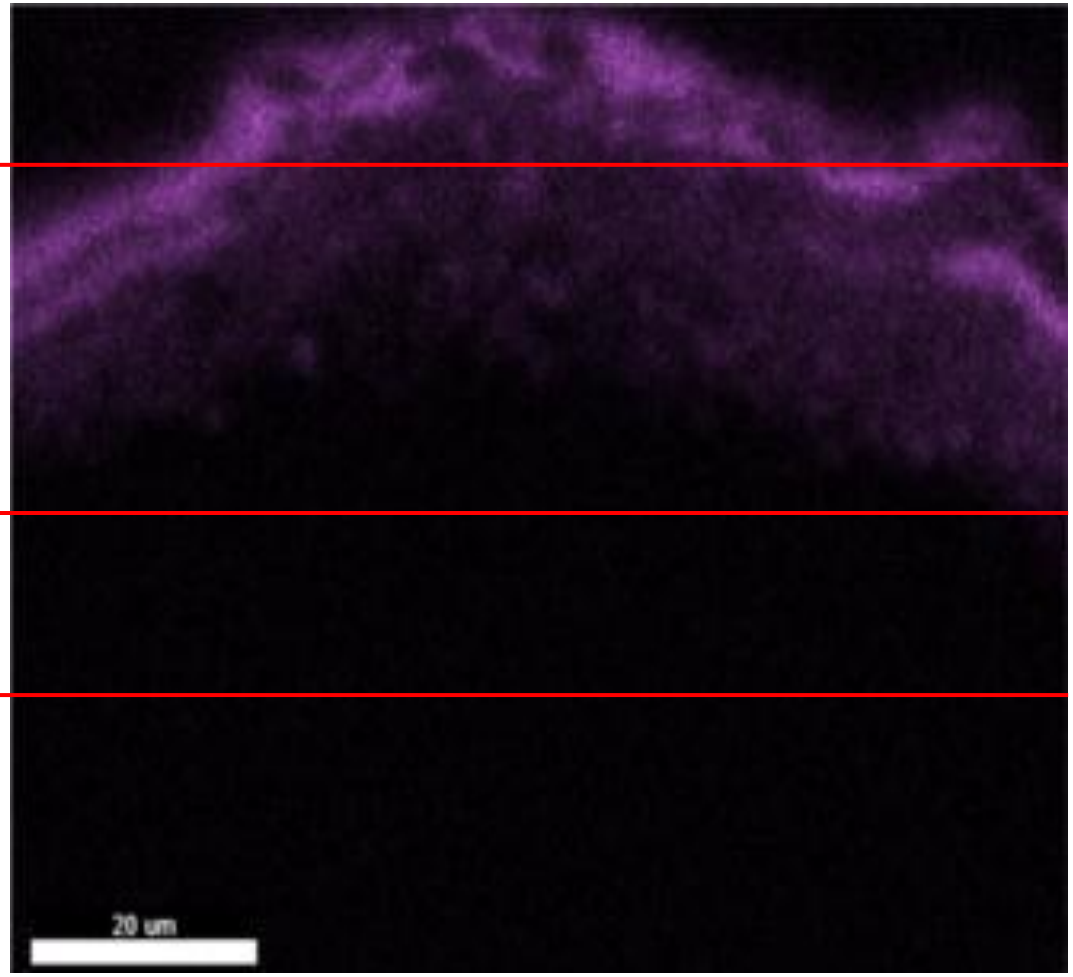
Влияние поверхностного азотирования на коррозионную стойкость в H_2S-содержащей среде



Особенности влияния азотированного слоя на процесс коррозии в H_2S-содержащей среде

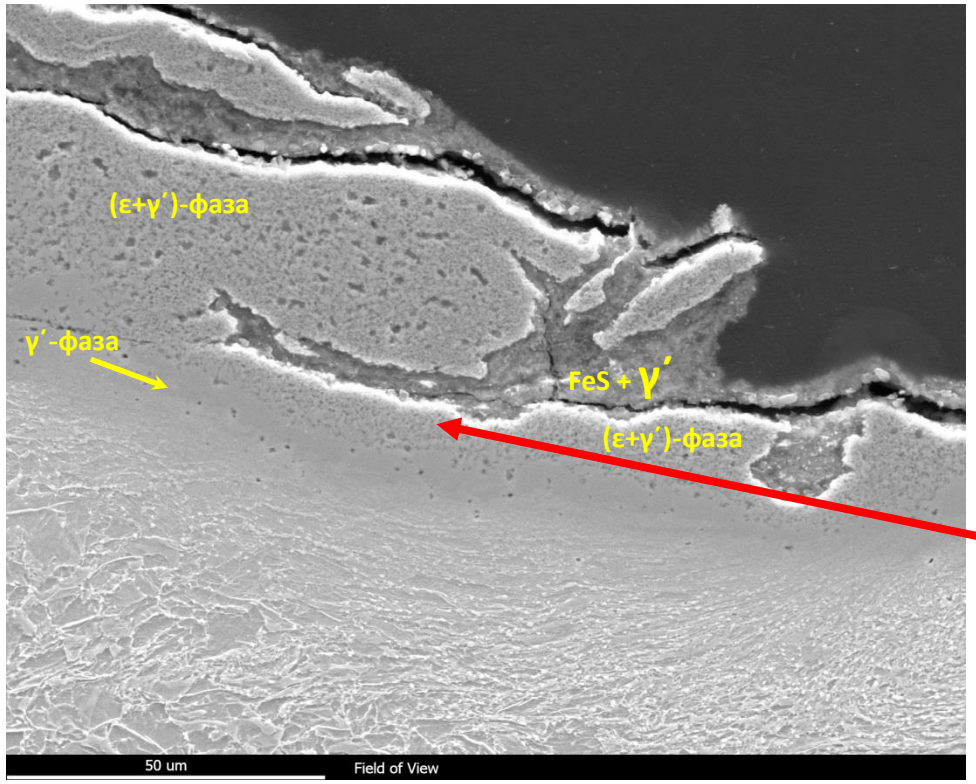


Вид шлифа через слой после испытаний
Растровая электронная микроскопия, х5 000.

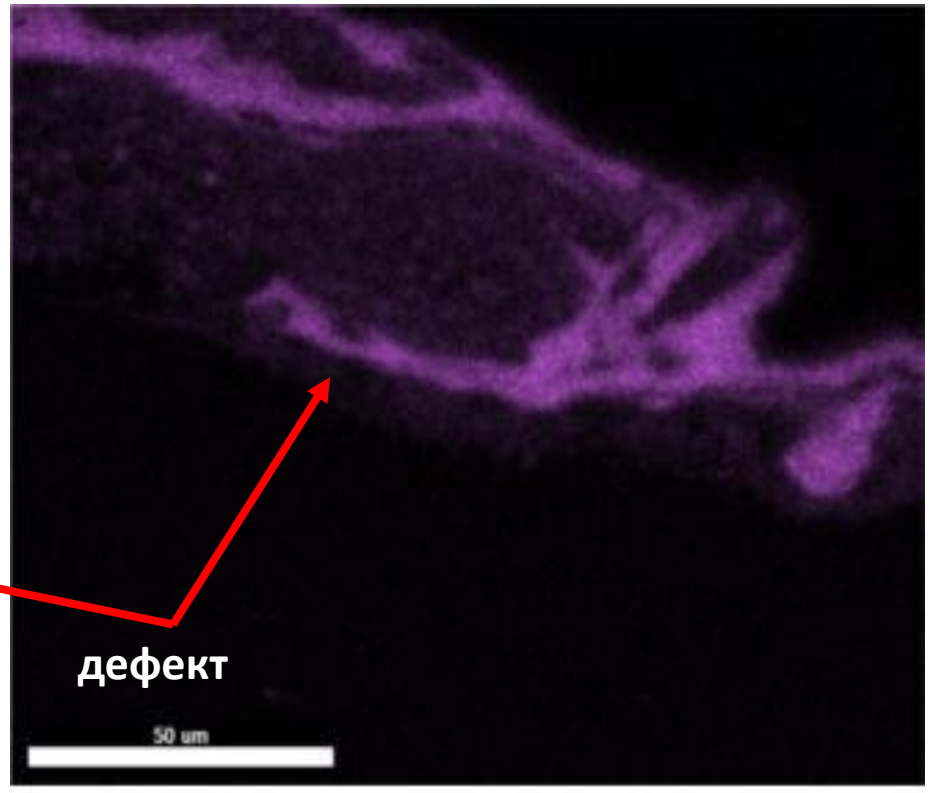


Распределение продуктов коррозии (сульфидов)
в слое

Проникновение коррозионной H_2S-содержащей среды по дефектам



Дефект в азотированном слое
Растровая электронная микроскопия.

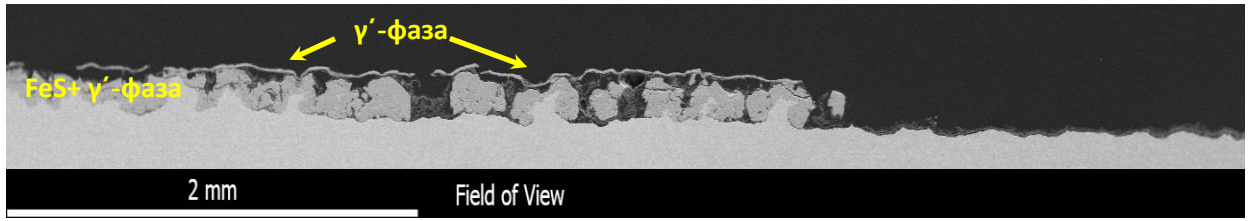


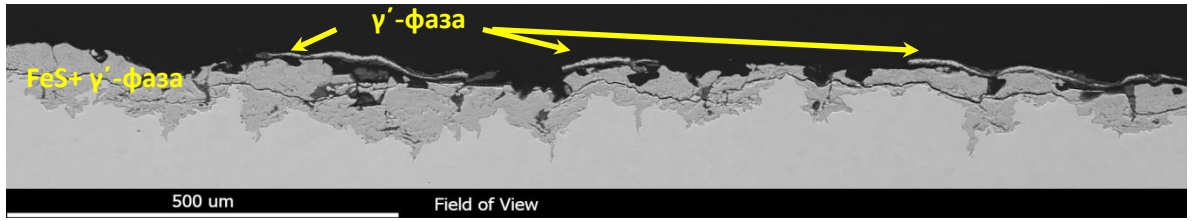
Распределение серы (сульфидов) в слое
после испытаний

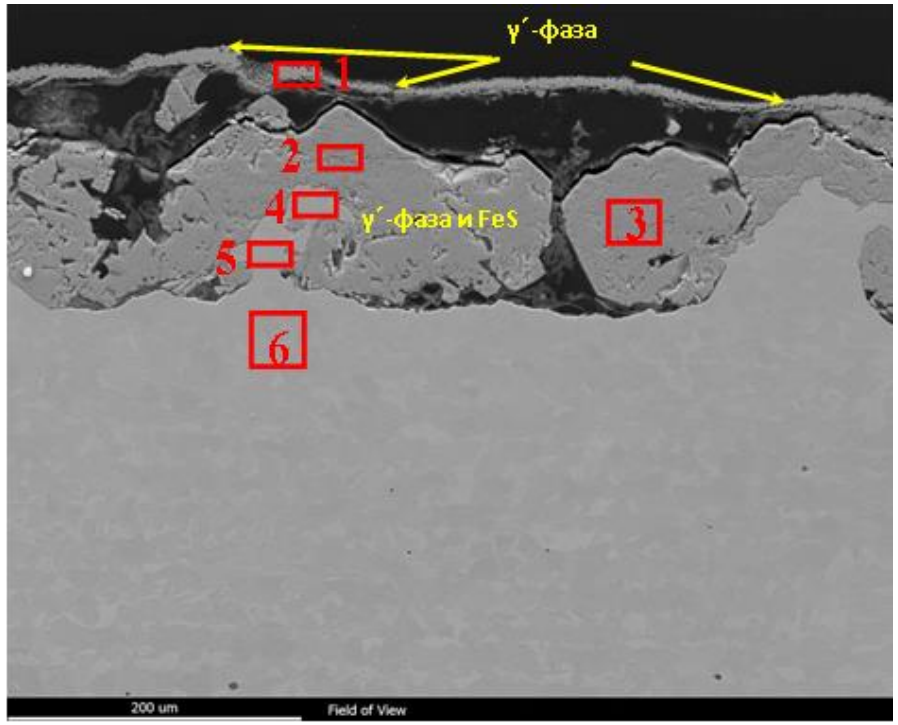
Результаты испытаний на стойкость к HIC и SSC

Образец	Коэффициент длины водородных трещин CLR ср., %	Коэффициент ширины водородных трещин CTR ср., %	Нагрузка, % от предела текучести	Трещины/блистеринги
Без азотированного слоя	21,39	6,44	75	Нет/Есть
	26,33	4,92	75	Нет/Нет
			75	Нет/Есть
С азотированным слоем	0,00	0,00	75	Нет/Нет
	0,22	0,09	75	Нет/Нет
			75	Нет/Нет

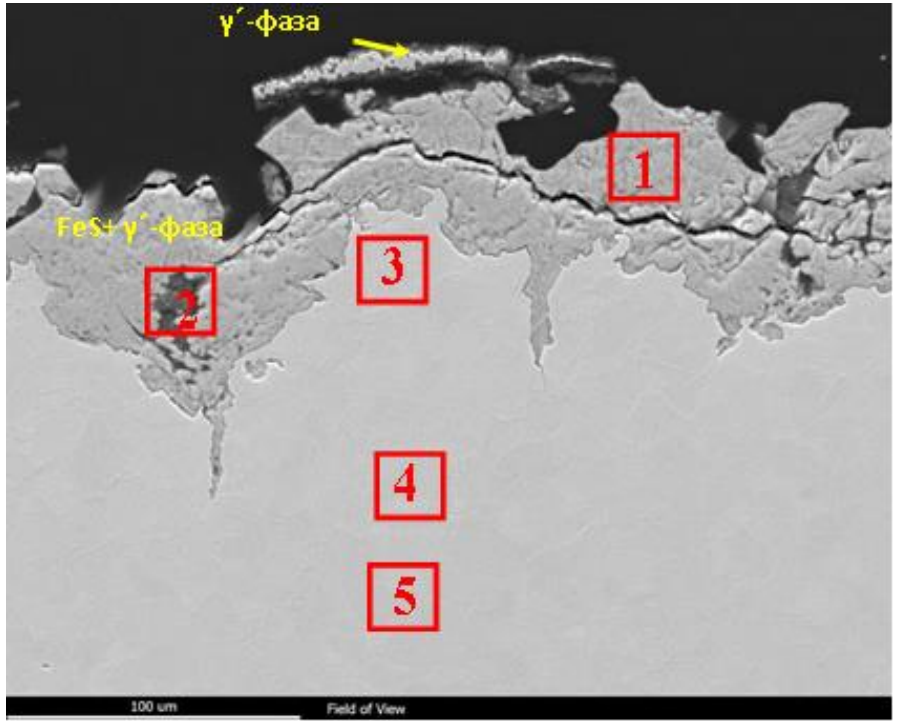
Вид продуктов коррозии на поверхности азотированных образцов после испытания на СКРН







№ п/п		N	Si	S	Mn	Fe
Область 1	Wt, %	03.30	00.73	-	01.17	ост.
Область 2		-	-	34.42	-	ост.
Область 3		-	-	34.77	-	ост.
Область 4		01.56	00.88	01.84	01.46	ост.
Область 5		01.38	-	00.80	01.41	ост.
Область 6		01.25	00.74	-	01.44	ост.



№ п/п		N	Si	S	Mn	Fe
Область 1	Wt, %	-	-	33.85		ост.
Область 2		-	10.45	13.58	00.66	ост.
Область 3		01.24	00.75	-	01.53	ост.
Область 4		01.32	00.78	-	01.50	ост.
Область 5		01.33	00.98	-	01.48	ост.

Выводы:

1. На поверхности образцов основного металла труб обнаружен однородный азотированный слой, содержащий ε и γ’ фазы, а также Fe_3O_4. Структура наиболее азотистого слоя непосредственно на поверхности пористая, затем наблюдается прослойка γ’-фазы без пор, затем -выделения γ’ в исходной структуре стали. Общая толщина слоя ε и γ’ составляет 5-50 мкм, толщина прослойки γ’ составляет 1-10 мкм. На отдельных участках, особенно в области кратеров от дробеструйной обработки, сплошность прослойки γ’ нарушается, в результате чего, слой содержит поры по всей толщине.
2. Микротвердость азотированного слоя достигает максимума в 500 HV в прослойке γ’ или на границе сталь – прослойка γ’. Твердость пористого слоя меньше. Твердость слоя стали, насыщенного γ’ монотонно падает по мере удаления от поверхности.
3. Коррозионные испытания осуществляли по четырем методикам. Оценивали стойкость металла к общей коррозии в H_2S-содержащих средах в течение 96-350 часов, стойкость к водородному растрескиванию и коррозионному растрескиванию под напряжением в сероводородсодержащих средах (96 и 720 часов, соответственно). В качестве образцов сравнения использовали металл тех же труб до проведения азотирования. Установлено, что после всех испытаний слой γ’-фазы сохраняется. Это существенно снижает скорость коррозии, а также уменьшает количество поглощенного металлом водорода и степень его растрескивания. Вместе с тем, коррозионная среда может проникать через несплошности в азотированном слое, что приводит к коррозионному разрушению матрицы под ним.
4. Наличие сплошного азотированного слоя, а именно γ’-фазы, может существенно повысить коррозионную стойкость труб в H_2S- и CO_2-содержащих нефтепромысловых средах.

ОМК

Совершенство
продуманных
решений

Особенности технологии производства крупногабаритных плакированных листов и труб большого диаметра из них

Докладчик: Мунтин Александр Вадимович
Заместитель директора по научно-исследовательской деятельности
Инженерно-технологический центр
АО «Выксунский металлургический завод»

Самара | 7 сентября 2022

Применение крупногабаритных плакированных листов

Нефтехимическая промышленность



Судостроение



Атомное машиностроение



Трубопроводы



Основные технологии производства толстых плакированных листов в мире

Сварка взрывом (около 65%)

+ Преимущества:
- Единичное производство небольших габаритов
- Сварка металлов, соединение которых другими способами затруднено

– Недостатки:
- Ограничения по максимальным габаритам
- Достижение свойств за счёт ТО
- Высокий риск дефектов, в том числе УЗК

Сварка взрывом + прокатка

+ Больше габарит по сравнению со сваркой взрывом

– Сложно реализовать контролируемую прокатку

Пакетная прокатка (около 35%)

+ Преимущества:
- Изготовление листов больших габаритов
- Реализации технологии контролируемой прокатки без существенных ограничений

– Недостатки:
- Большие остатки при выполнении малых заказов (ограничения по мин. габариту)
- Усложнение технологии/конструкции пакета при производстве некоторых композиций

Основные технологии производства плакированных труб в мире

Электросварные трубы (> 80% по массе)

+ Преимущества:
- Наличие металлургической связи, возможность применения в сложных условиях
- Технология изготовления труб большого диаметра приближена к монометаллу

– Недостатки:
- Зависимость от поставок плакированного листа
- Выше себестоимость для некоторого сортамента

Лейнированные трубы (< 15% по массе)

+ Преимущества:
- Независимость от поставок плакированного листа
- Ниже себестоимость (для определённого сортамента)

– Недостатки:
- Отсутствие металлургической связи слоёв, следовательно невозможность применения в сложных условиях
- Трудности изготовления применения тонкого (2-3 мм) лейнера при диаметрах труб свыше 500-600 мм

Процесс производства биметаллической заготовки и плакированного листа на толстолистовом прокатном стане



Зачистка заготовок основного и плакирующего слоя



Сборка пакета



Прокатка пакета



Замедленное охлаждение



Порезка листа



Аттестация листа



Исследование свойств

Основные особенности технологии производства плакированных листов на толстолистовом стане

- Режим нагрева с выдержкой в начале для отпуска сварного шва и снижения риска его разрушения от термических напряжений, интенсивный подъём температуры и увеличенная выдержка (томление) перед выдачей для гарантированного обеспечения заданной температуры в плакирующем слое

- Рассогласование скоростей валков. После полного захвата скорости выравниваются, т.к. формируется жёсткое соединение валок-лист-валок, однако на головном участке данный приём оказывает положительное воздействие, что обеспечивает снижение риска аварийных ситуаций, связанных с подгибкой конца

- Применение в УКО режимов с охлаждением большей интенсивности со стороны основного слоя для компенсации различия в коэффициентах линейного расширения, когда плакирующий слой «стягивает» на себя основной

Наиболее важные характеристики плакированных листов, достигаемые способом пакетной прокатки

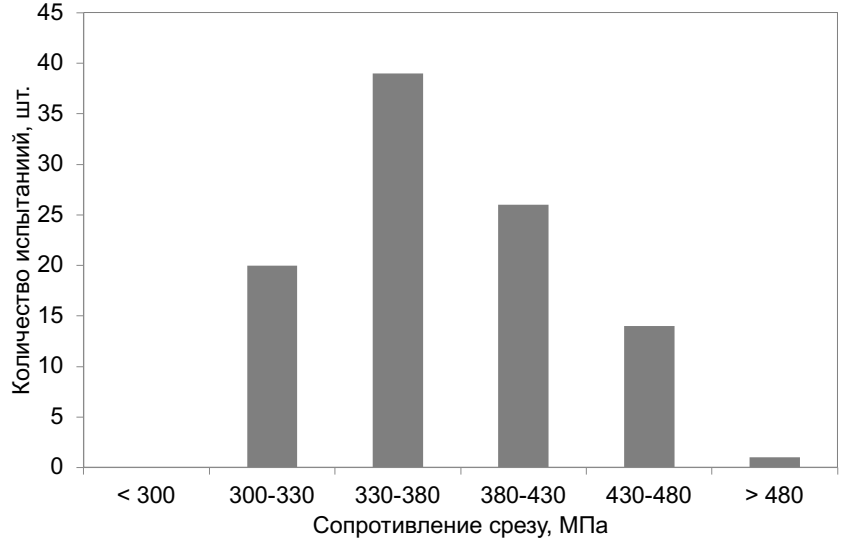
- Фактическое временное сопротивление от 400 до 600 МПа (что соответствует возможности изготовления проката трубного назначения классов прочности К48-К60)

- Напряжение среза плакирующего слоя не менее 300 МПа при требовании ГОСТ 10885 – не менее 140 МПа и самых жёстких мировых стандартов – не менее 210 МПа

- Ударная вязкость KCV не менее 300 Дж/см2 при -60ºС

- Доля вязкой составляющей не менее 90% при ИПГ при -20ºС и -40ºС в листах К60 толщиной 20-30 мм

- 100% сплошность при УЗК по стандарту SA578 класс С



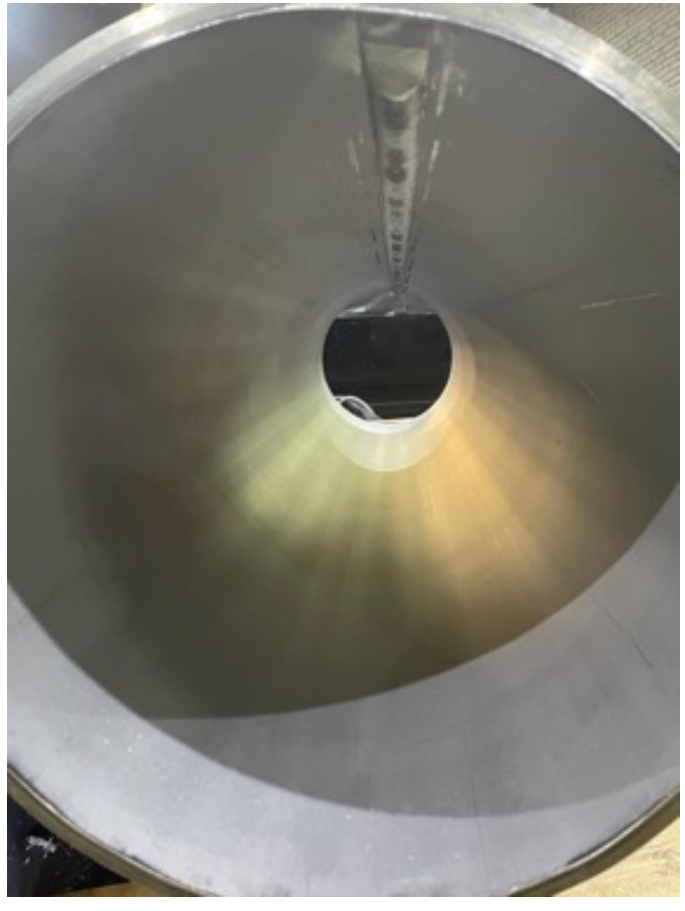
Основные особенности технологии производства сварных труб для обеспечения требуемой стойкости к коррозии

Наплавка внутреннего шва





Травление и пассивация внутренней пов-ти



Заключение

1. Метод пакетной прокатки является предпочтительным для производства плакированных листов трубного назначения, т.к. позволяет получать крупногабаритные листы по технологии контролируемой прокатки

2. Методом пакетной прокатки производятся листы трубного назначения широкого марочного и размерного сортамента: толщиной 18-47 мм, шириной 1600-4500 мм, длиной 12 м из 09Г2С+08Х13, 09Г2С+08Х18Н10Т, 09Г2С+316Ti, К60+316L и др. с гарантированно высоким уровнем сопротивления срезу (>300 МПа), различным временным сопротивлением от 400 до 600 МПа, ударной вязкостью на образцах KCV до 500 МПа при -60ºС, доли вязкой составляющей при ИПГ не менее 90% при -20ºС и -40ºС

3. Технология изготовления плакированных труб большого диаметра с применением электрошлаковой наплавки внутренней поверхности сварного шва обеспечивает требуемый уровень коррозионных свойств

ОМК

Совершенство
продуманных
решений

Спасибо за внимание!

Биметаллическая труба в обвязке скважин

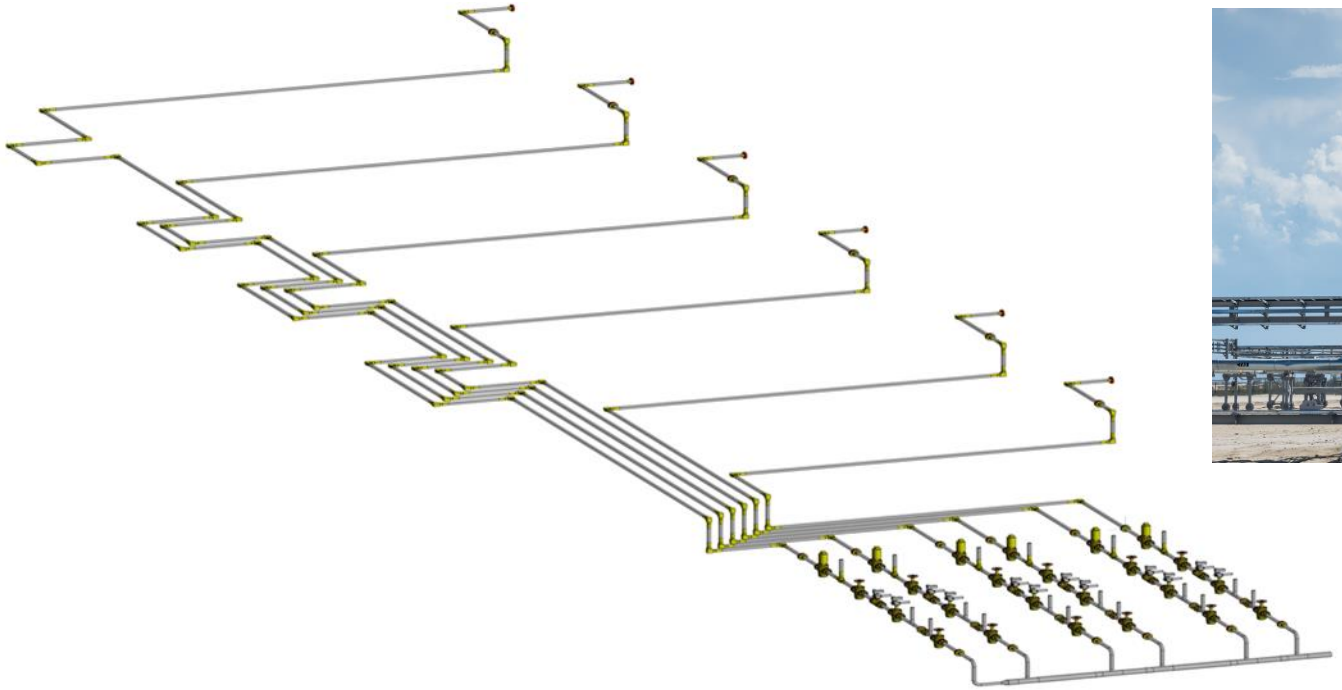
АЧИМГАЗ

Шестая научно-техническая конференция «Коррозия в нефтяной и газовой промышленности»

Самара,
Сентябрь 2022 год

Обвязка скважин кустов газовых скважин УКП-31 АО Ачимгаз

В эксплуатации 108 скважин
Обвязка скважин выполнена
из трубы 114х18-09Г2С
по ТУ 14-3Р-1128-2007





Наличие внутренней углекислотной коррозии трубопроводов кустовой обвязки, выявленной при эксплуатации ачимовских отложений Уренгойского НГКМ

Скорость коррозии на обвязках разных скважин от 0,7 до 2 мм/год






По итогам НИР, выполненной ООО «ИТ-СЕРВИС», выбран вариант решения проблемы - применение коррозионностойких труб в обвязке скважин

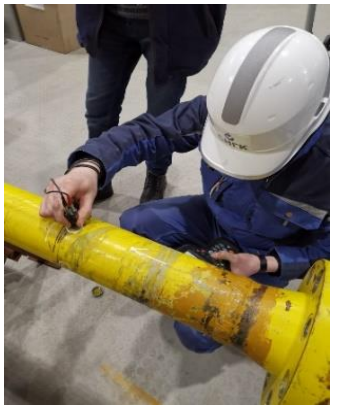
ОПЭ образца коррозионностойкой биметаллической трубы, длиной 5м, ТКБ 114(16+3)-50-0,6-К48-09Г2С/03Х17Н13М2Т-6000-ХЛ-ГОСТ8732-78/ТУ3647-002-37941826-2014 с ответными фланцами 80х70 ГОСТ 28919-91, производства ООО «Новый завод», г. Екатеринбург

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Трубы комбинированной биметаллической ТКБ 114(16+3)-50-0,6-К48-09Г2С/03Х17Н13М2Т-5700-ХЛ-ГОСТ 8732-78/ТУ3647-002-37941826-2014

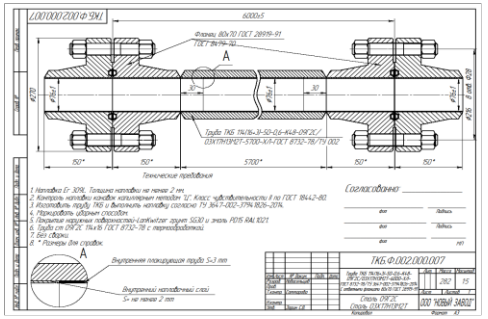
Период опытно - промышленной эксплуатации составил один год. Контроль состояния трубы проводился согласно программе ОПЭ ежеквартально, с составлением протоколов. По результатам контроля за весь период эксплуатации изменений технического состояния сварных швов, внутреннего плакированного слоя, а так же тела трубы по результатам ВИК и УЗД не зафиксировано.













Результаты ОПЭ ТКБ, были признаны успешными и принято решение о включение замены участков трубопровода обвязки КГС на трубу ТКБ 114 в план Технического перевооружения объектов УКПГ-31 АО Ачимгаз.

Схема №1
ремонт трубопровода обвязки скважин ГС1.1 и ГС2.1

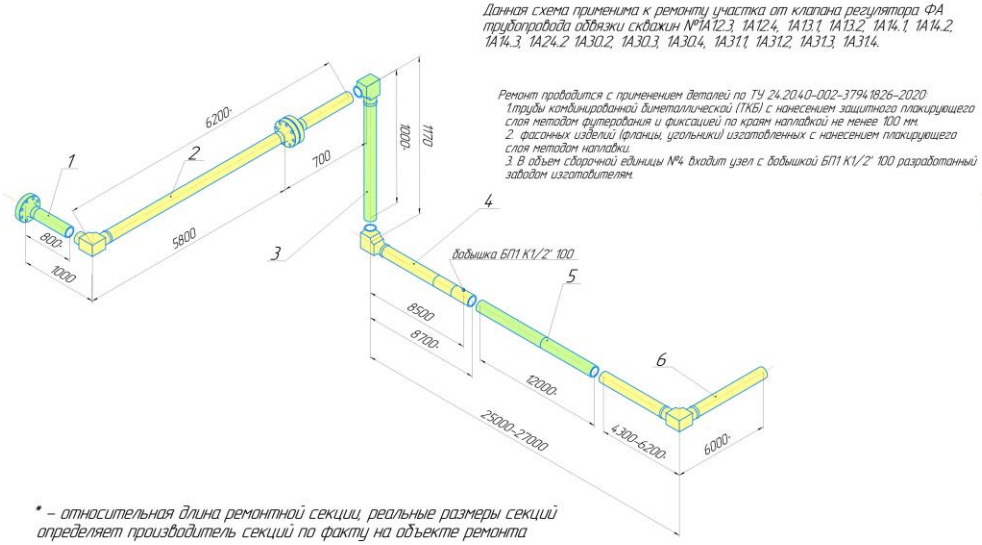
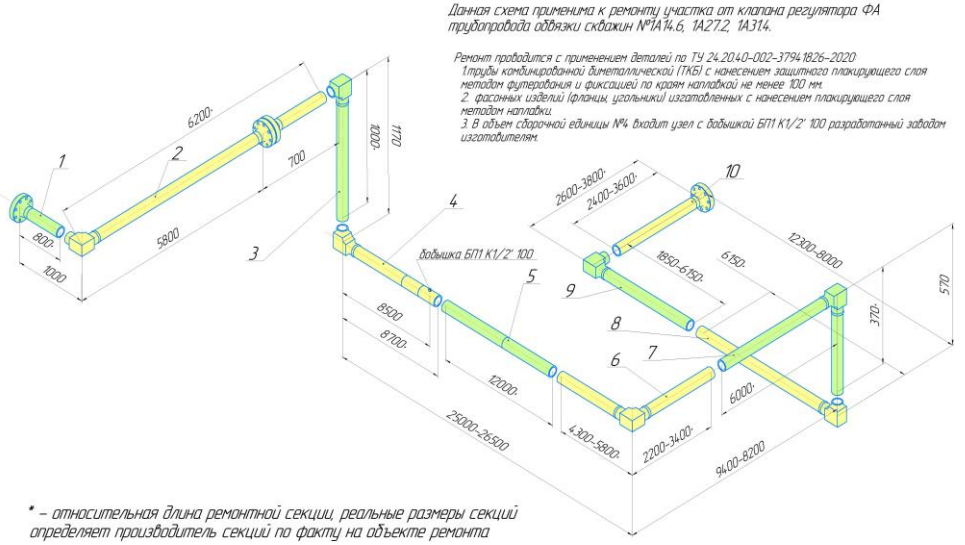


Схема №2
ремонт трубопровода обвязки скважин ГС1.1 и ГС2.1



Спасибо за внимание

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Влияние температуры отпуска на структуру, механические и коррозионные свойства закаленных сталей с системой легирования «хром-молибден»

Докладчик:
Ведущий инженер отдела металловедения
Грузков Игорь Викторович



«Результаты промысловых испытаний. Обоснование перспективных составов стали»

БАЙПАСНАЯ ЛИНИЯ В СОСТАВЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО НЕФТЕПРОВОДА В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

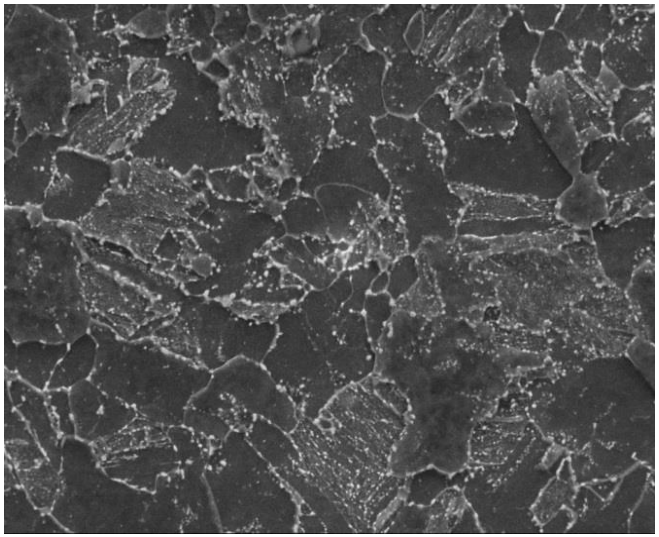
ТЕМПЕРАТУРА	H_2O	P_{max}	ПАРЦИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ	pH	ИОННЫЙ СОСТАВ ВОДНОЙ ФАЗЫ						
			CO_2		Ca^{2+}	Mg^{2+}	$K^{+}+ Na^{+}$	Cl^{-}	SO_4^{2-}	HCO^{3-}	Минерализация
°C	%	кПа	кПа		мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
56	86	1200	103	5,9	0,75	0,12	18,4	27,0	0,77	1,37	48,3



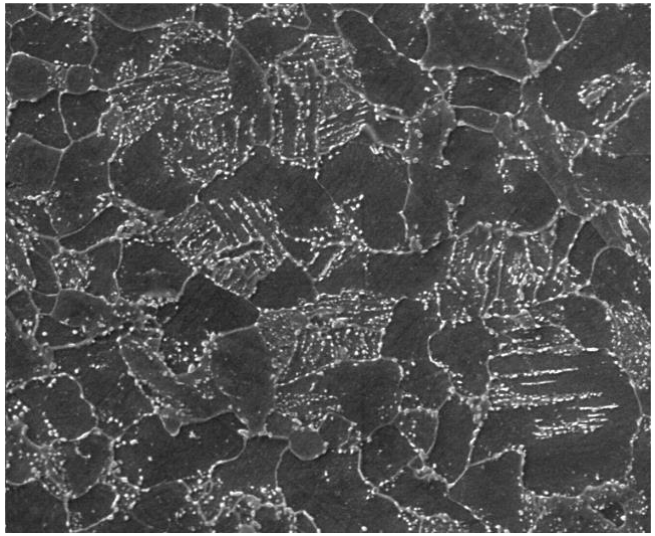
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И МИКРОСТРУКТУРА ИССЛЕДУЕМЫХ СТАЛЕЙ

МАРКА СТАЛИ	МАССОВАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ, %										
	C	Si	Mn	Al	Cr	Mo	V	Ni	Cu	P	S
13ХФА	0,14	0,36	0,55	0,043	0,57	0,012	0,052	0,09	0,13	0,013	0,002
08ХМФА	0,11	0,31	0,53	0,031	0,62	0,128	0,044	0,14	0,23	0,008	0,006

МАРКА СТАЛИ	$\sigma_в$, кгс/мм^2	$\sigma_т$, кгс/мм^2	δ, %	$\sigma_т/\sigma_в$	Ударная вязкость (кгс·м/см^2) и доля вязкой составляющей (%) при температуре испытаний							
					−40 °C		−50 °C		−60 °C		−70 °C	
					KCV	ДВС	KCV	ДВС	KCV	ДВС	KCV	ДВС
13ХФА	59,2	42,1	32,4	0,71	23,1	100	22,9	100	22,4	100	20,3	90
08ХМФА	66,5	50,6	20,4	0,76	29,1	100	28,8	100	27,6	100	26,3	100



СТАЛЬ 13ХФА



СТАЛЬ 08ХМФА

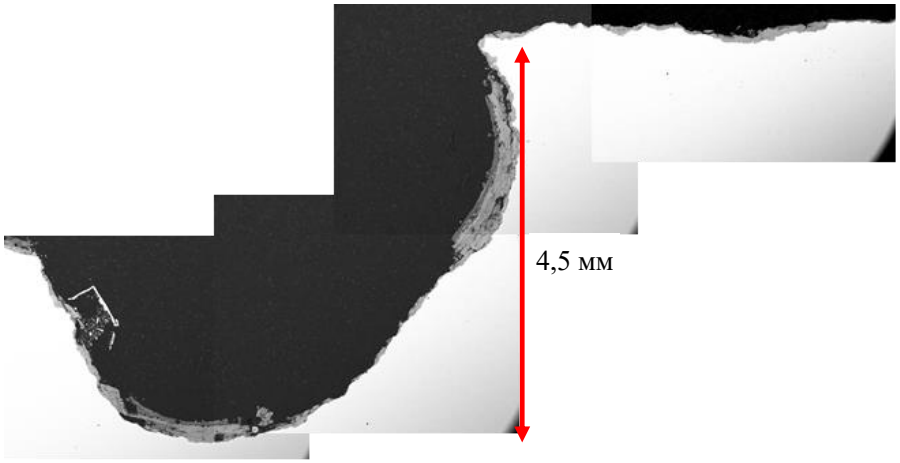
ВНУТРЕННЯЯ ПОВЕРХНОСТЬ ПАТРУБКА (НИЖНЯЯ ОБРАЗУЮЩАЯ) ИЗ СТАЛИ 09Г2С (БАЗОВАЯ)

Марка стали	МАССОВАЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu
09Г2С	0,10	0,60	1,35	0,011	0,003	0,06	0,10	0,03	0,14

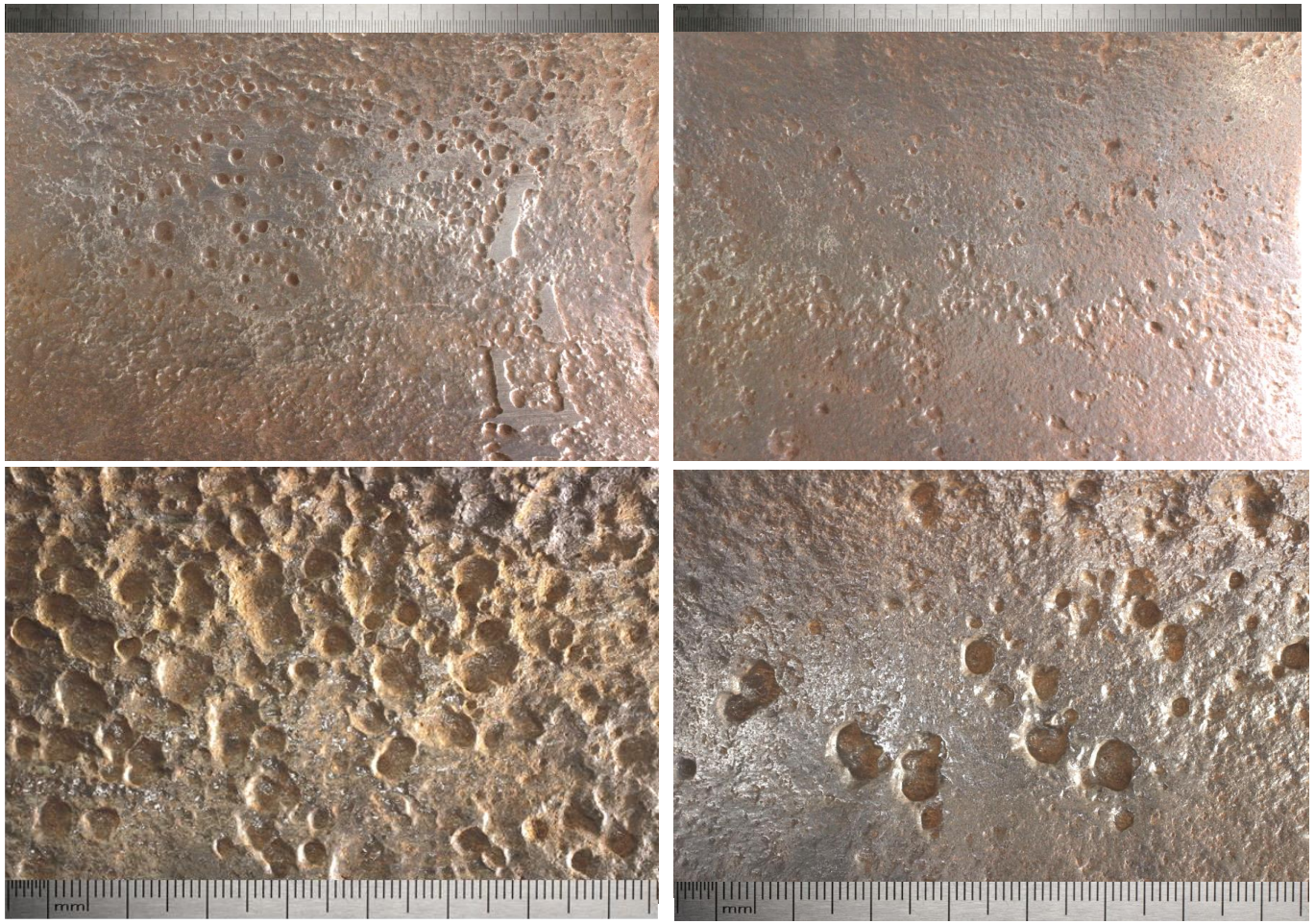
$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	δ, %	$\sigma_т/\sigma_в$	KCV – 60, Дж/см^2	Твердость HRB
525	407	36,0	0,78	291	83,2





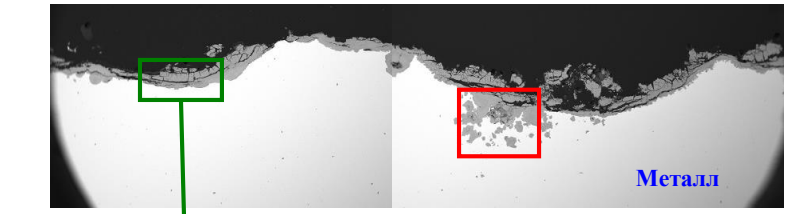


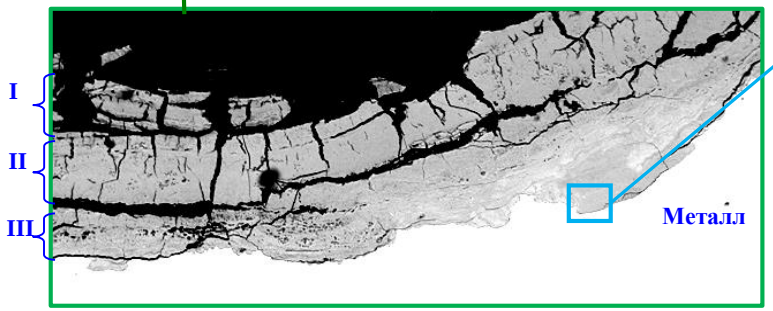
РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПАТРУБКОВ ИЗ СТАЛЕЙ 13ХФА И 08ХМФА ПОСЛЕ ПРОМЫСЛОВЫХ ИСПЫТАНИЙ В ТЕЧЕНИЕ 2 ЛЕТ

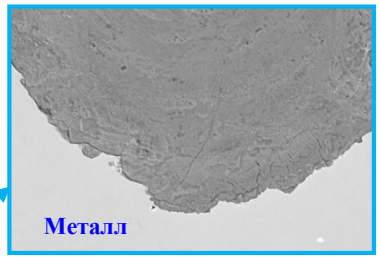


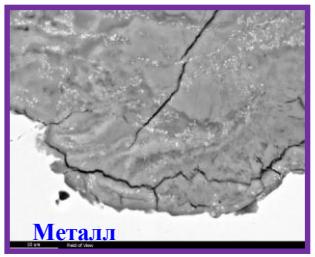
13ХФА 08ХМФА

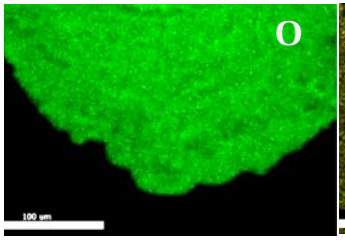
МИКРОСТРУКТУРА ПРОДУКТОВ КОРРОЗИИ СТАЛИ МАРКИ 13ХФА

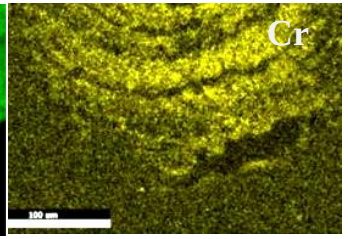


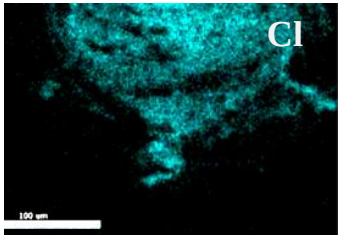


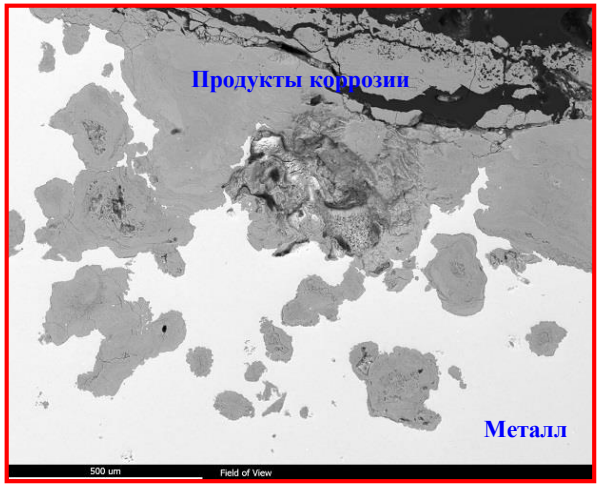




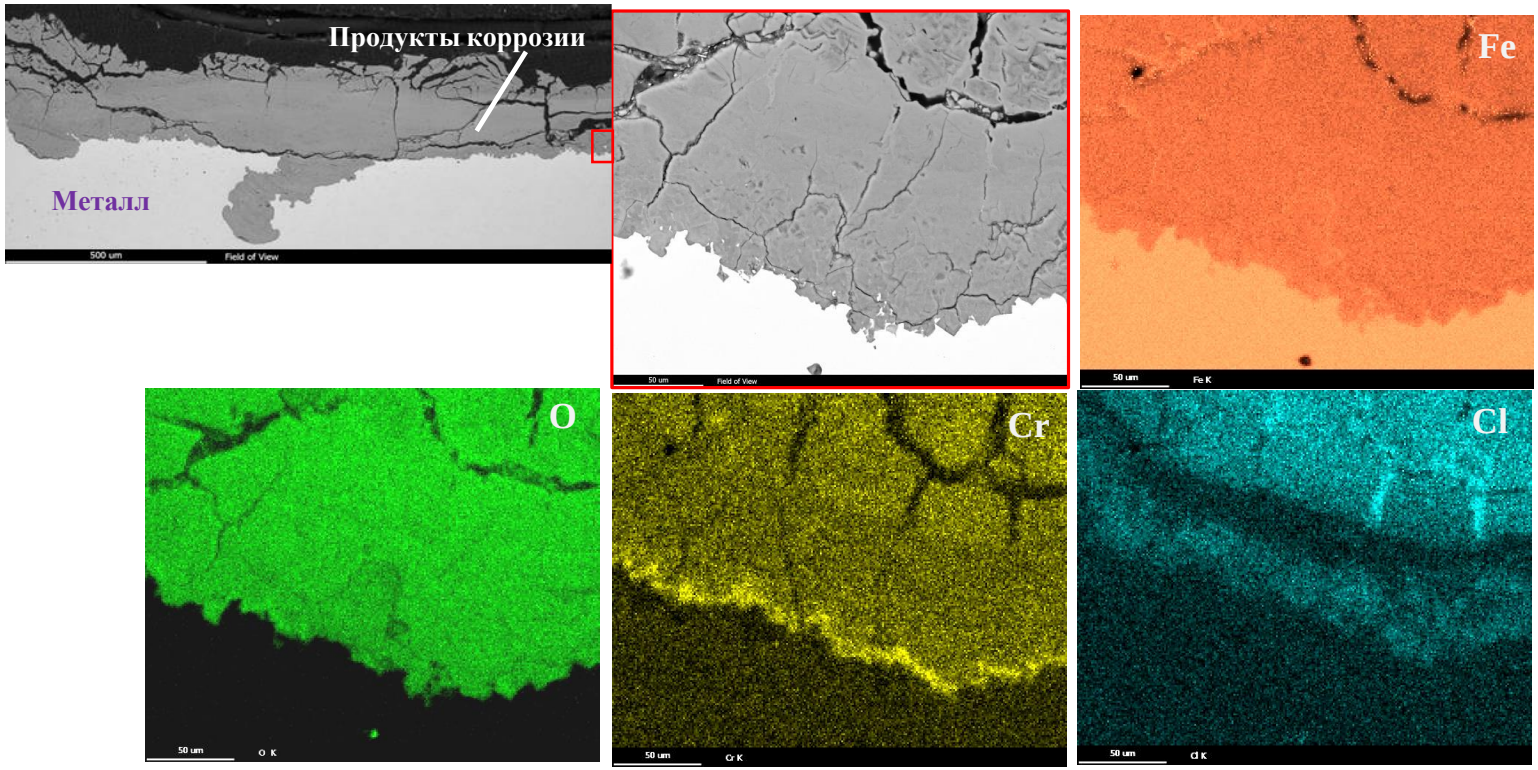








МИКРОСТРУКТУРА ПРОДУКТОВ КОРРОЗИИ СТАЛИ МАРКИ 08ХМФА



МАРКА СТАЛИ	Скорость общей коррозии, мм/год (максимальная)
08ХМФА	0,33
13ХФА	0,39
09Г2С	1,50

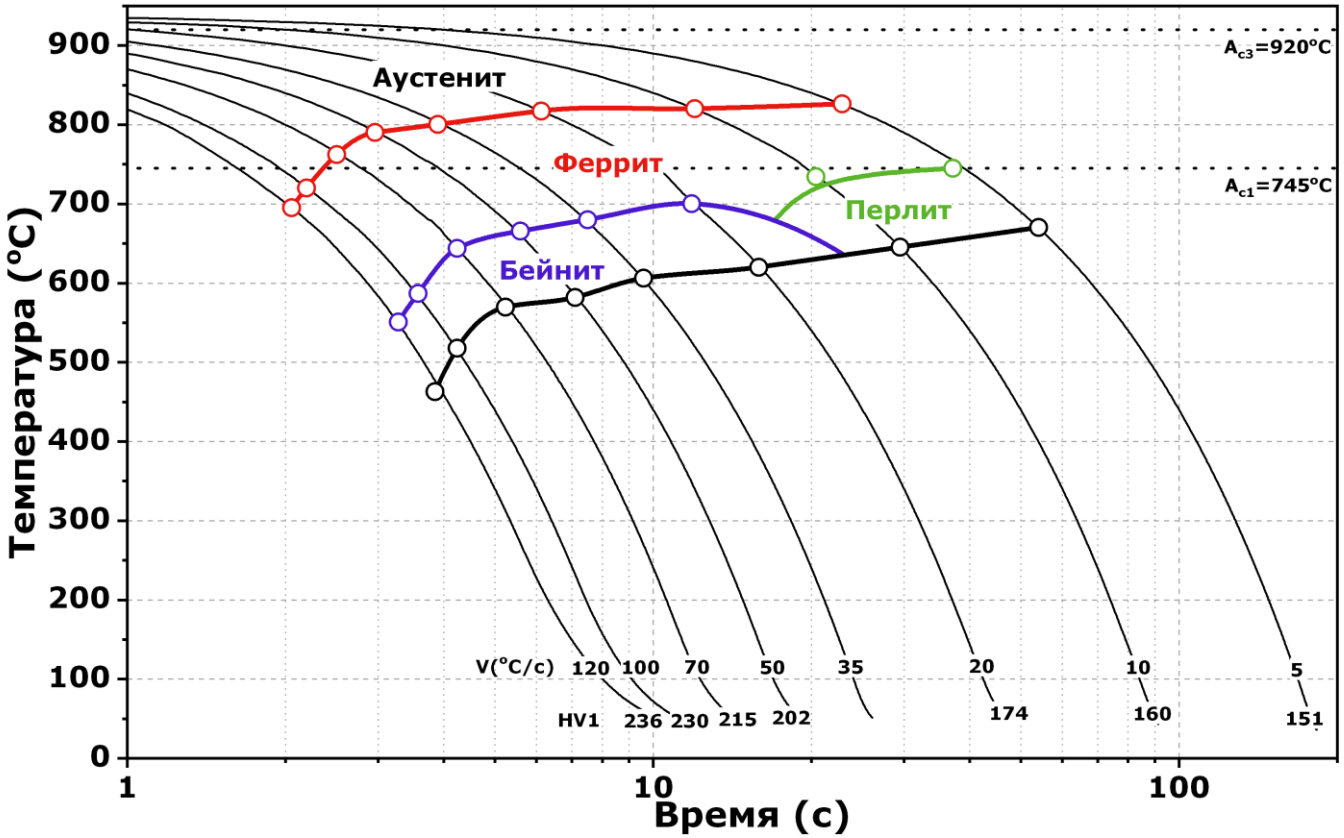
В результате промысловых испытаний, по стойкости к углекислотной коррозии в средах с высоким (27,0 г/л) содержанием ионов хлора исследуемые стали располагаются в следующей последовательности: 08ХМФА→13ХФА→09Г2С. Сталь 09Г2С, из-за интенсивного коррозионного разрушения практически не пригодна к работе в углекислотной среде. Сталь 08ХМФА, с более низким углеродом и дополнительно легированная молибденом, менее подвержена локальной коррозии.



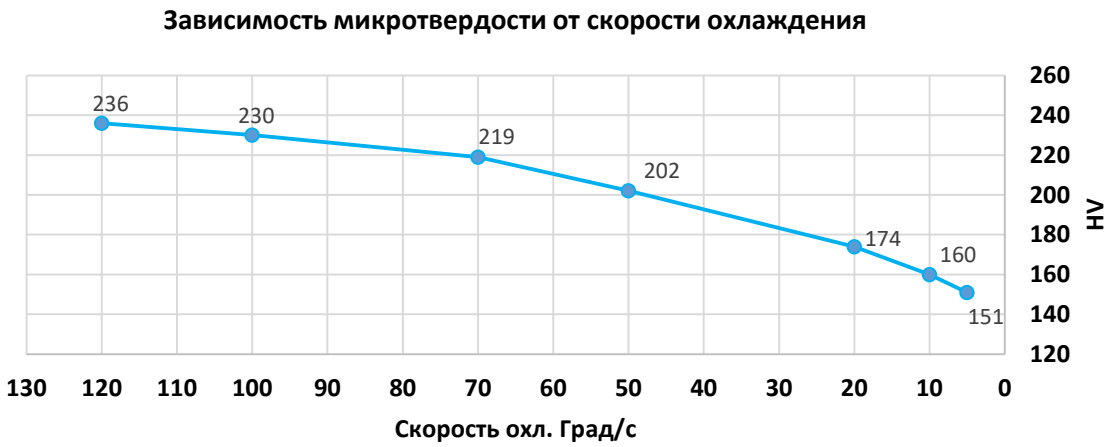
Результаты лабораторных исследований стали 09ХФА

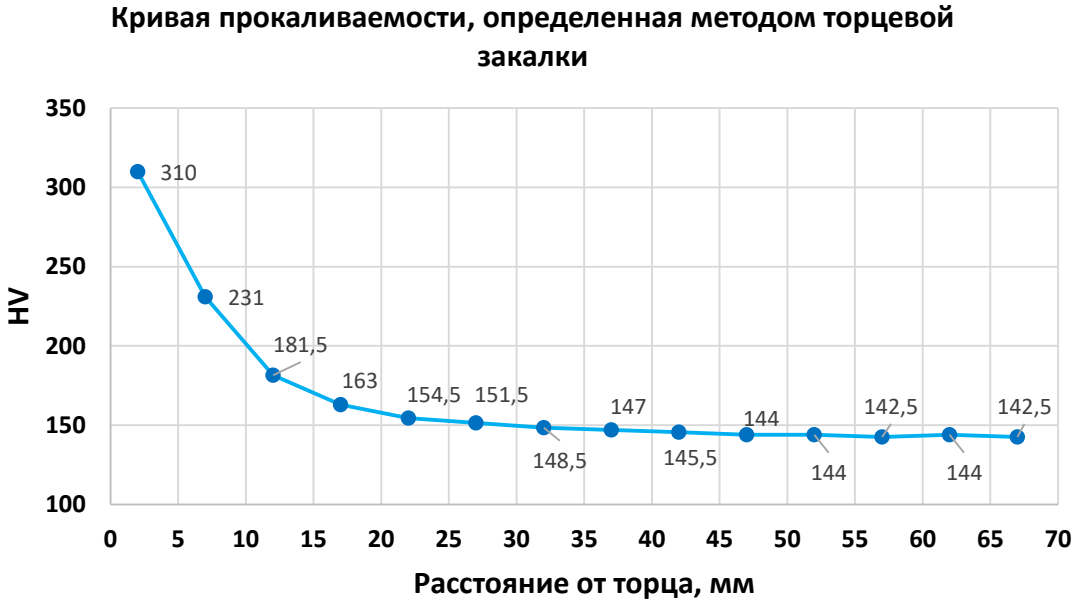
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКАЯ ДИАГРАММА ДЛЯ СТАЛИ 09ХФА

МАРКА СТАЛИ	ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, МАСС %										
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Nb	V	Mo	S	P
09ХФА	0,09	0,20	0,44	0,52	0,12	0,11	0,02	0,088	0,003	0,002	0,011

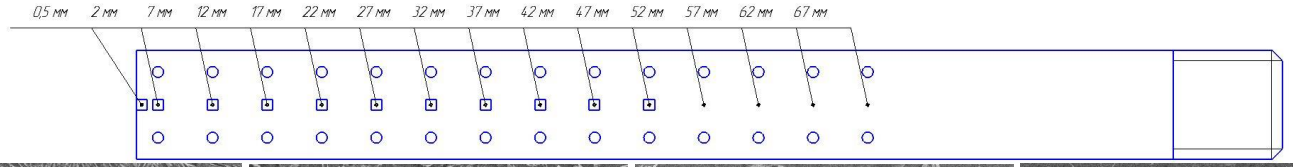


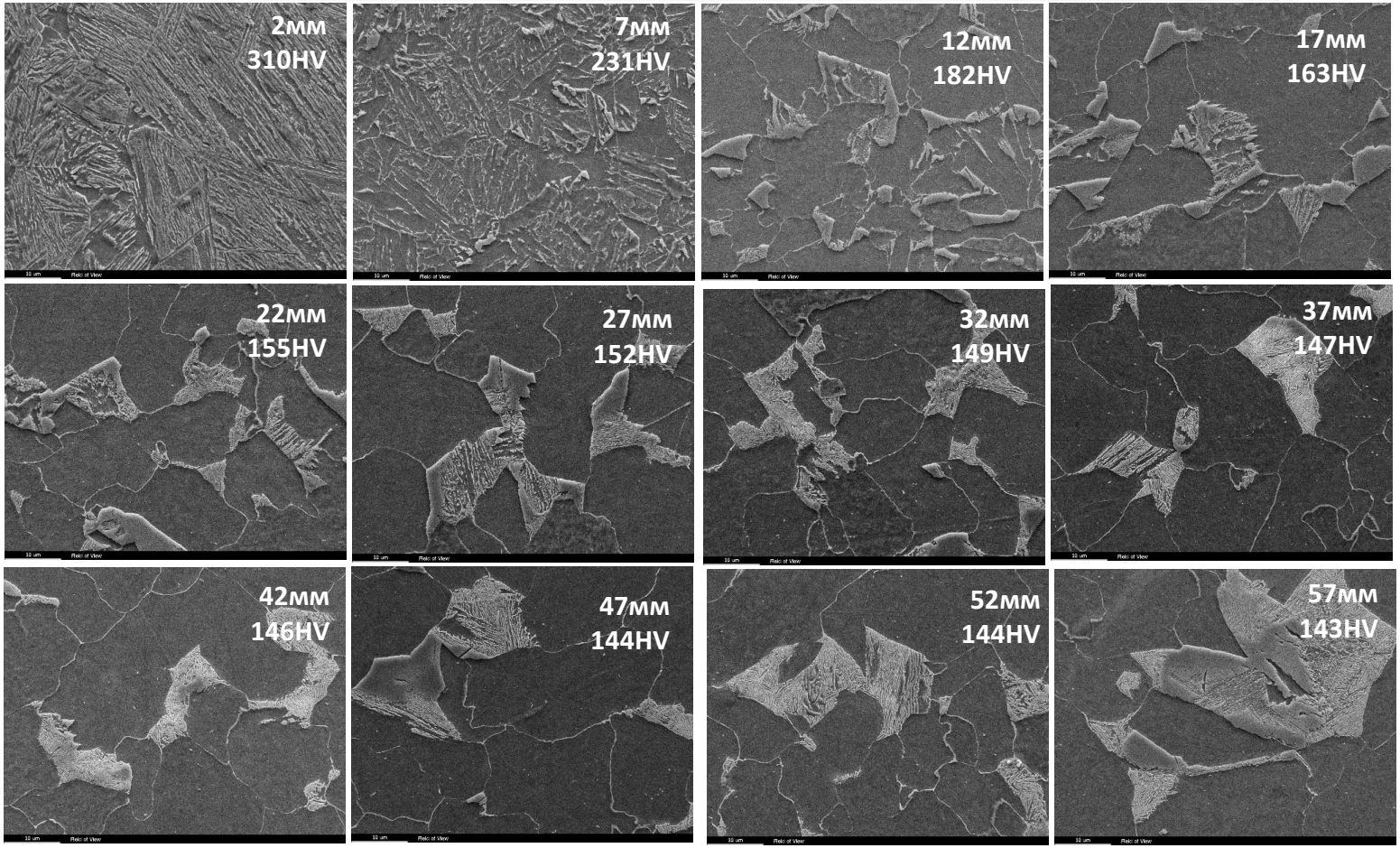
КРИВАЯ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ И ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ МИКРОТВЕРДОСТИ ОТ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ



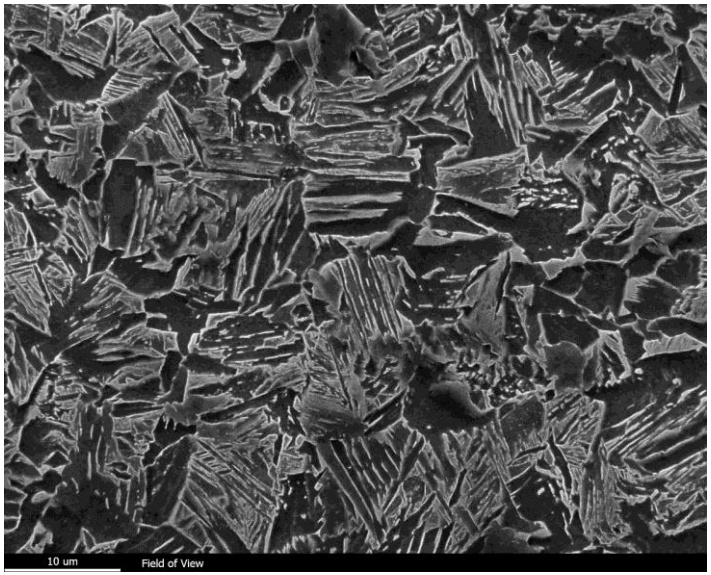


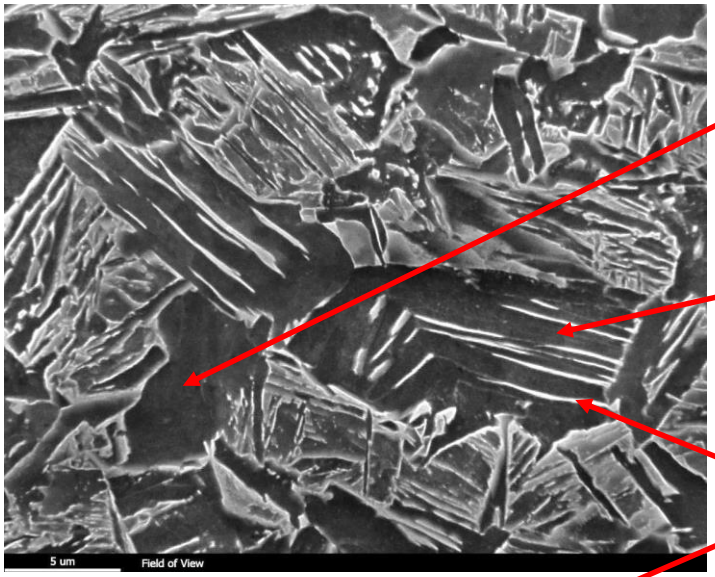
МИКРОСТРУКТУРА СТАЛИ 09ХФА ПОСЛЕ ТОРЦЕВОЙ ЗАКАЛКИ





МИКРОСТРУКТУРА СТАЛИ 09ХФА ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПО РЕЖИМУ ЗАКАЛКА 930°С В ВОДУ

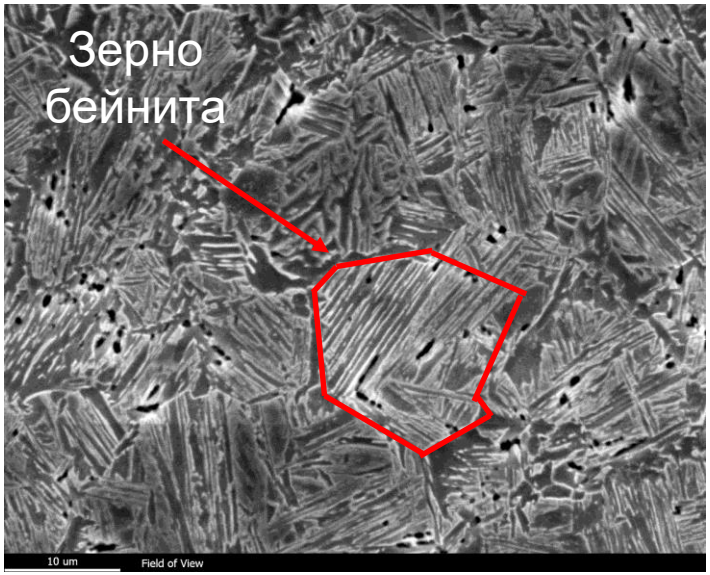


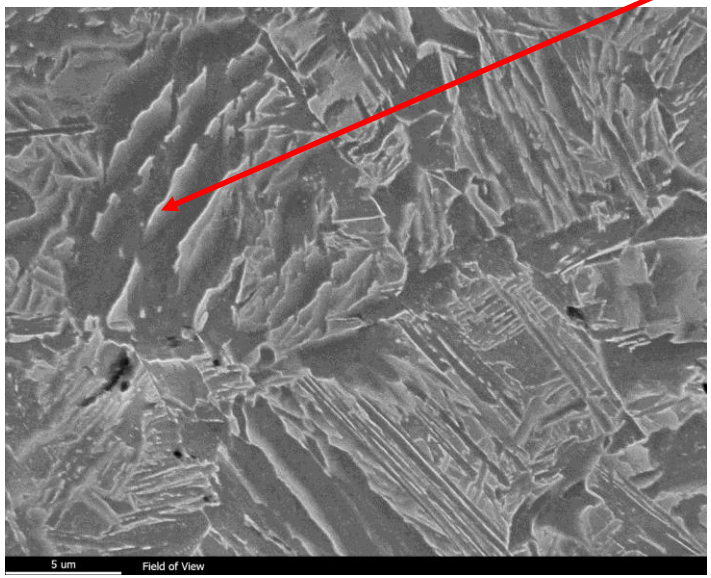


Доэвтектоидный феррит

Феррит бейнита

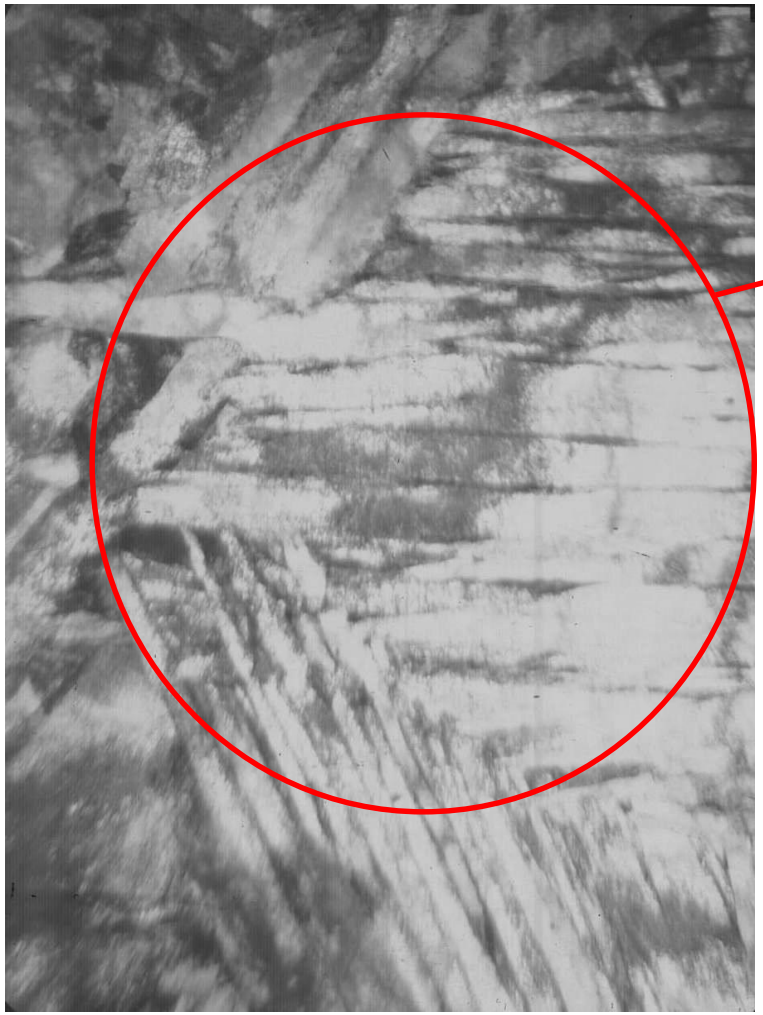
Аустенит бейнита

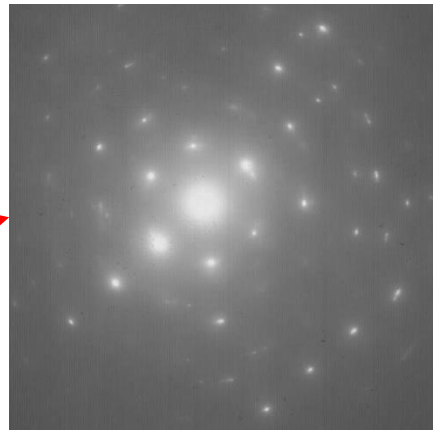


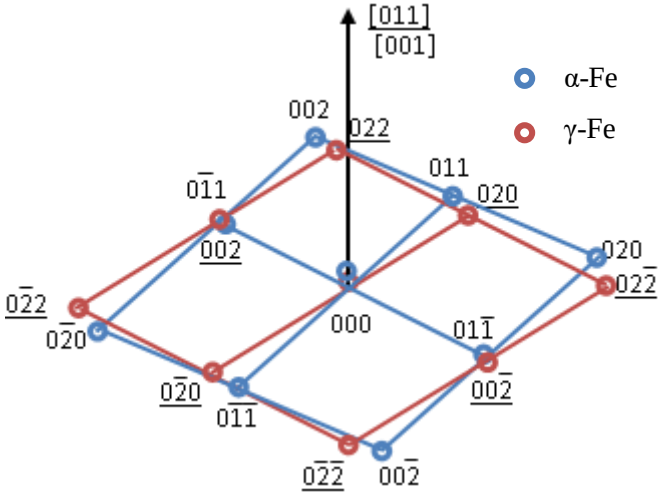


Твердость 35HRC; σв 1080МПа (согласно переводу ASTM A370

МИКРОСТРУКТУРА СТАЛИ 09ХФА ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПО РЕЖИМУ ЗАКАЛКА 930°С В ВОДУ (ПРОСВЕЧИВАЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ)

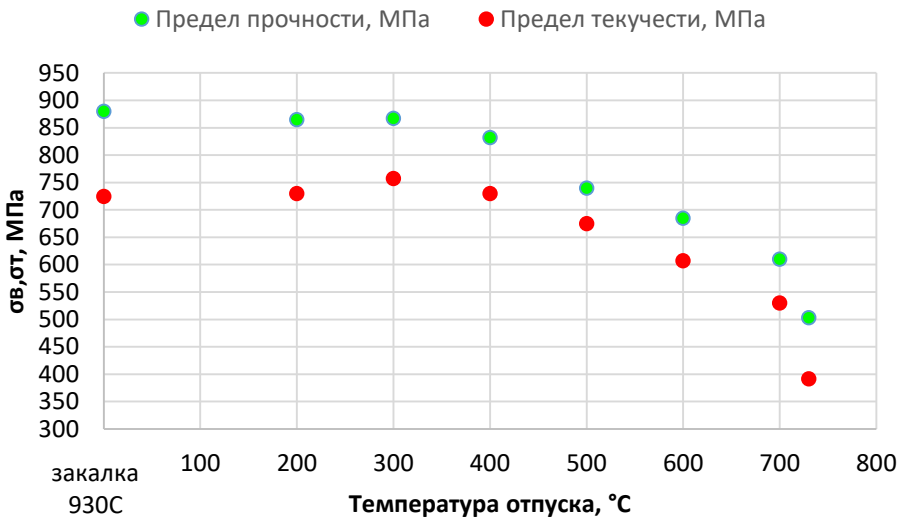


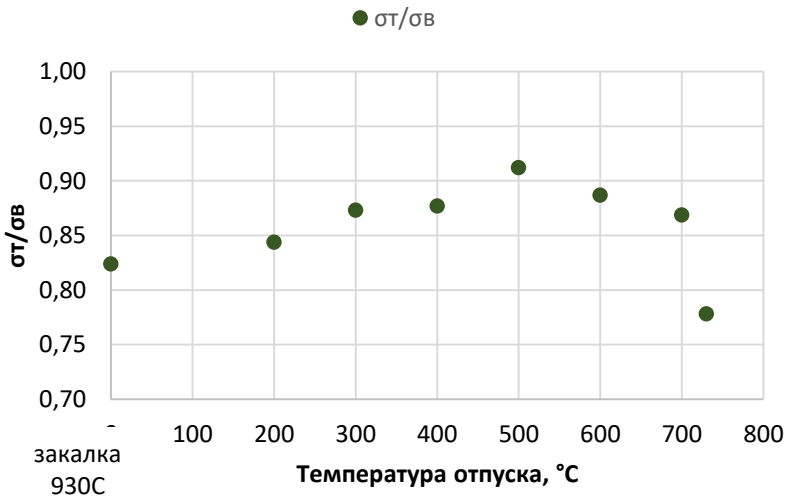


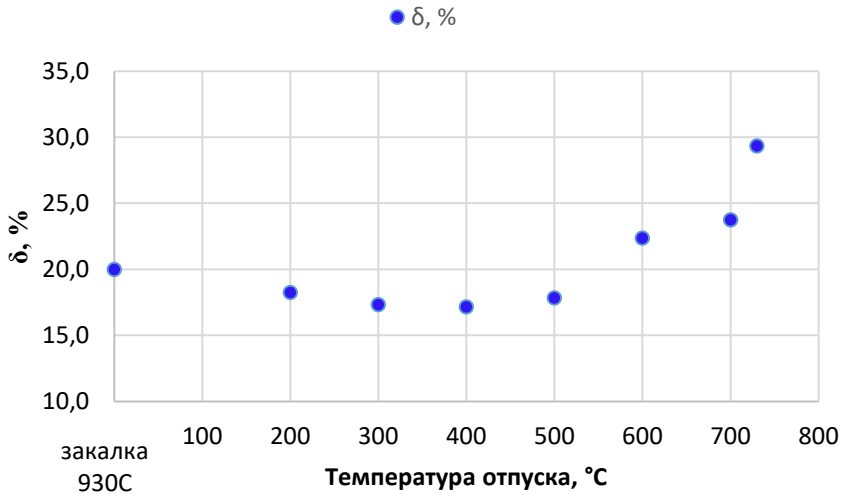


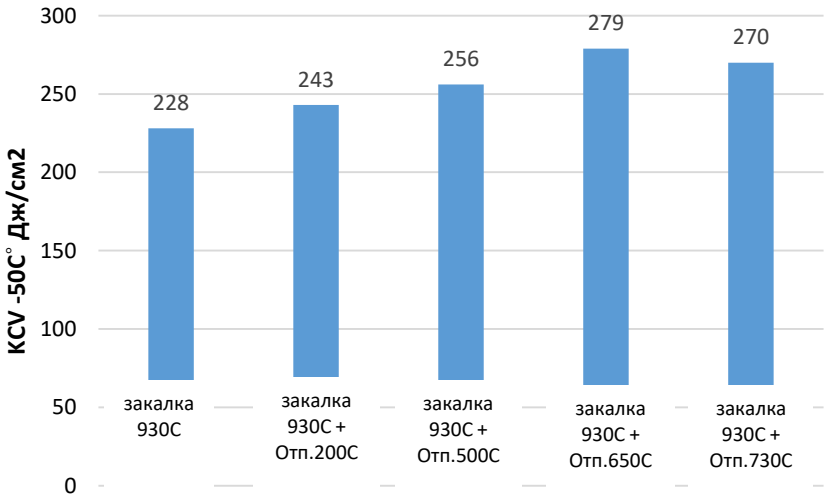
x11000 Светлопольное изображение

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 09ХФА ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 930°С И РАЗЛИЧНЫХ ОТПУСКОВ

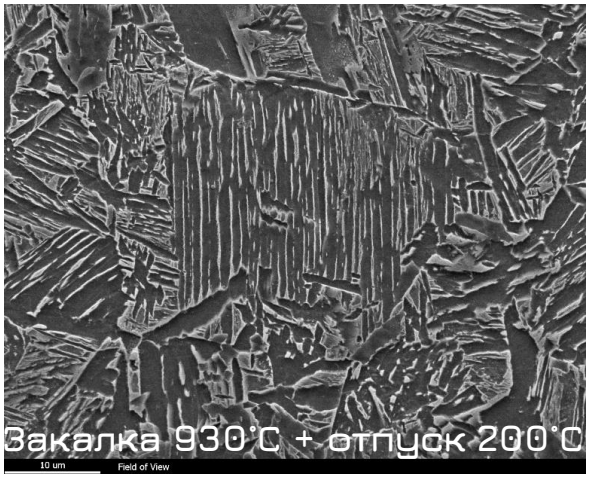




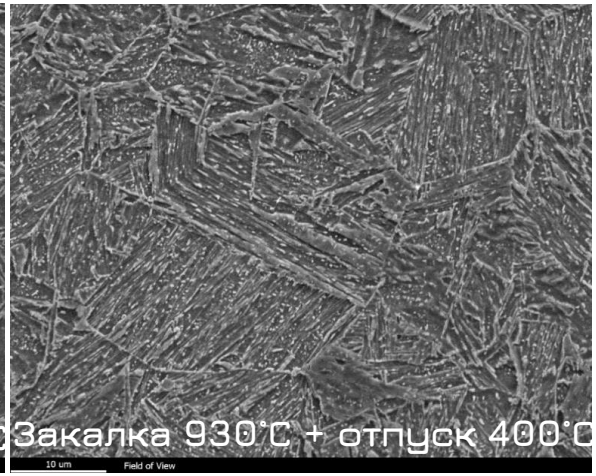


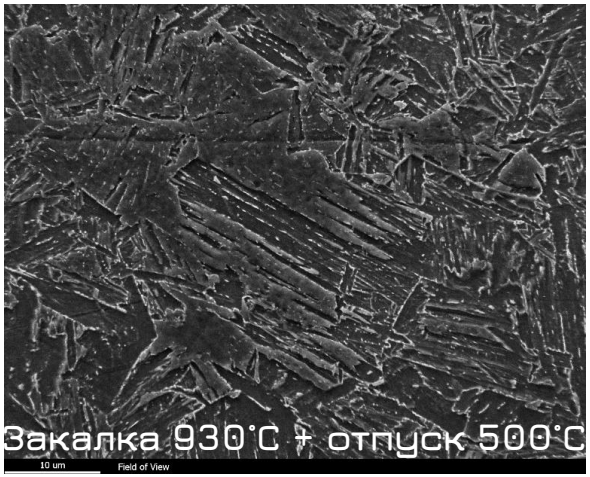


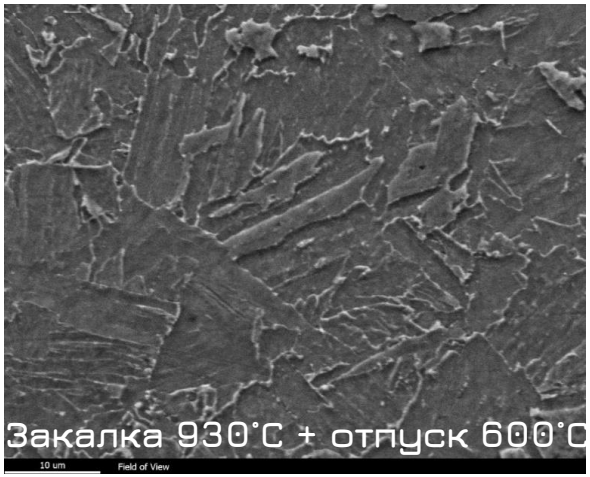
МИКРОСТРУКТУРА СТАЛИ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 930°С И РАЗЛИЧНЫХ ОТПУСКОВ

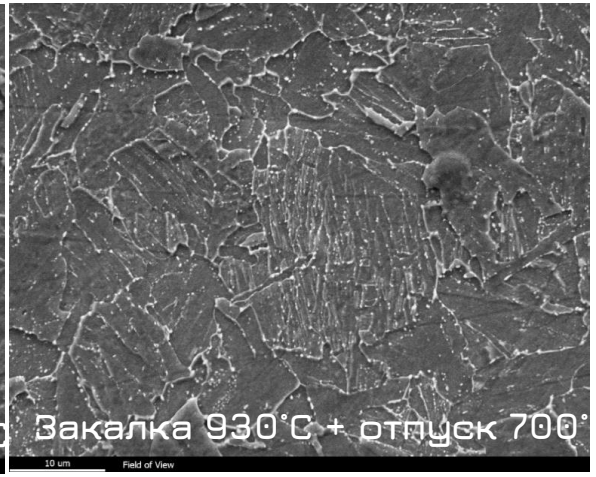




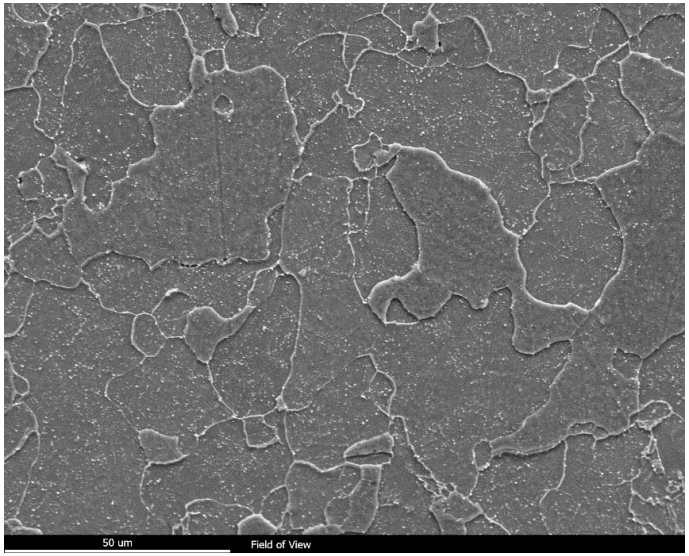


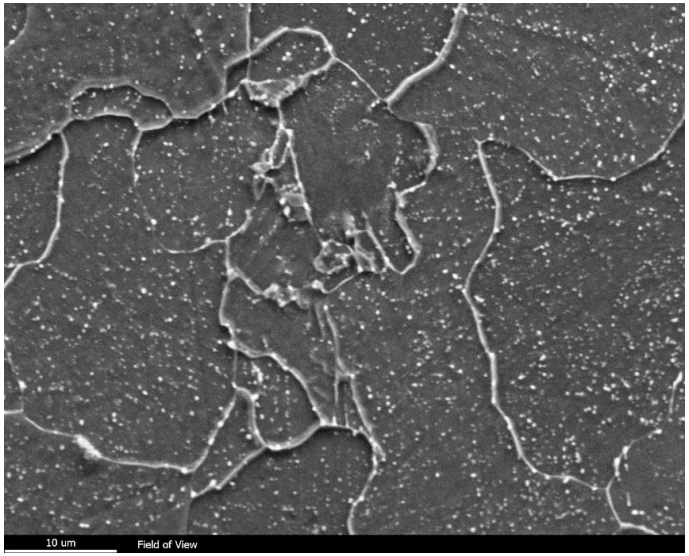


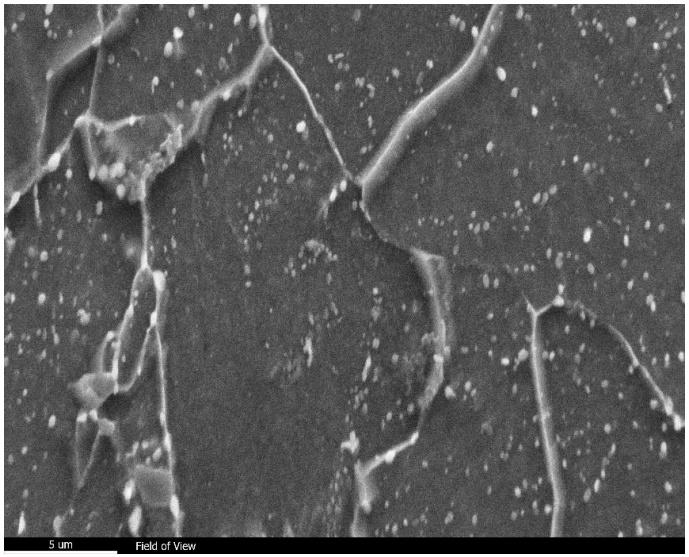


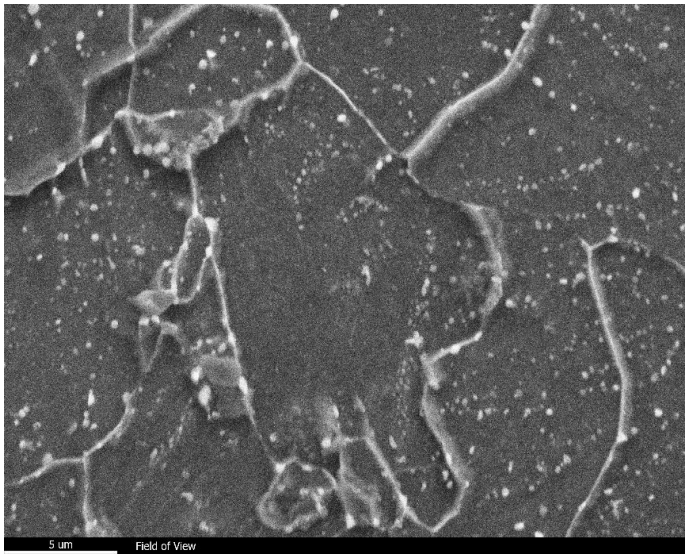


МИКРОСТРУКТУРА СТАЛИ ПОСЛЕ ЗАКАЛКИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ 930°С + ОТПУСК 730°С

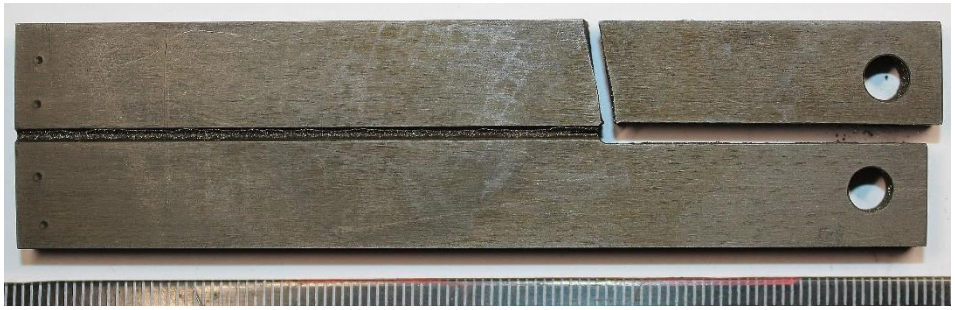








РЕЗУЛЬТАТЫ КОРРОЗИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА СТОЙКОСТЬ К СКРН (МЕТОД D)



Внешний вид ДКБ-образца, после испытания (закалка 930°С)



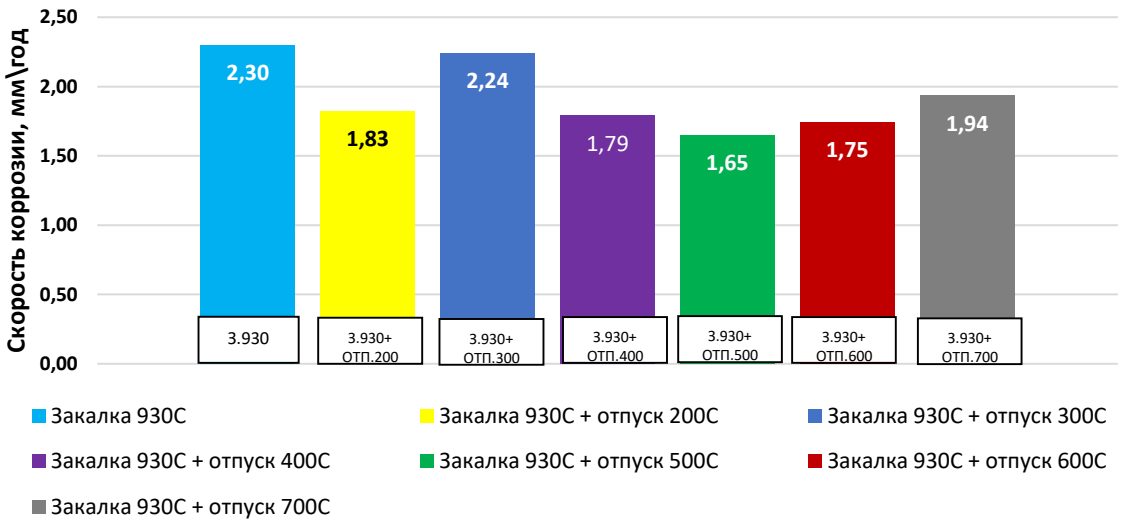
Внешний вид ДКБ-образца, после испытания (закалка 930°С + отпуск 200°С)

Режим ТО	$\sigma_т$	K1ssc, МПа м1/2
Закалка930С+Отп 300С	758	30,60
Закалка930С+Отп 400С	730	30,98
Закалка930С+Отп 500С	675	56,94
Закалка930С+Отп 600С	608	58,46
Закалка930С+Отп 700С	530	61,83
С90 (API 5CT)	621	29,7
Т95 (API 5CT)	655	29,7



Типичный внешний вид ДКБ-образца, после испытания (после закалки 930С + отпуск 300-700°С)

РЕЗУЛЬТАТЫ КОРРОЗИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА СТОЙКОСТЬ К CO2 КОРРОЗИИ (МЕТОДИКА ООО «ИТ-СЕРВИС»)



1. В результате промысловых испытаний, по стойкости к углекислотной коррозии в средах с высоким (27,0 г/л) содержанием ионов хлора исследуемые стали располагаются в следующей последовательности: 08ХМФА→13ХФА→09Г2С. Сталь 09Г2С, из-за интенсивного коррозионного разрушения практически не пригодна к работе в углекислотной среде. Сталь 08ХМФА, с более низким углеродом и дополнительно легированная молибденом, менее подвержена локальной коррозии.
2. Показано, что в стали 09ХФА после закалки формируется микроструктура бескарбидного верхнего бейнита, который состоит из реек феррита с прослойками аустенита. Такая микроструктура обеспечивает высокую прочность и пластичность стали. Сразу после закалки сталь имеет высокую ударную вязкость при температуре минус 50°С.
3. При отпуске в диапазоне 200-300°С микроструктура и свойства стали меняются мало. При отпуске в диапазоне 300-400°С происходит распад аустенитных прослоек, сопровождающийся некоторым упрочнением и охрупчиванием металла. При отпуске 400-650°С развиваются процессы полигонизации, при дальнейшем повышении температуры – рекристаллизации. Прочностные свойства стали падают, а пластические – растут. При температуре отпуска более 700°С происходит собирательная рекристаллизация, что сопровождается резким разупрочнением стали.
4. Повышение температуры отпуска мало влияет на стойкость стали к углекислотной коррозии, однако приводит к существенному увеличению стойкости стали к СКРН.

ОМК

Исследование коррозионной стойкости сварного соединения труб ТВЧ

Удод Кирилл Анатольевич, к.т.н.

Пейганович Иван Викторович, к.т.н.

Сорокин Александр Евгеньевич

Гусева Елена Геннадьевна

Совершенство продуманных решений

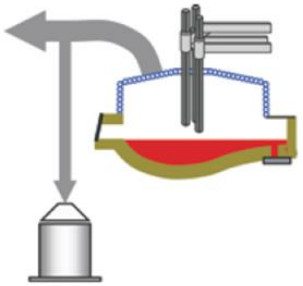
2022





АО «ВМЗ» производит трубы из собственного полуфабриката (рулон, лист). Поэтому мы обеспечиваем максимальный контроль качества на каждом технологическом этапе производства

ДСП-180

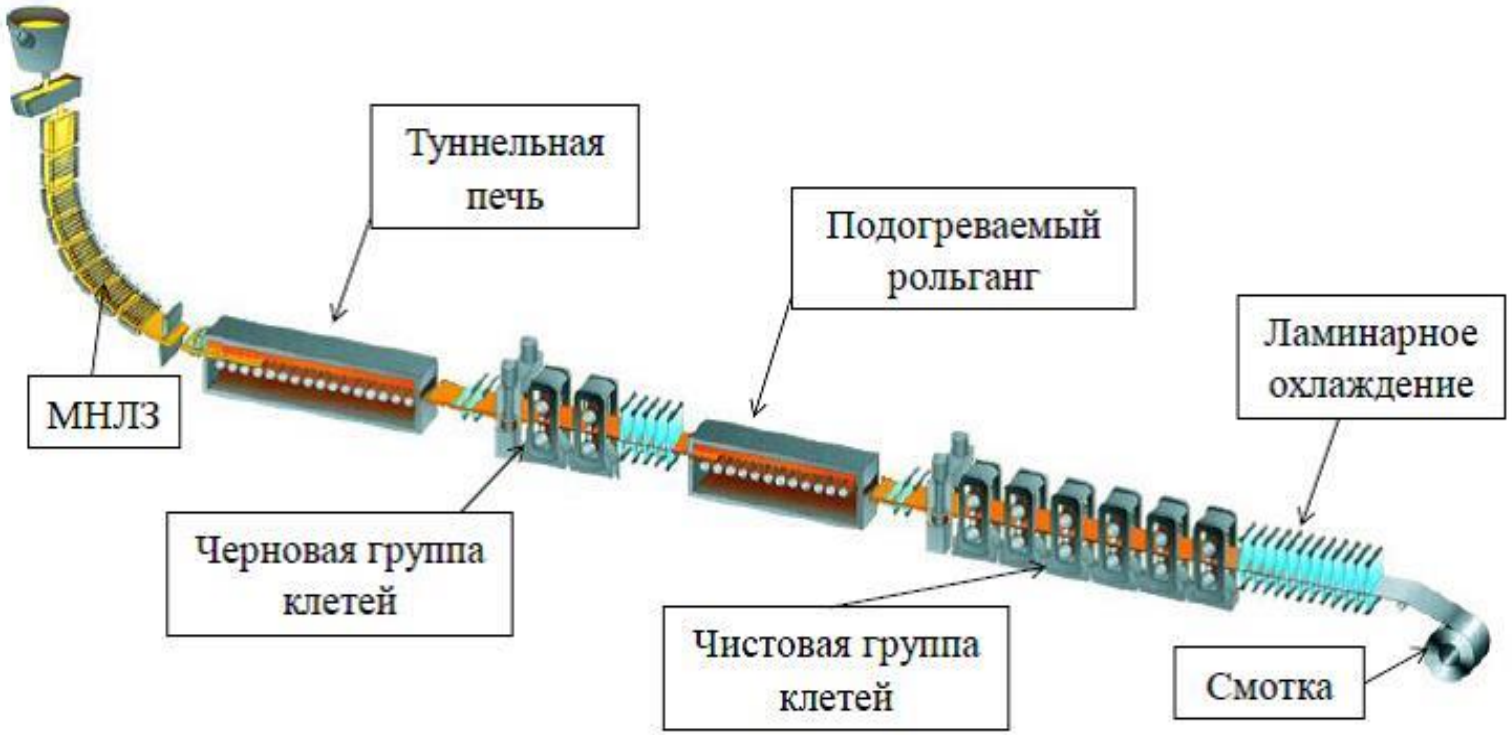


Установка «ковш-печь»

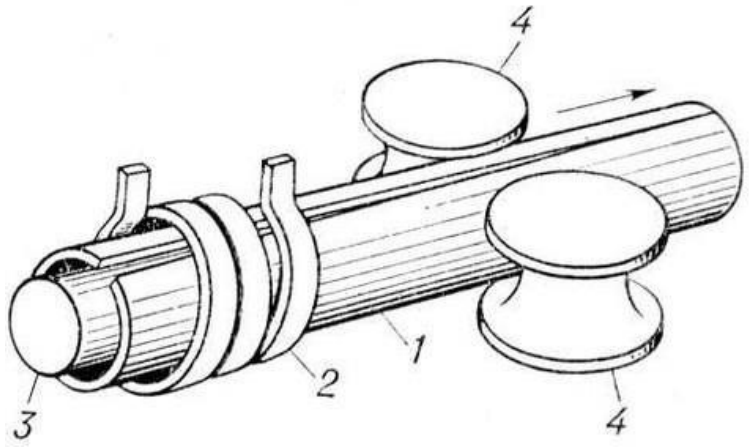


Установка вакуумной дегазации





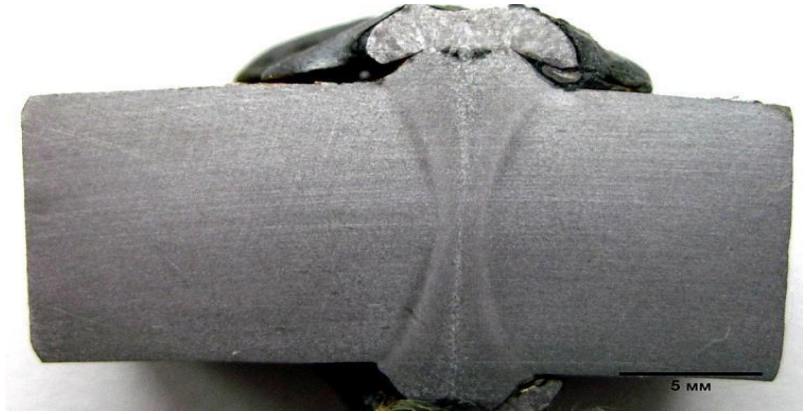
Сварка токами высокой частоты (ТВЧ)

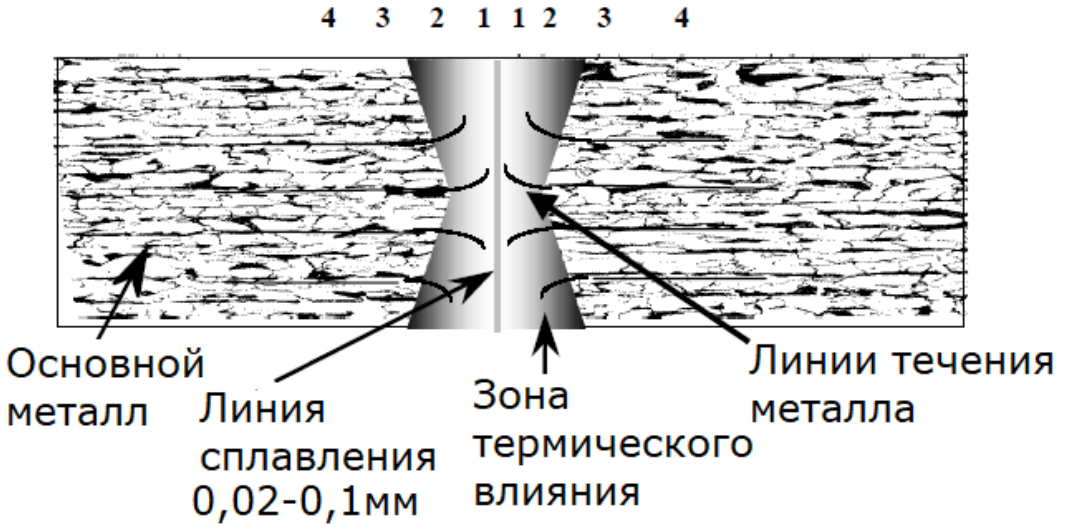


Индукционный токоподвод

1. Трубная заготовка
2. Индуктор
3. Сердечник
4. Сварочные валки







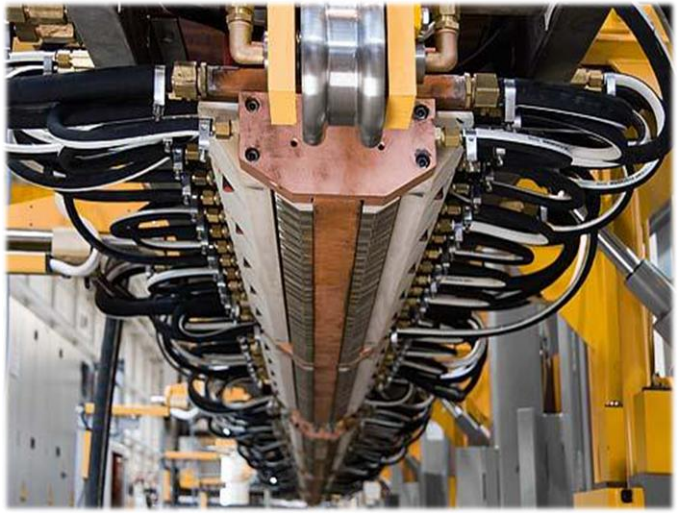
Снятие наружного и внутреннего грата



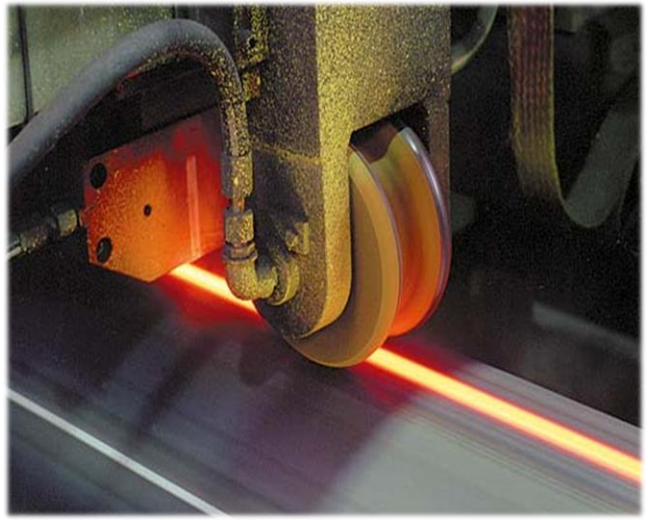


- Удаление внутреннего грата производится внутренним гратоснимателем, состоящим из штанги, задний конец которой закреплен на последней формофочной клети.
- Удаленный грат измельчается насекателем, установленным на штанге гратоснимателя.
- Допустимая высота остатков внутреннего грата, в зависимости от требований стандартов, составляет в среднем от -0,3 мм (канавка) до +0,3 мм

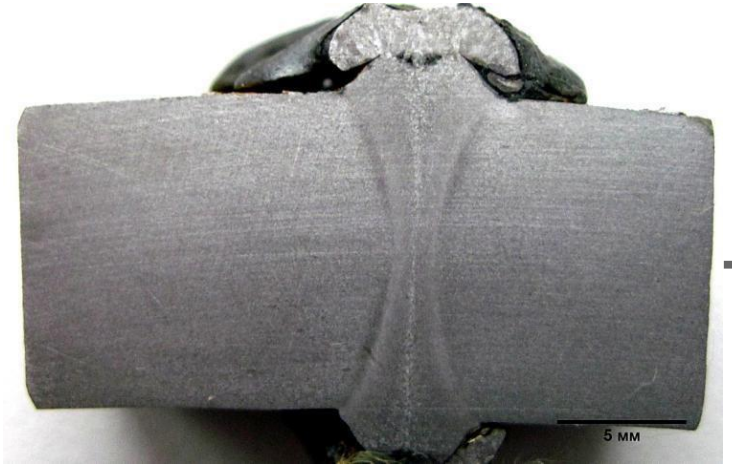
Локальная термообработка шва







Применение локальной термической обработки шва позволяет получить структуру сварного шва, идентичную основному металлу.





СТАНДАРТИЗОВАННЫЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ







(а) Испытательное кольцо



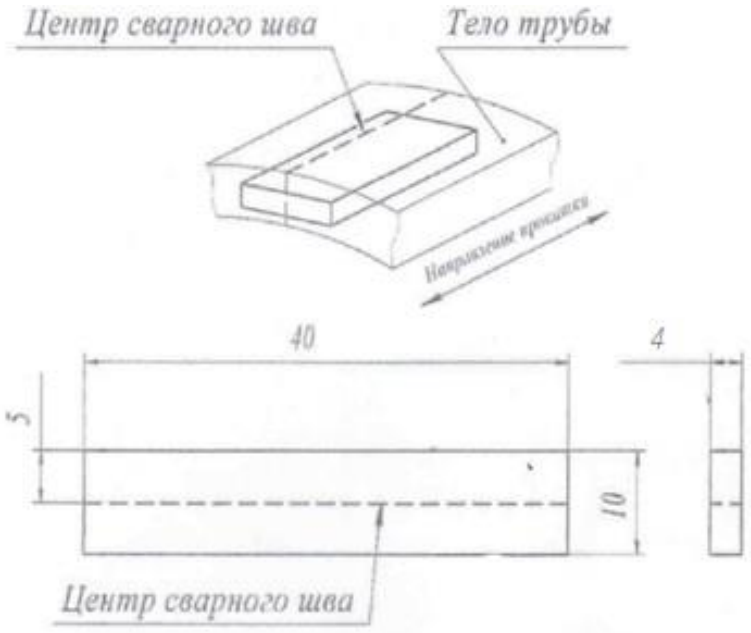
1. NACE TM 0284–2016 «Оценка сталей для трубопроводов и сосудов под давлением на стойкость к водородному растрескиванию»
2. NACE TM 0169– 2016 «Стандартное руководство по лабораторным иммерсионным испытаниям на коррозионную стойкость металлов»
3. NACE TM 0177–2016 «Лабораторные испытания металлов на устойчивость к сульфидному растрескиванию под напряжением и коррозионному растрескиванию под напряжением в среде H_2S» (метод A, метод B, метод D).
4. NACE TM 0316–2016 «Лабораторные испытания металлов на устойчивость к сульфидному растрескиванию под напряжением и коррозионному растрескиванию под напряжением в среде H_2S»
5. СТО 002-13 «Методика измерений скорости коррозии трубных сталей в модельных сероводородсодержащих средах гравиметрическим методом»
6. ASTM G39-99/ISO 7539–2 «Показатель стойкости к сульфидному коррозионному растрескиванию под напряжением методом четырехточечного изгиба»
7. ГОСТ 6032-2017 (метод АМУ) «Стали и сплавы коррозионно-стойкие. Методы испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии»
8. ASTM A262 «Стандартные практические руководства для обнаружения восприимчивости аустенитных нержавеющих сталей к межкристаллитной коррозии»
9. ASTM G48-2015 «Стандартные методы испытаний для определения устойчивости нержавеющей стали и родственных сплавов к питтинговой и щелевой коррозии с использованием раствора хлорного железа»
10. ISO 15741:2016 «Антифрикционные покрытия внутренней поверхности надводных и подводных стальных трубопроводов для не коррозионных газов»

Гравиметрические испытания основного металла и сварного шва ТВЧ (включая ЗТВ) труб 219×12 из стали 09Г2С производства АО «ВМЗ» по ГОСТ 9.908



Условия испытаний:

- р-р 5% NaCl + 0,4%CH_3COONa + 1 %CH_3COOH
- температура среды +24 ± 3°С;
- концентрация CO_2 500 - 900 ppm;
- продолжительность испытания 96 ч.



Скорость общей коррозии:

Основной металл – **0,12 мм/год**

Сварной шов + ЗТВ – **0,13 мм/год**

ДИНАМИЧЕСКИЕ КОРРОЗИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ МЕТАЛЛА В СРЕДАХ, ИМИТИРУЮЩИХ РЕАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

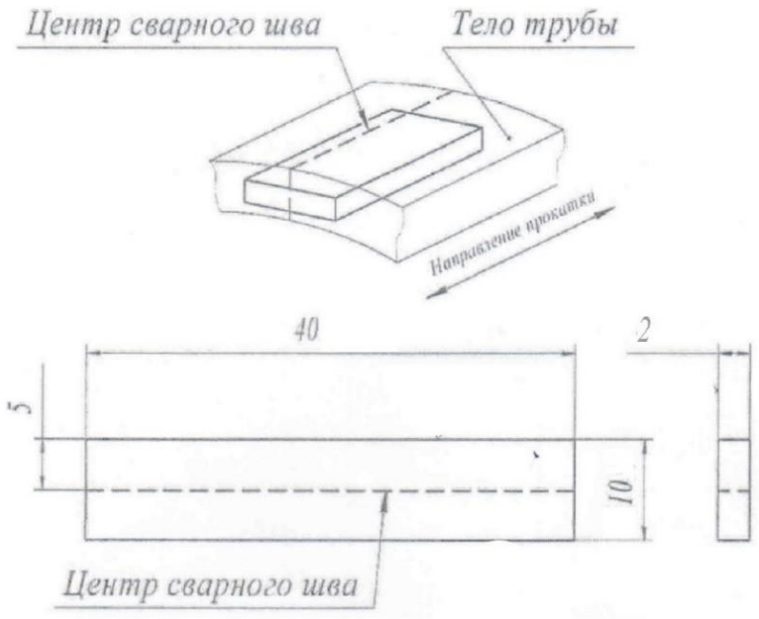
Установка Моникор-Стенд-А





- Испытания сталей и ингибиторов коррозии в автоматически контролируемых параметрах потока рабочей среды
- Рабочие среды: водные с содержанием солей, коррозионно-активных газов (CO_2, H_2S, O_2) и инертных газов
- Контроль и автоматическое поддерживание концентраций CO_2, H_2S, O_2
- Температура рабочей среды: от 20 до 80 °С
- Скорость потока среды: до 4,42 м/с

Коррозионно-метрические испытания основного металла и сварного шва ТВЧ (включая ЗТВ) труб 177,8 × 9,19 категории прочности Р110 производства АО «ВМЗ»



НОВАТЭК
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

Условия испытаний:
- температура испытательной среды – 50 °С
- скорость потока – 4,0 м/с
- постоянный барботаж CO_2 со скоростью 0,1 л/мин.
- Время экспозиции – **840 часов**

Усреднённый состав воды пласта ТП14

Общая минерализация, мг/л	Содержание ионов, мг/дм^3						pH*
	Na+	K+	Ca++	Mg++	Cl-	HCO3-	
10985	3960	54.4	98	20.7	6143	671	7.8±0,2
Примечание: * – значение указано для дегазированных проб пластовой воды.							

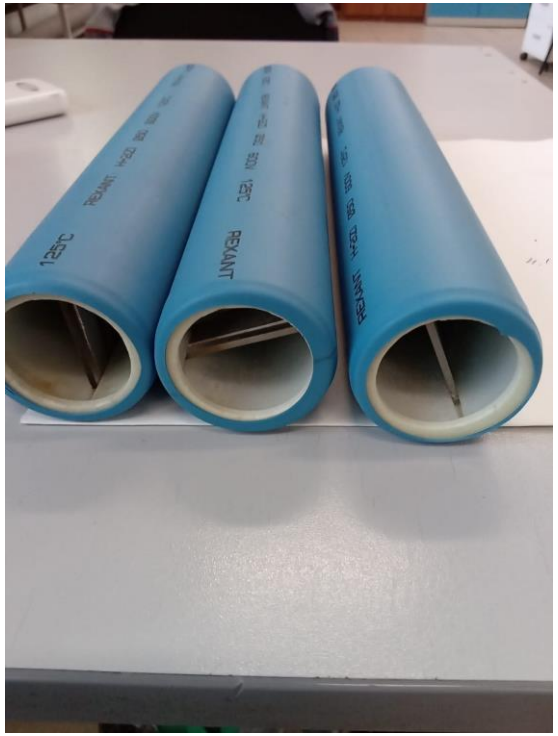
Коррозионно-метрические испытания основного металла и сварного шва ТВЧ (включая ЗТВ) труб 177,8 × 9,19 категории прочности Р110 производства АО «ВМЗ»

Основной металл

Сварной шов



Постановка образцов на испытания







Коррозионно-метрические испытания основного металла и сварного шва ТВЧ (включая ЗТВ) труб 177,8 × 9,19 категории прочности Р110 производства АО «ВМЗ»





Основной металл | Сварной шов



Скорость общей коррозии:

Основной металл – **0,855 мм/год**

Сварной шов + ЗТВ – **0,859 мм/год**

Направления дальнейших исследований

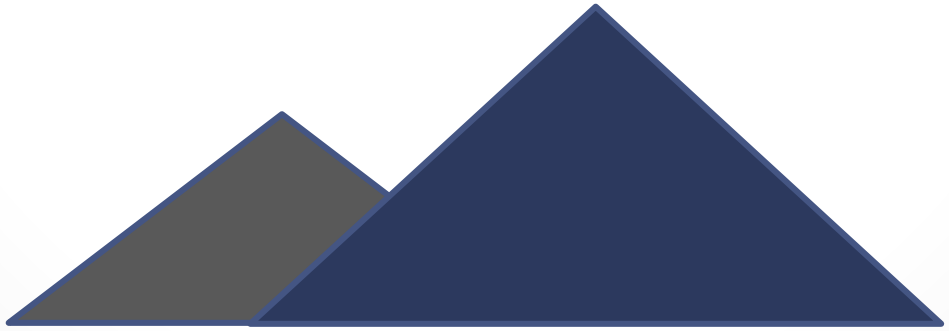
1 Динамические испытания основного металла и сварного шва в средах, содержащих H_2S и смесь CO_2+H_2S

2 Сравнительные испытания основного металла и сварного шва по методике, совмещающей гравиметрию и метод LPR

3 Разработка методики оценки стойкости к локальной коррозии, в том числе под напряжением

«ВАЛЬМА»

Научно-исследовательское производственное предприятие



Трубопроводная арматура.

Нормативные требования.

Стойкость изделий из стали 20ГЛ к СКРН

Докладчик: Блажнов Н.М.

Цель эксперимента

установление соответствия влияния испытательной среды на свойства металла в средах с различным сочетанием концентрации сероводорода и pH в границах зон агрессивности воздействия 1, 2 и 3.

Задачи

- Выбор комбинации параметров (сочетаний pH_2S / pH) испытательной среды.
- Оценка изменения свойств металла после испытания

Анализ нормативной документации

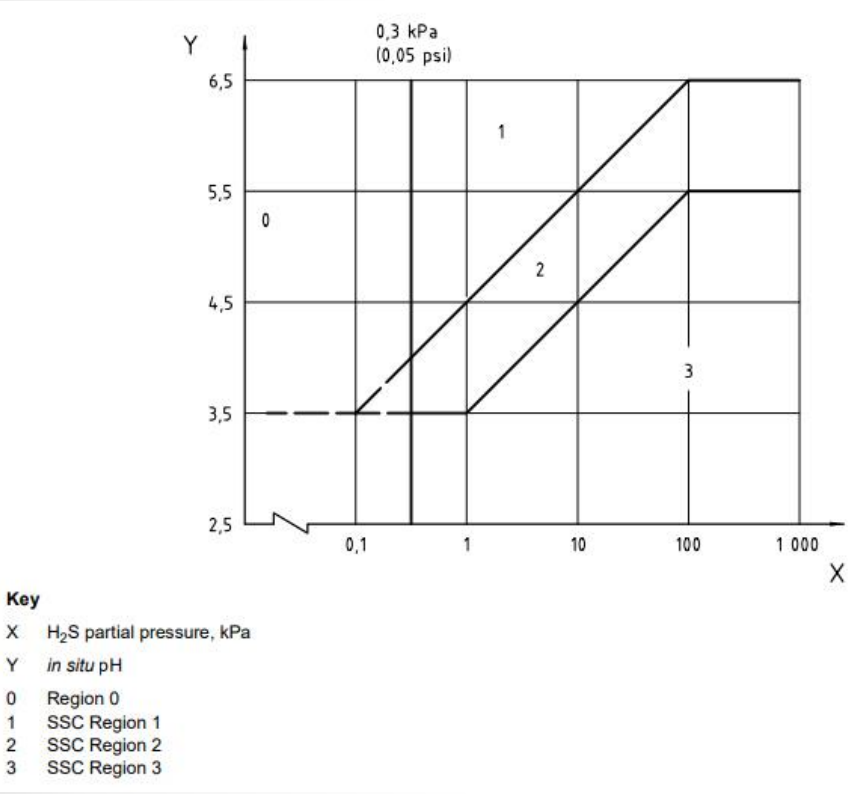
- При создании МУК ЕТТТ ЗКЛ ред. 1.00 не были учтены требования ГОСТ Р 53678-2009. Требования к стойкости материалов корпусных деталей задвижек клиновых литых были введены по аналогии с ранее принятыми ЕТТ к НГПТ. (среда А, 72% от мин. гарант. Предела текучести). Кроме того ред. 1.00 не предъявляла требований к хим. составу или маркам применяемых сталей. Порядок проведения испытаний и количество образцов однозначно не устанавливалось.

- В ред. 2.00 появились допустимые интервалы содержания химических элементов в составе легированных сталей для корпусных деталей задвижки. Требования к стойкости к СКРН остались на уровне ЕТТ1.00. Порядок проведения испытаний и количество образцов однозначно не устанавливалось. ЕТТ Лукойл разработаны на основе МУК ЕТТ 2.00

- В ред. 3.00 появилась классификация рабочих сред в зависимости от парциального давления сероводорода и рекомендации по применению марок сталей в зависимости от степени агрессивного воздействия. Требования к стойкости к СКРН соответствуют ГОСТ Р 53678-2009. МУК ЕТТ ЗКЛ 3.00 устанавливает требования к порядку проведения испытаний и количеству образцов. Отсутствует критерий оценки результатов испытаний (допускаемое количество разрушившихся образцов).

- Изменениями от 02.04.2019 к ЕТТ 3.00 были снижены требования к нагрузке при испытаниях на стойкость к СКРН, а именно КПН=72% от мин. гарантированного предела текучести. Испытательные среды остались без изменений.

Области агрессивного воздействия СКРН в зависимости от парциального давления H_2S от pH



В 1975 году было выпущено первое издание стандарта NACE MR0175, которое установило пределы парциального давления H_2S, превышение которых требовало повышенных мер защиты от СКРН.

В 2003 году был разработан комбинированный стандарт NACE MR0175 / ISO 15156. В стандарте жесткость среды распределялась по трем областям в зависимости от pH водной среды и парциального давления H_2S в газовой фазе.

В 2011 в РФ был введен в действие ГОСТ Р 53678-2009. Документ являлся модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 15156-2:2003 (NACE MR0103).

Разработка локальной нормативной документации в дальнейшем базировалась на ГОСТ Р 53678-2009.

Классификация рабочих и испытательных сред согласно МУК ЕТТ ПАО «НК«Роснефть»

Классификация рабочей среды, в зависимости от содержания H_2S

№ П/П	СОДЕРЖАНИЕ H_2S	ПАРЦИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ H_2S	УСЛОВНОЕ ОБОЗНАЧЕНИЕ
1	2	3	4
1	Отсутствует	Менее 300 Па	К0
2	Низкое	От 300 Па до 10 000 Па включительно	К1
3	Среднее	Свыше 10 000 Па до 1,0 МПа включительно	К2
4	Высокое	Свыше 1,0 МПа	К3

Содержания pH в зависимости от P_{H2S} для условий испытаний

№ П/П	pH	ТРЕБУЕМОЕ P_{H2S} ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ, КПА	
		УСЛОВИЯ ДЛЯ ЗОНЫ 1 СКРН	УСЛОВИЯ ДЛЯ ЗОНЫ 2 СКРН
1	2	3	4
1	3,5	–	1
2	4,0	0,3	–
3	4,5	1	10
4	5,5	10	100
5	6,5	100	–

Лабораторные испытания на СКРН для эксплуатации в среде, содержащей H_2S

№ П/П	ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ	МОДЕЛЬНЫЙ РАСТВОР	ПРИЛОЖЕННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ
1	2	3	4
1	Для материалов, предназначенных для эксплуатации в области СКРН 1 (К1)	5% NaCl + 0,4% CH_3COONa в дистиллированной воде. P_{H2S} и pH в соответствии с областью СКРН 1 Таблица 13 настоящих Методических указаний и рисунок 1 ГОСТ 53678-2009	90% от фактического предела текучести
2	Для материалов, предназначенных для эксплуатации в области СКРН 2 (К2)	5% NaCl + 0,4% CH_3COONa в дистиллированной воде. P_{H2S} и pH в соответствии с областью СКРН 2 Таблица 13 настоящих Методических указаний и рисунок 1 ГОСТ 53678-2009	90% от фактического предела текучести
3	Для материалов, предназначенных для эксплуатации в других областях СКРН (К3)	5% NaCl + 0,5% CH_3COOH в дистиллированной воде. P_{H2S} и pH в соответствии с Таблицей В.2 ГОСТ 53678-2009 (Среда А)	80% от фактического предела текучести

Объекты испытания

образцы из стали **20ГЛ**, прошедшие термообработку по режиму «закалка+отпуск» и «закалка+отпуск+нормализация»

Химический состав стали

№ образца	Массовая доля элементов, %							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
1 (закалка+отпуск)	0,180	0,310	1,210	0,150	0,004	0,080	0,140	0,060
2 (закалка+отпуск+ нормализация)	0,180	0,310	1,230	0,013	0,003	0,080	0,130	0,070
Требования ГОСТ 21357-87 к стали 20ГЛ	0,17-0,25	0,30-0,50	1,10-1,40	до 0,020	до 0,020	не более 0,30	не более 0,30	-

Механические свойства стали

№ образца	На одноосное растяжение по ГОСТ 1497-84			
	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа	Предел текучести $\sigma_т$, МПа	Относительное удлинение δ, %	Относительное сужение ψ, %
1 (закалка+отпуск)	570	431	17,7	46,9
Требования ГОСТ 21357-87 к стали 20ГЛ по режиму «закалка+отпуск»	не менее 550	не менее 400	не менее 15	не менее 30
2 (закалка+отпуск+ нормализация)	542	402	22,0	62,8
Требования ТУ № 2116 АО «ПТПА»	не менее 420	не менее 240	не менее 18	-

Условия лабораторных испытаний на стойкость к СКРН

№ образца	Количество	Коэфф. пороговой нагрузки	Состав испытательной среды
1, 22 2, 23 3, 24	6	72%	5% NaCl + 0,4% CH_3COONa в дистиллированной воде. Концентрация сероводорода - 2800±200 мг/*л*, pH = 4,5
4, 25 5, 26 6, 27	6	72%	5% NaCl + 0,4% CH_3COONa в дистиллированной воде. Концентрация сероводорода - 300±100 мг/*л*, pH = 5,5
7, 28 8, 29 9, 30	6	72%	5% NaCl + 0,4% CH_3COONa в дистиллированной воде. Концентрация сероводорода - 2800±200 мг/*л*, pH = 6,5
10, 31 11, 32 12, 33	6	72%	5% NaCl + 0,4% CH_3COONa в дистиллированной воде. Концентрация сероводорода - 300±100 мг/*л*, pH = 3,5
13, 34 14, 35 15, 36	6	72%	5% NaCl + 0,4% CH_3COONa в дистиллированной воде. Концентрация сероводорода - 300±100 мг/*л*, pH = 4,5
16, 37 17, 38 18, 39	6	72%	5% NaCl + 0,4% CH_3COONa в дистиллированной воде. Концентрация сероводорода - 2800±200 мг/*л*, pH = 5,5
19, 40 20, 41 21, 42	6	72%	5% NaCl + 0,5% CH_3COOH в соответствии с NACE TM 0177, среда А. Концентрация сероводорода - 300±100 мг/*л*, pH = 3,0

Расчет концентрации сероводорода в испытательных средах проводился с применением закона Генри. Постоянная Генри принималась равной 0,087 М/атм при 20 °С

Результаты определения механических свойств образцов после испытания в различных условиях

Режим термической обработки: закалка+отпуск				
Тип испытательной среды	Временное сопротивление разрыву σв , МПа	Предел текучести σт, МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение, ψ, %
Концентрация сероводорода - 2800±200 мг/л, pH = 4,5	551	404	16,0	38,2
Концентрация сероводорода - 300±100 мг/л, pH = 5,5	575	421	19,0	47,2
Концентрация сероводорода - 2800±200 мг/л, pH = 6,5	625	470	16,0	54,2
Концентрация сероводорода - 300±100 мг/л, pH = 3,5	581	450	11,2	43,5
Концентрация сероводорода - 300±100 мг/л, pH = 4,5	547	437	16,5	47,1
Концентрация сероводорода - 2800±200 мг/л, pH = 5,5	562	412	19,7	41,4
Среда А. Концентрация сероводорода - 300±100 мг/л, pH = 3,0	543	400	20,0	38,7

Режим термической обработки: закалка+отпуск+нормализация				
Тип испытательной среды	Временное сопротивление разрыву σв , МПа	Предел текучести σт, МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение, ψ, %
Концентрация сероводорода - 2800±200 мг/л, pH = 4,5	637	513	23,2	45,6
Концентрация сероводорода - 300±100 мг/л, pH = 5,5	673	564	24,0	55,4
Концентрация сероводорода - 2800±200 мг/л, pH = 6,5	608	473	26,1	59,9
Концентрация сероводорода - 300±100 мг/л, pH = 3,5	637	513	17,9	39,8
Концентрация сероводорода - 300±100 мг/л, pH = 4,5	609	488	25,9	62,1
Концентрация сероводорода - 2800±200 мг/л, pH = 5,5	640	512	17,4	34,9
Среда А. Концентрация сероводорода - 300±100 мг/л, pH = 3,0	634	512	19,8	47,5

График зависимости относительного удлинения образцов, при концентрации сероводорода 300±100 мг/л от pH (закалка+отпуск)

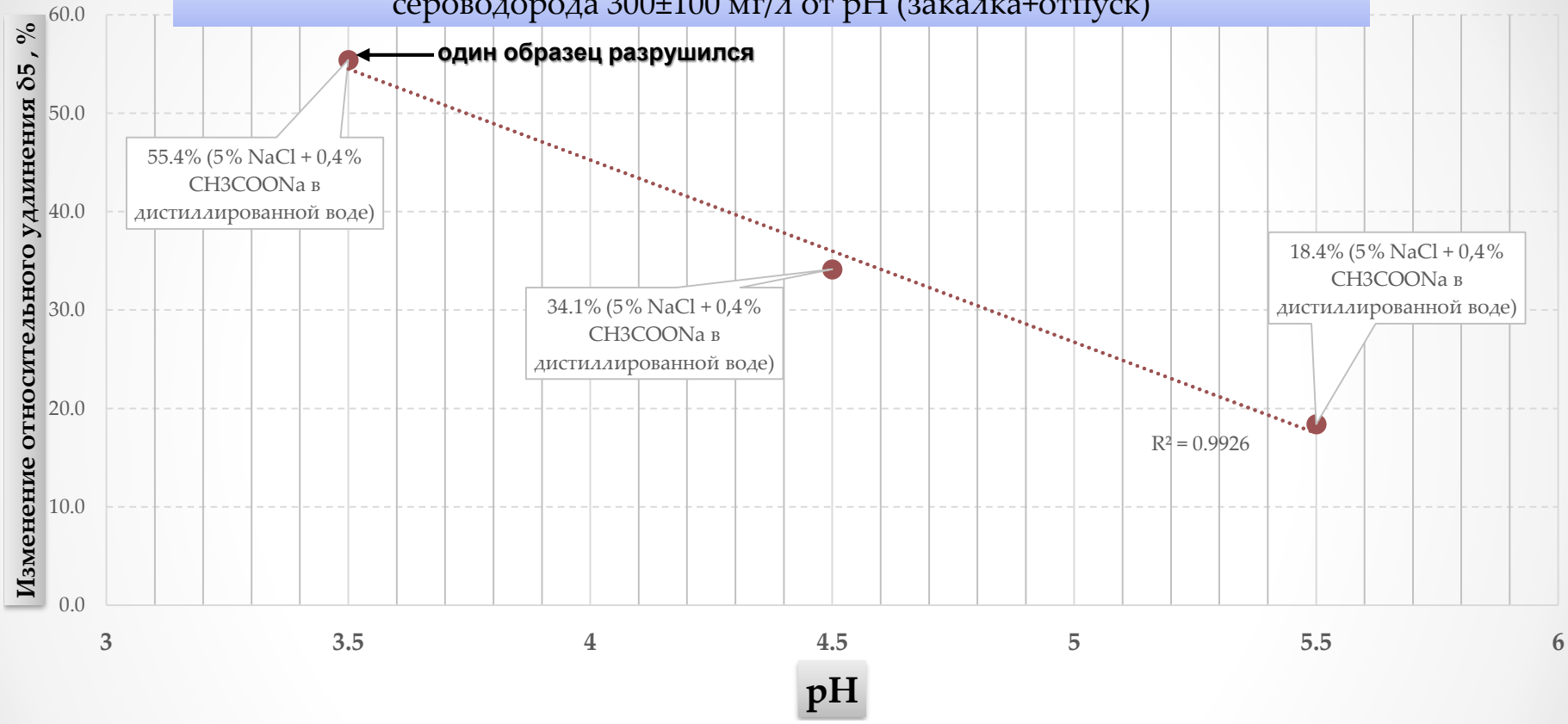
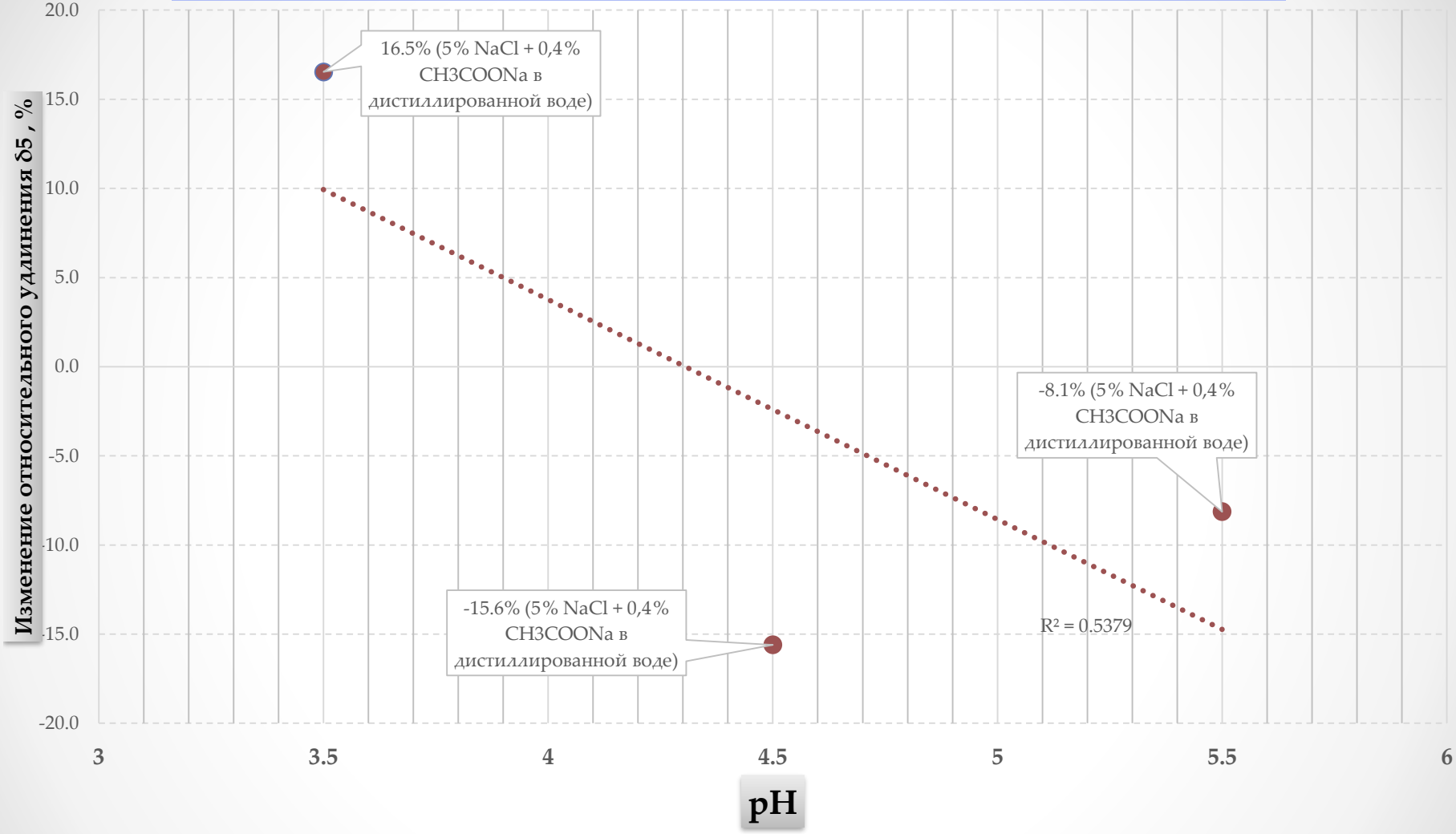


График зависимости относительного удлинения образцов, при концентрации сероводорода 300±100 мг/л от pH (закалка+отпуск+нормализация)



ООО НИПП «Вальма»

Графики зависимости относительного удлинения образцов, испытанных при различных концентрациях от pH

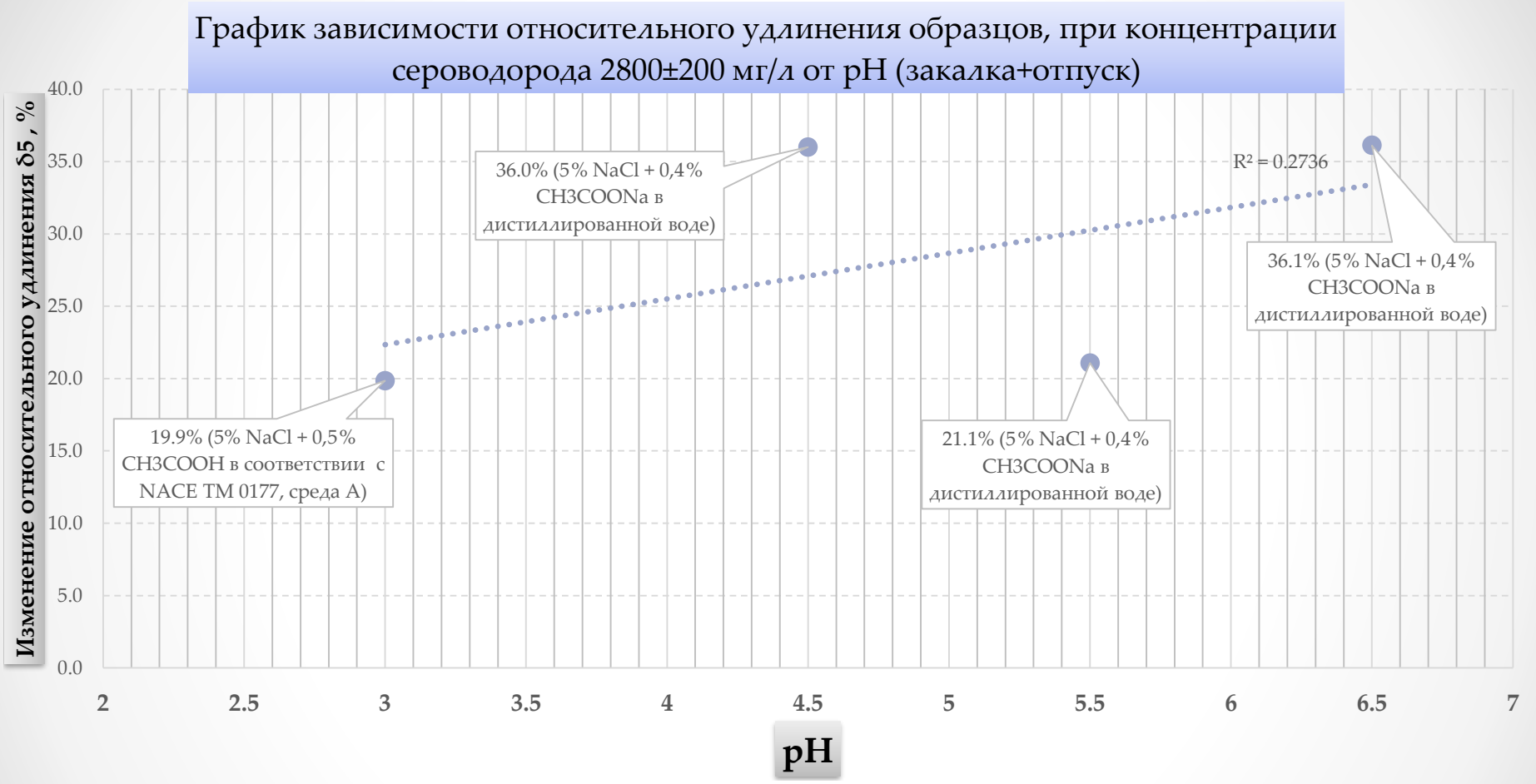
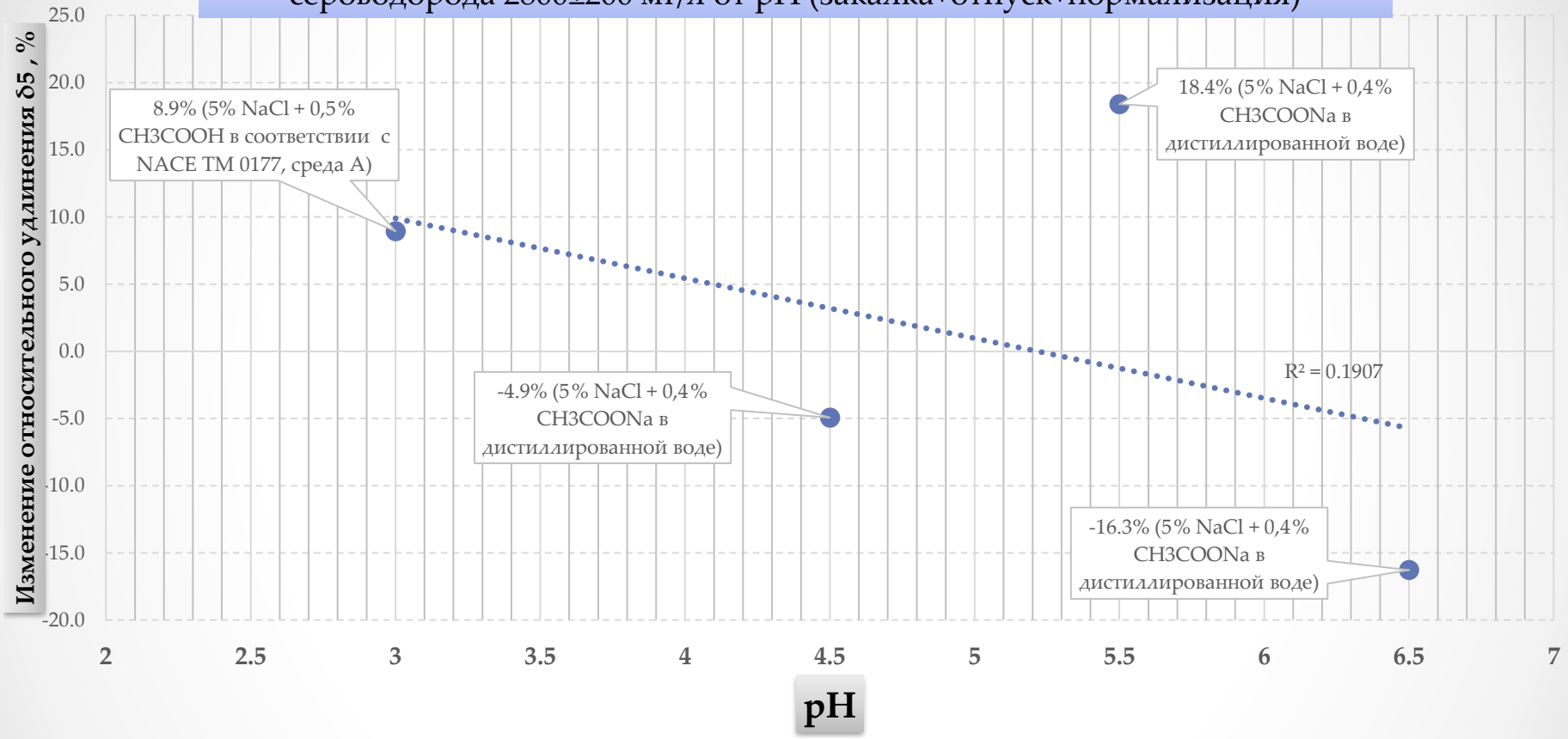
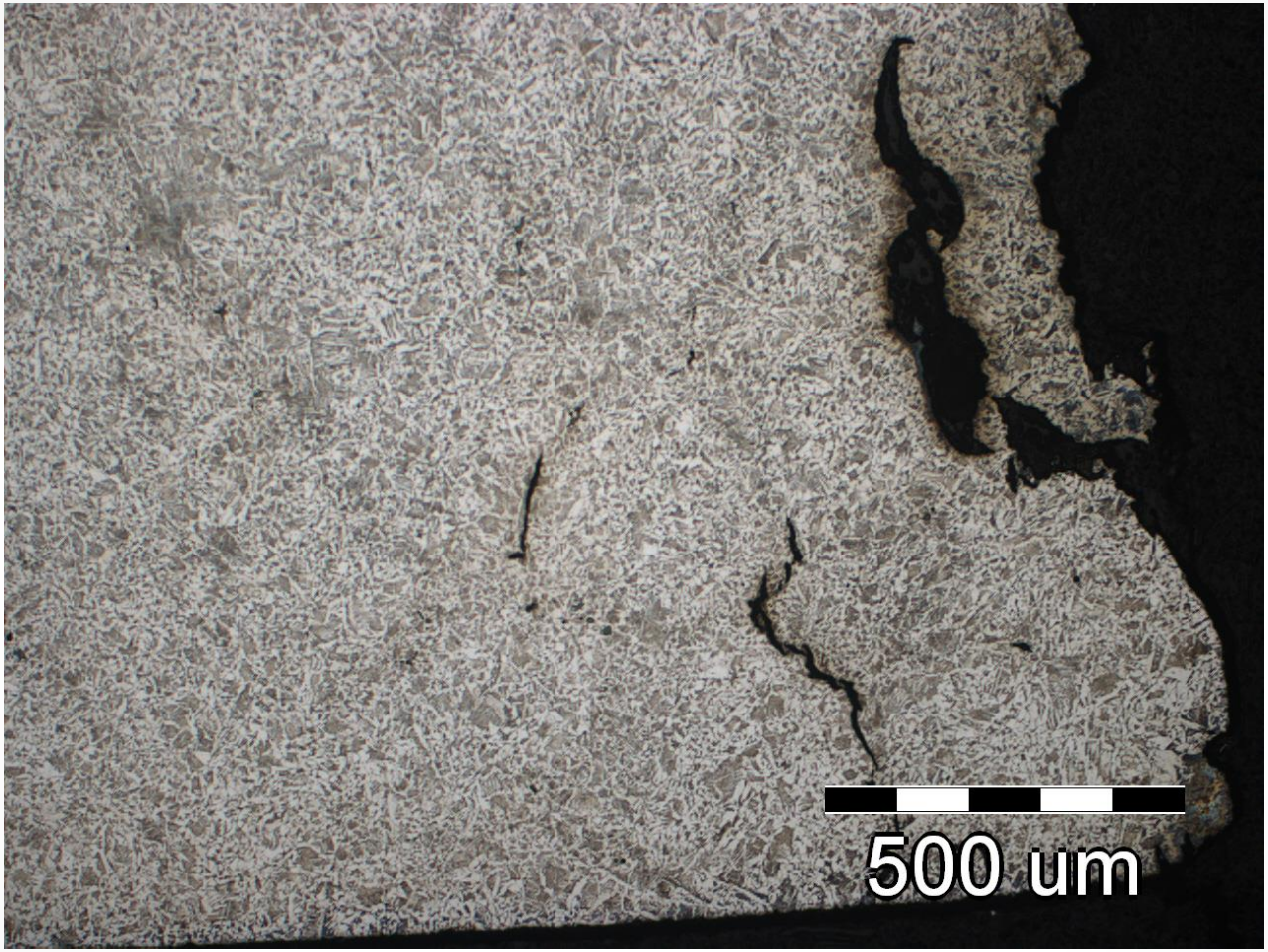
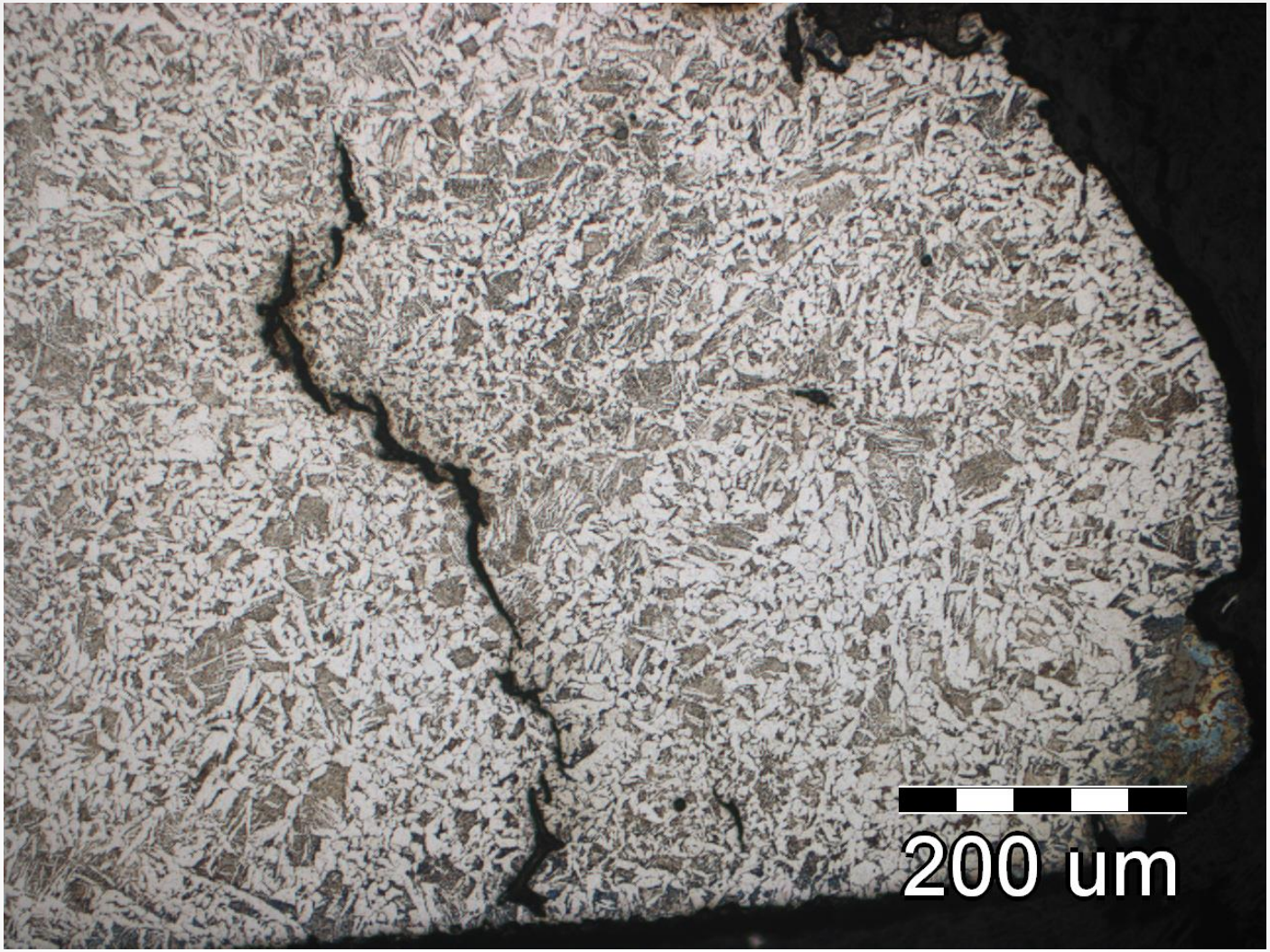


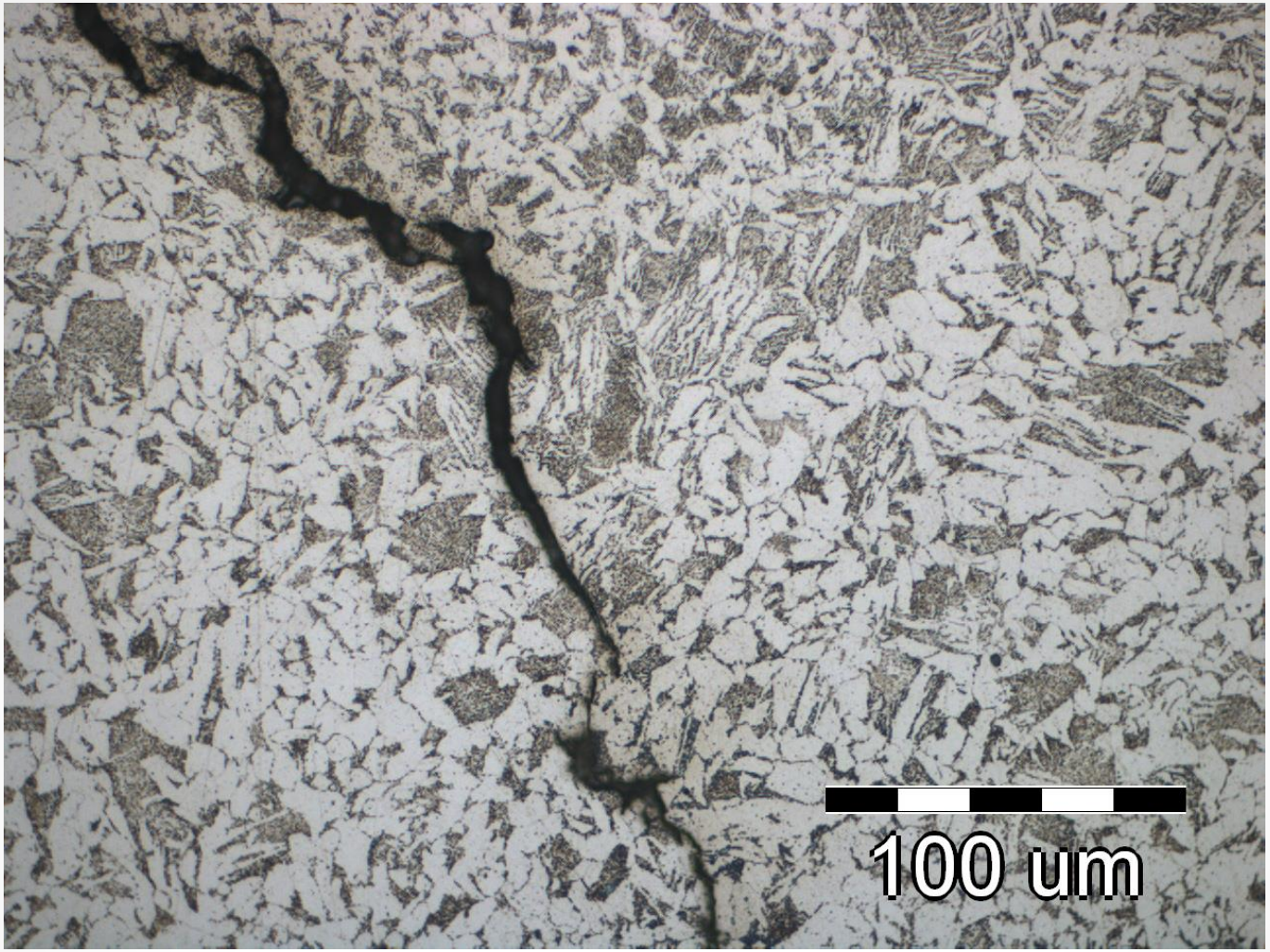
График зависимости относительного удлинения образцов, при концентрации сероводорода 2800±200 мг/л от pH (закалка+отпуск+нормализация)

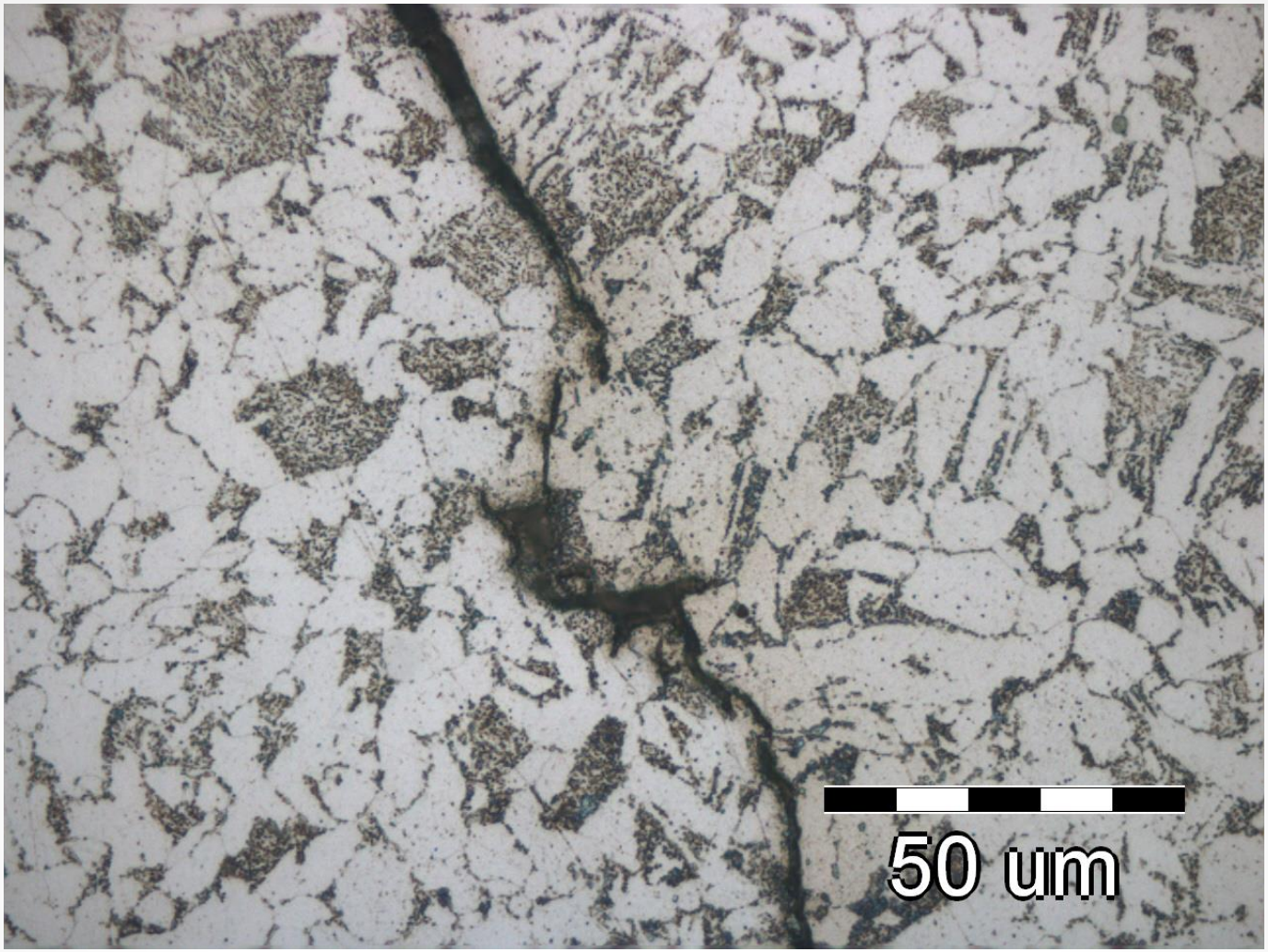


Продольное сечение разрушившегося образца Э84-10, испытанного при концентрации сероводорода - 300±100 мг/л, pH = 3,5 при различных увеличениях




200 um


100 um


50 um

Выводы

- При испытаниях образцов, прошедших термическую обработку по режиму «закалка+отпуск» видна зависимость изменения относительного удлинения от pH при концентрации 300±100 мг/л.

- При концентрации сероводорода 2800±200 мг/л напротив, нет зависимости изменения относительного удлинения от pH.

- Образцы, прошедшие термическую обработку по режиму «закалка+отпуск+нормализация» не подверглись воздействию механизма разрушения по СКРН, в связи с низким значением растягивающих напряжений.

Разработка абразивного композиционного полимерного материала на основе сверхтвердого наполнителя



Докладчик: аспирант кафедры ХТПКМ
Ахмедов Нурлан Адалат оглы

Самара 2022

Государственный
научно-исследовательский
институт машиностроения
им. В.В.Бахирева

САМАРСКИЙ
ПОЛИТЕХ
Опорный университет



ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

разработка абразивного полимерного композиционного материала на основе сверхтвердого наполнителя для изготовления полировально-шлифовального инструмента.

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ:

- Проведение литературно-патентного обзора;
- Подбор компонентов;
- Подбор оборудования;
- Описание технологии получения полимерного композиционного материала и изделий на его основе;
- Получение образцов;
- Проведение испытаний;
- Изготовление полировально-шлифовального инструмента.

ПОЛУЧЕНИЕ АЛМАЗОВ ДЕТОНАЦИОННОГО СИНТЕЗА

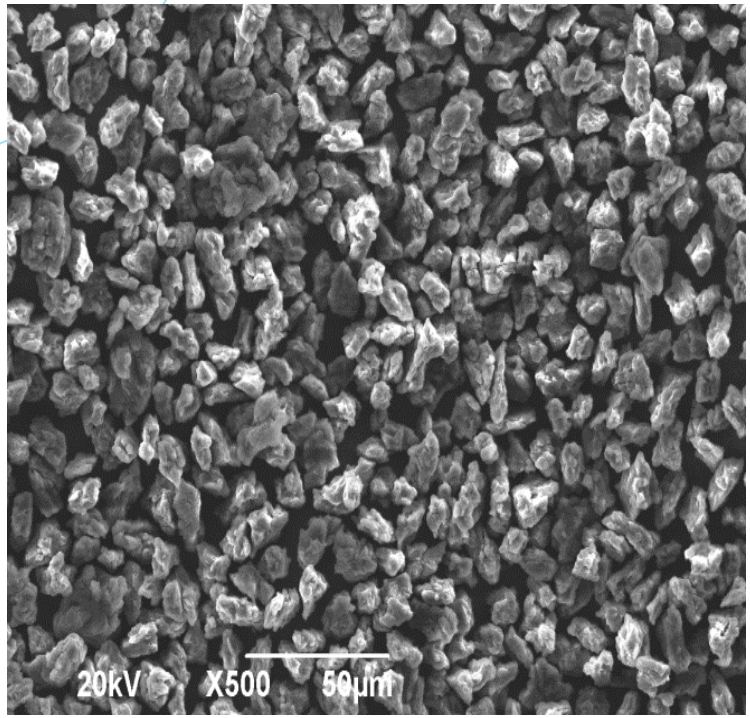
САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

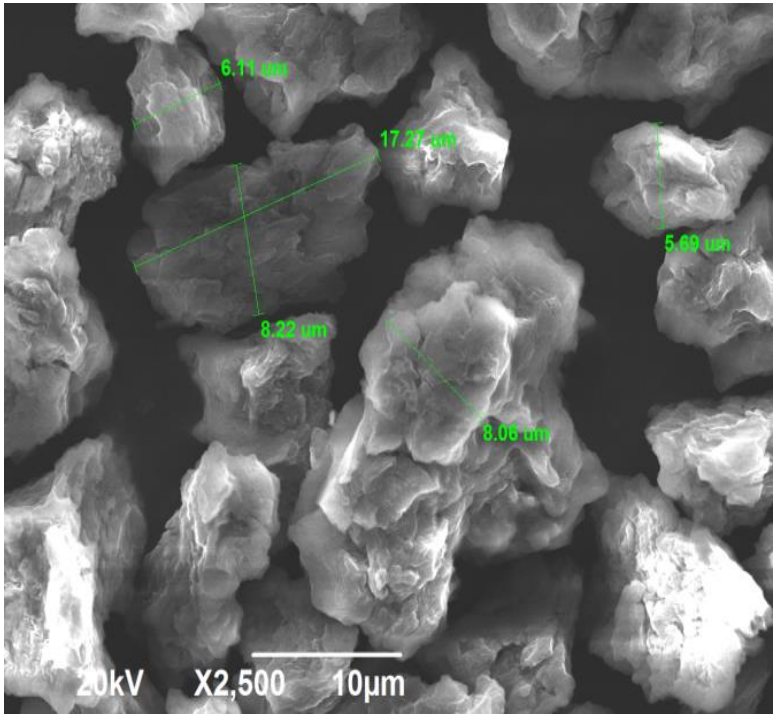


Реактор синтеза детонационных алмазов

СТРУКТУРА АЛМАЗОВ ПОД МИКРОСКОПОМ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет





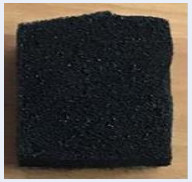
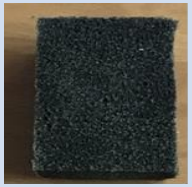
ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИЗДЕЛИЯМ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

- Абразивная способность;
- Обновление абразивного зерна (самозатачиваемость);
- Высокая теплостойкость – 150 °С;
- Твердость по Шору – 65 А.

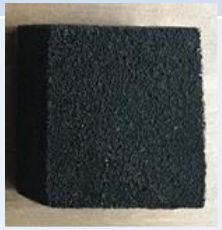
ПОЛУЧЕННЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

№ образца	Наименование	Состав	Фото
1	Губка полировальная	резиновый клей низкой вязкости, содержащий в своем составе 30 % СТМ шихты	
2	Губка полировальная	резиновый клей средней вязкости, содержащий в своем составе 30 % СТМ шихты	
3	Губка полировальная	- полиуретан Силагерм 6060 – 70 %; - СТМ фракции 5/3 – 30%	
4	Эластичный полировальный материал	- полиуретан Силагерм 6060 – 70 %; - СТМ шихта – 30%; - вспенивающий агент OBSH (5% по массе)	

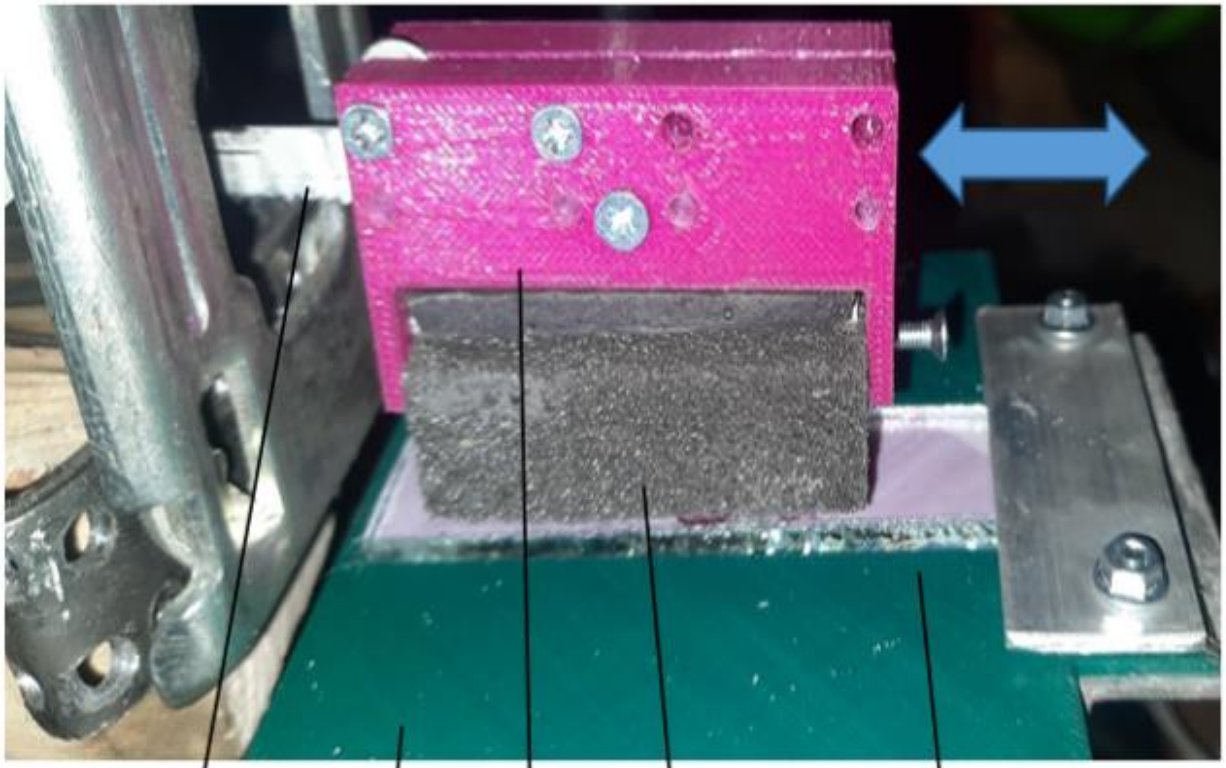
ПОЛУЧЕННЫЕ ОБРАЗЦЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

№ образца	Наименование	Состав	Фото
5	Эластичный полировальный материал	- резиновый клей, содержащий в своем составе 30 % СТМ шихты - вспенивающий агент OBSH (10% по массе)	
6	Эластичный полировальный материал	- полиуретан Силагерм 6070 – 70 %; - СТМ шихта – 30 %	
7	Эластичный полировальный материал	резиновый клей, содержащий в своем составе 30 % СТМ шихты	
10	Губка полировальная	- полиуретан Силагерм 6095– 70 %; - СТМ фракции 5/3 – 30%	
12	Эластичный полировальный материал на войлочной основе	- полиуретан Силагерм 6070– 70 %; - СТМ фракции 5/3 – 30%	

ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет



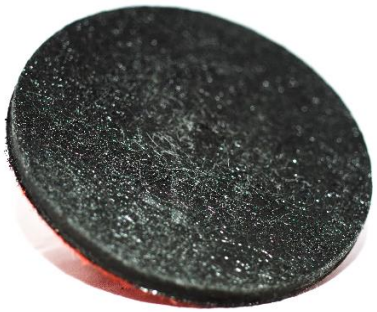
РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

№ образца	Весовой износ, мг
1	0,2
2	0,4
3	0,6
4	0,4
5	0,5
6	0,6
7	<0,1
10	0,4
12	1,2

ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗДЕЛИЯ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет







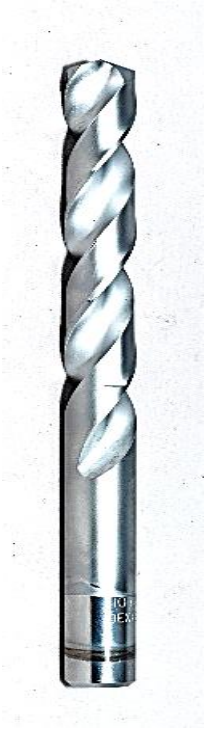







ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет



Сверло из быстрорежущей стали R6M5 с нанесенным нано-структурированным хром-алмазным покрытием, с фракцией алмазов 0,1/1 мкм



Фреза из быстрорежущей стали P6M5K5 с нанесенным нано-структурированным хром-алмазным покрытием, с фракцией алмазов 0,1/1 мкм

РАБОТЫ ПРОВОДИМЫЕ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет





ВЫВОДЫ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

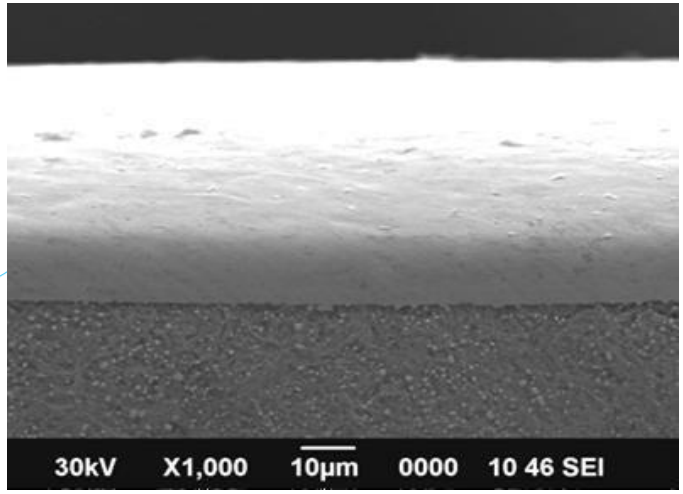
Разработан композиционный материал на основе сверхтвердого наполнителя для изготовления полировально-шлифовального инструмента.

Выполненные задачи :

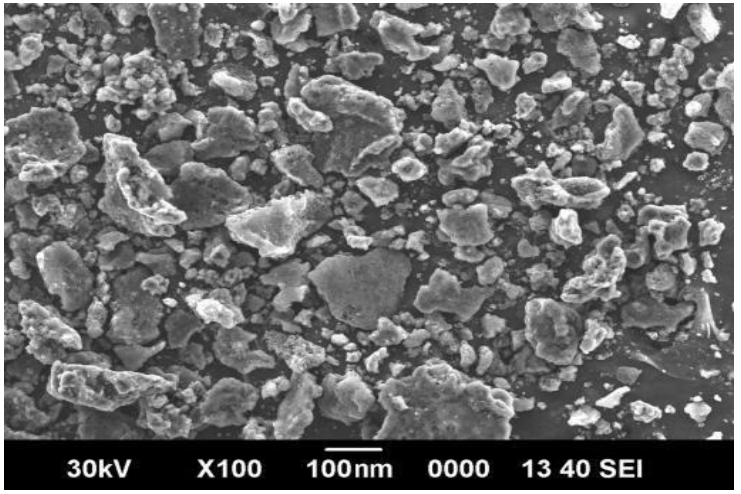
- Проведен литературно-патентный обзор;
- Подобраны компоненты;
- Подобрано необходимое оборудование;
- Описаны технологии получения полимерного композиционного материала и изделий;
- Получены образцы;
- Проведены испытания;
- Получены полировально-шлифовальные инструменты.

ДОСТОИНСТВА РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ХРОМ-АЛМАЗНОГО ПОКРЫТИЯ

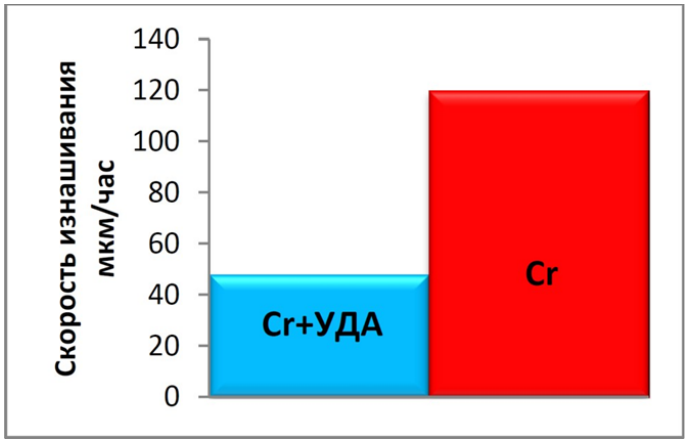
САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет



Микроструктура хром-алмазного покрытия



Ультрадисперсные алмазы (УДА) в суспензии



Хром-алмазное покрытие обеспечивает надежную работу деталей в условиях больших нормальных и сдвиговых нагрузок.

- УДА с размерами частиц около 10 нм (15-20 г/л)
- Чистота поверхности (Ra0,2мкм)
- Низкий коэффициент трения

РЕСУРСОПОВЫШАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ХРОМ-АЛМАЗНЫХ ПОКРЫТИЙ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет



Нанохромовое покрытие (НХП) с добавкамиультрадисперсных алмазов, для покрытия корпусовалмазных PDC долот снаружи и внутри (включая гидромониторные каналы)



Гальваническое НХП на цапфы лап долот (место, где расположены шайба, втулка и колпачок, крепление под шарошку) для увеличения ресурса работы опоры долота

Электрохимическое осаждение

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет







Гальваническое НХП на пуансоны, матрицы, направляющие, элементы вытяжек, штампы



Хромирование буровых шарошек



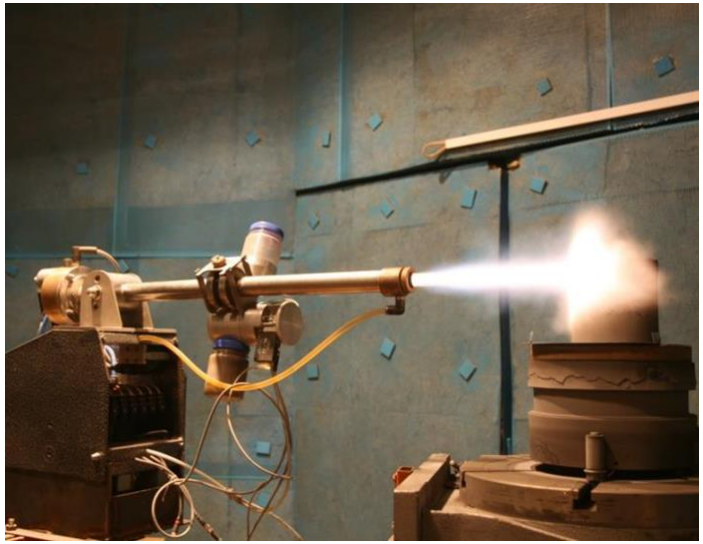
Упрочнение режущих инструментов

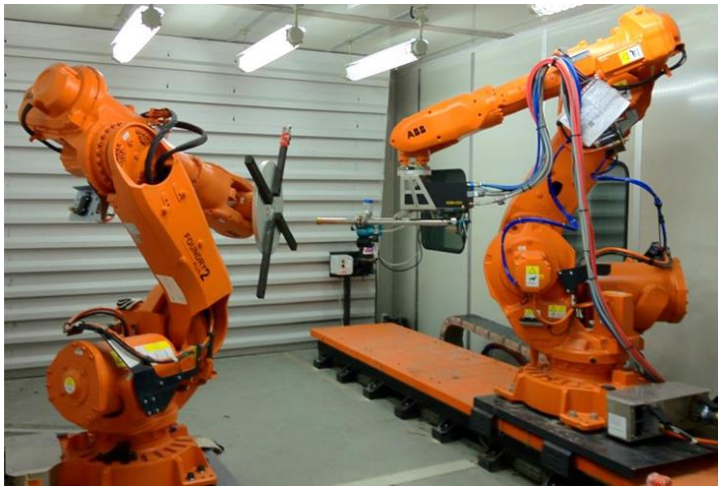


НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ФАКУЛЬТЕТА

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет





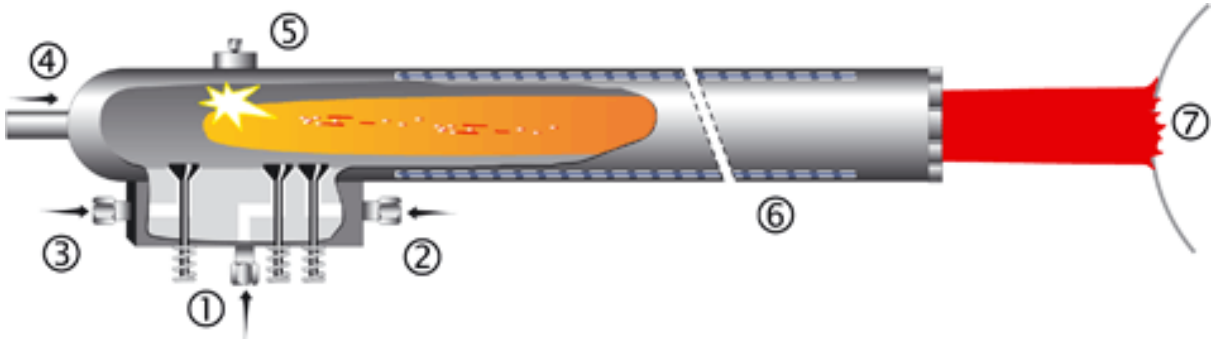


Напыляемые материалы:
железо, никель, хром, медные сплавы, цинк, твердые сплавы (вольфрам-кобальтовые, молибден, тантал, титан), оксид алюминия, композиционные смеси (железно-никелевые, никель-хромовые и др.)

СХЕМА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С ПОМОЩЬЮ ДЕТОНАЦИОННОЙ ПУШКИ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

Схема метода



1 - топливо, 2 – кислород, 3 – азот, 4 – порошок, 5 – свеча, 6 - ствол, 7 - деталь

Скорость частиц - свыше 1000 м/с;

Температура продуктов взрыва – до 4000 ^{0}C;

Производительность – до 3 кг/час;

Размеры частиц– 20…60 мкм;

Детонирующая смесь: МАФ (ацетилен, пропан) + кислород + азот + спецдобавка

Толщина слоя, наносимого за 1 выстрел – до 15…20 мкм;

Максимальная толщина покрытия (без промежуточной обработки) ≥ 2 мм;

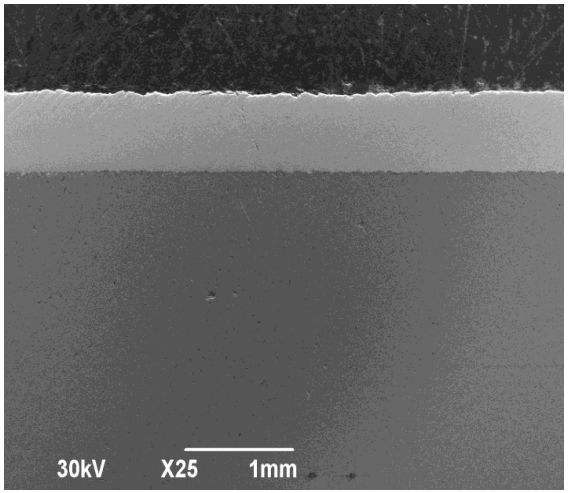
Саморазогрев детали– не более 100 ^{0}C

СВОЙСТВА ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

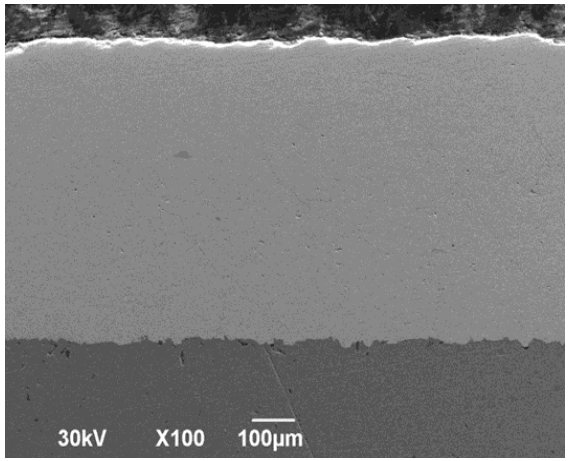
Свойства наноструктурированных детонационных покрытий:

- прочность сцепления - до 300 МПа;
- пористость покрытия - не более 1%;
- шероховатость покрытия - не более Ra=3-6 мкм;
- высокая антикоррозионная стойкость.



Свойства твердосплавных детонационных покрытий:

- прочность на отрыв - 129…281 МПа;
- прочность на срез - более 150 МПа;
- когезия - 192…538 МПа;
- микротвердость - до 1450HV300g;
- энергия активации пластической деформации - 150…200 кДж/моль



Технология обеспечивает показатели:

Высокая стойкость к абразивному и эрозионному изнашиванию :

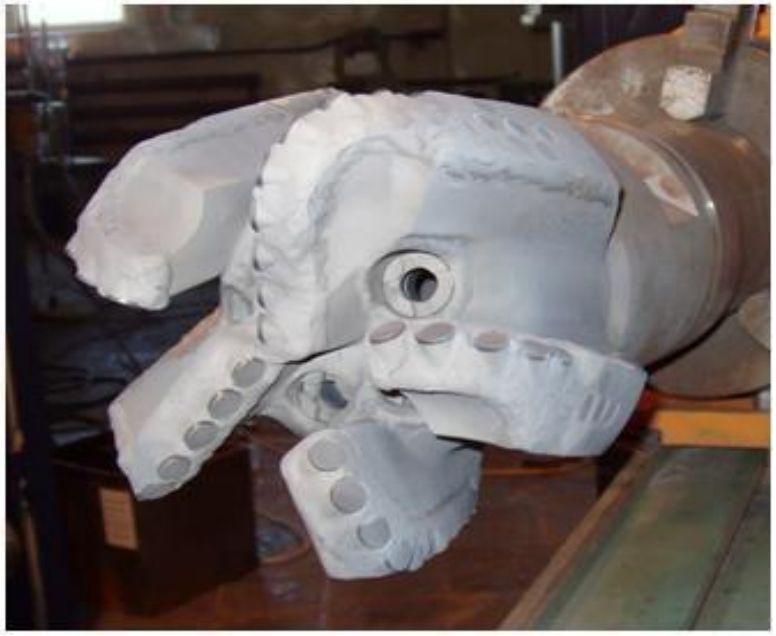
- абразивный износ - 0,35…0,66 мм3/200 об.
- эрозионный износ - 0,23…0,45 мм 3/5 мин);
- увеличение ресурса работы изделий в 2…10 раз;
- возможность нанесения покрытий на холодную подложку;
- малая чувствительность к исходной чистоте поверхности;
- высокая скорость роста толщины покрытия (20-60 мкм/с);
- отсутствие деформации изделий;
- создание благоприятных сжимающих напряжений;
- возможность создания наноструктурированных, градиентных
- и многослойных покрытий.

ИЗДЕЛИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ ДЕТОНАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет



Шарошки с ресурсоповышающим детонационным покрытием



Долото PDC
с детонационным покрытием

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Самарский государственный технический университет

htpkm@samgtu.ru