ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

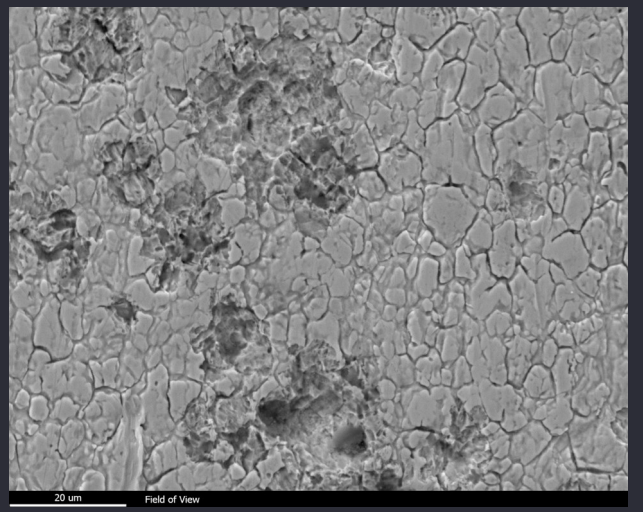
Влияние структуры нержавеющей аустенитной стали на стойкость в H_2S-содержащих средах

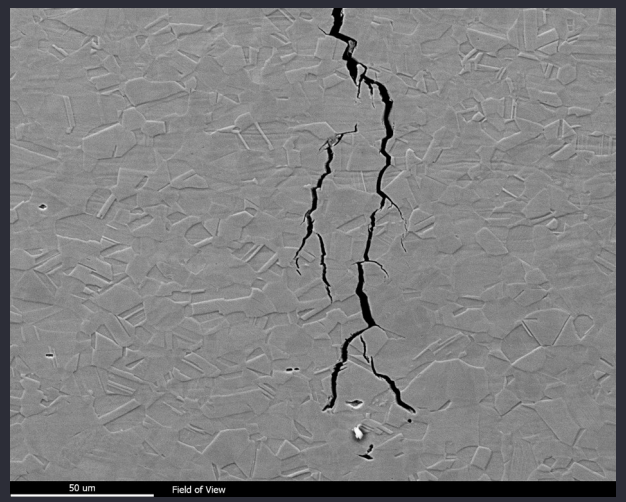
Докладчик: Руководитель ДСМ, к.т.н.
Чистопольцева Елена Александровна

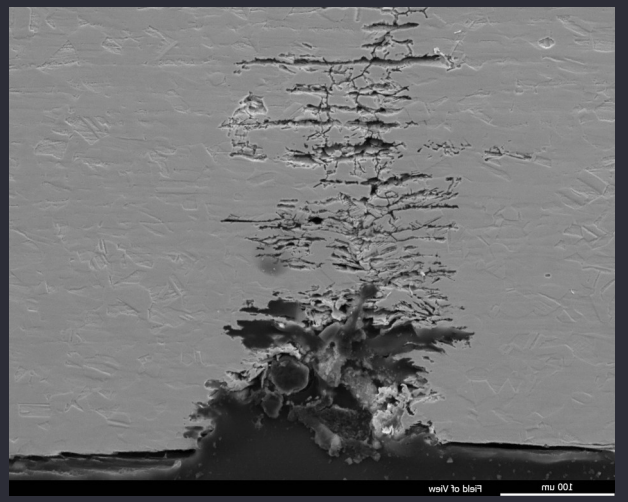
Основные виды коррозионного разрушения нержавеющих сталей аустенитного класса

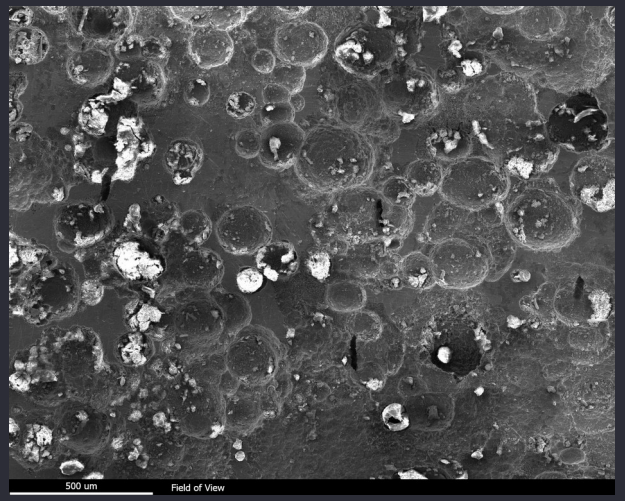
Стали аустенитного класса 300-й серии подвержены следующим видам коррозии:

- питтинговая коррозия;
- щелевая коррозия;
- коррозионное растрескивание;
- хлоридное растрескивание;
- межкристаллитное растрескивание.









Требования к нержавеющим сталям аустенитного класса и сварным соединениям высоколегированными сварочными материалами, предназначенных для эксплуатации в H_2S- содержащих средах

Общие требования (ISO 15156-3)

Основной металл:

- хим. состав: C ≤ 0,08%; P ≤ 0,045%; S ≤ 0,04% Mn ≤ 2,0% Si ≤ 2,0 Cr ≥ 16,% Ni ≥ 8%;
- твердость ≤ 22 HRC для сталей 300 серии, ≤ 95 HRB (по ASTM A240) для стали 316L
- контроль объёма мартенситной составляющей в структуре металла;
- проведение термической обработки;
- не подвергать холодной деформации (штамповка, формовка и пр.) с целью повышения механических свойств.

Сварной шов:

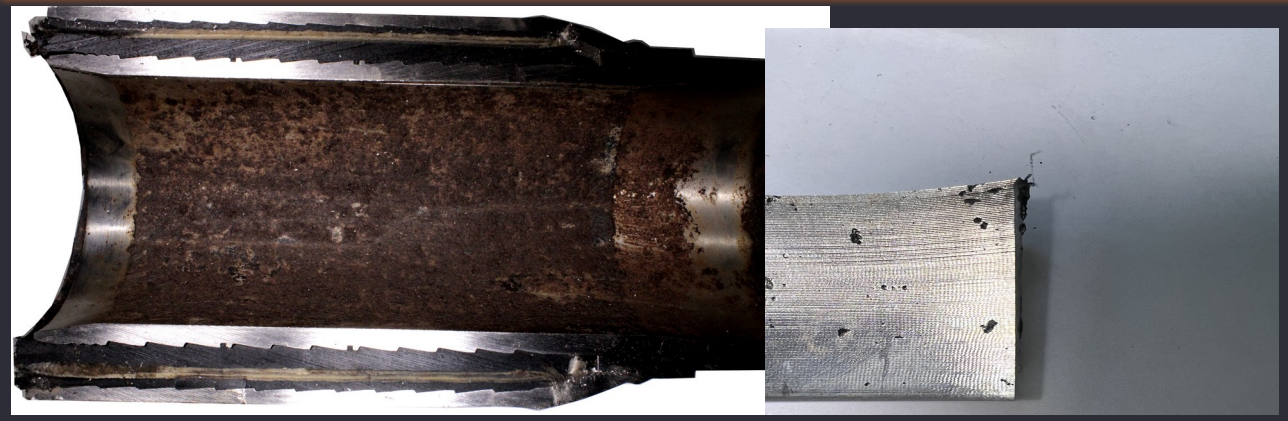
- массовая доля C в присадочном материале класса «L» для сварки нержавеющих сталей аустенитного класса не должна превышать 0,03 %;
- твердость ЗТВ не должна превышать максимального значения для основного металла;
- твердость металла шва не должна превышать максимального значения, установленного для соответствующего присадочного материала

Общие рекомендации по ТО (ASTM A249, ASTM A480, СТО 00220368-019-2017)

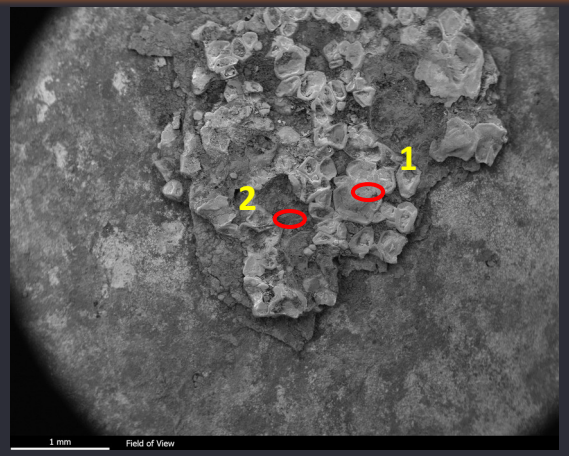
- отжиг на твердый раствор/ закалка или отжиг с последующей термической стабилизацией при 1040°C - 1180°C, в зависимости от марки стали.
- стабилизирующий отжиг (570-920°C) с выдержкой 2-3 ч., охлаждение на воздухе;
- аустенитизация (1050-1100°C), время выдержки ≥30 мин. (в зависимости от толщины шва).

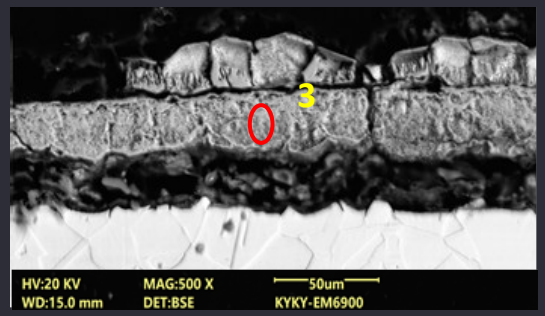
Трубный фитинг временного промыслового нефтегазосборного трубопровода Ø185х20мм из стали SS316L после 11 мес. эксплуатации

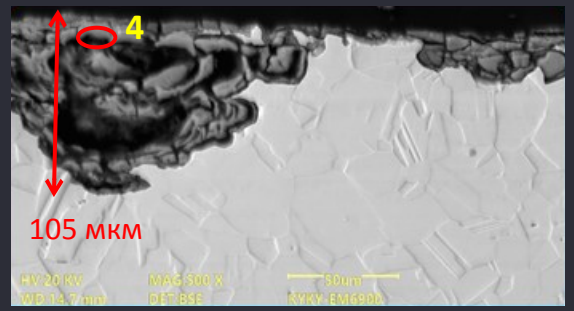
Среда эксплуатации: нефтегазоводяная смесь, содержащая до 30000 ppm H_2S, с общей минерализацией 220г/л



Вид и состав коррозионных отложений



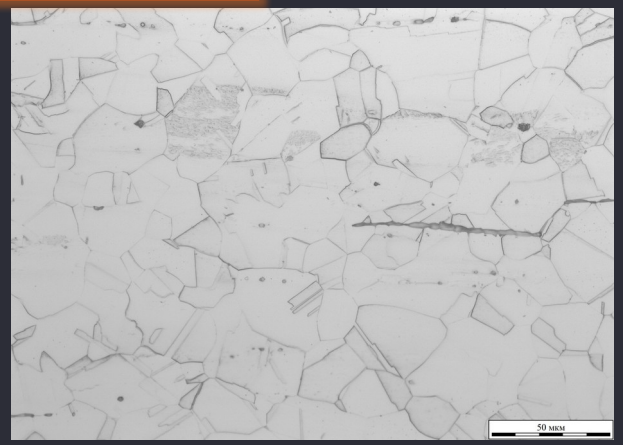




	Массовая концентрация элементов, %										
	C	O	Si	S	Cl	Cr	Mn	Ni	Cu	Mo	Fe
1	-	-	-	100,0	-	-	-	-			-
2	-	27,0	1,2	33,7	1,0	25,9	0,8	8,9			2,5
3	53,2	18,0	0,2	2,2	0,2	12,4	0,5	1,6	0,9		10,9
4	-	12,7		23,7	0,3	22,3	0,3	10,6	5,0	17,9	4,4

Микроструктура





Фланцевый фитинг ГПАТ из стали SS316L Ø150 мм после 1,5 лет эксплуатации

Среда эксплуатации: нефтегазоводяная смесь, содержащей до 30000 ppm H_2S, с общей минерализацией 500 мг/л

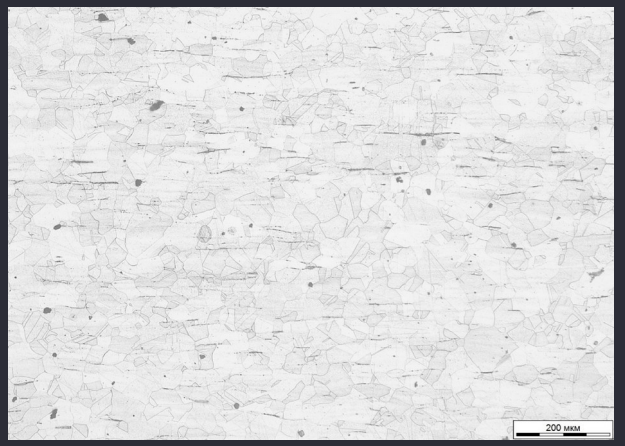
Массовая доля элементов, %															
C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Co	Cu	V	Nb	W	Ti	P	S	PREN
0,025	0,43	1,00	16,3	9,98	1,89	0,0024	0,38	0,053	0,116	<0,001	0,016	0,009	0,024	0,0024	22,5
Требования ГОСТ 5632															
<0,08	<1,0	<2,0	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0 - 3,0	-	-	-	-	-	-	-	<0,045	<0,03	27,9

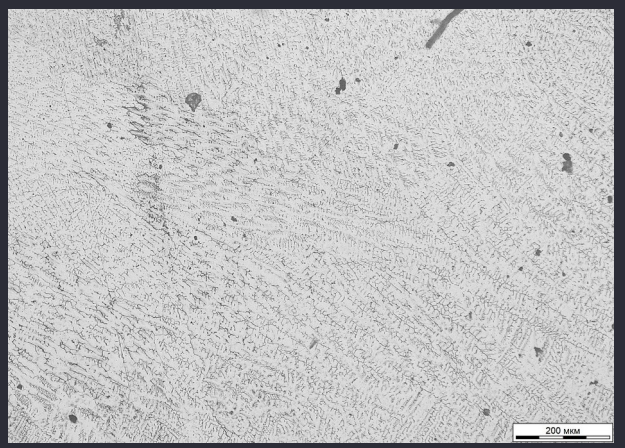






Микроструктура



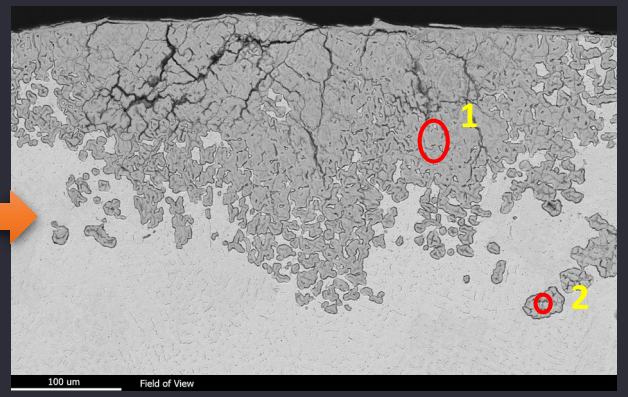


Фланцевый фитинг ГПАТ из стали SS316L Ø150 мм после 1,5 лет эксплуатации

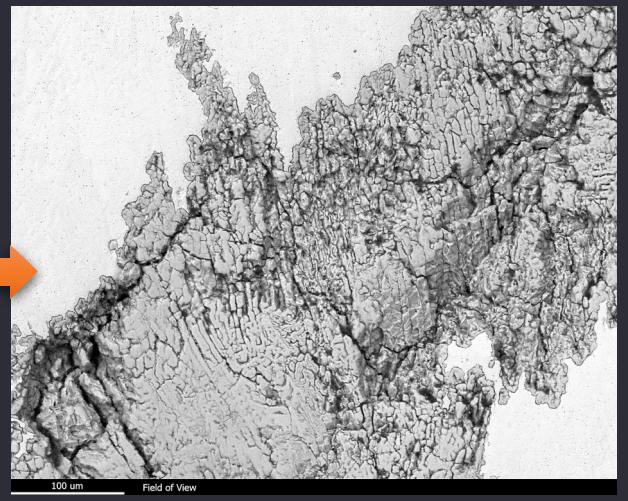
Вид и состав коррозионных отложений

Стыковой сварной шов

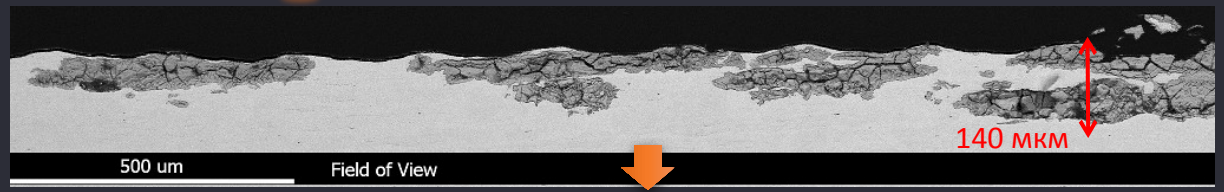


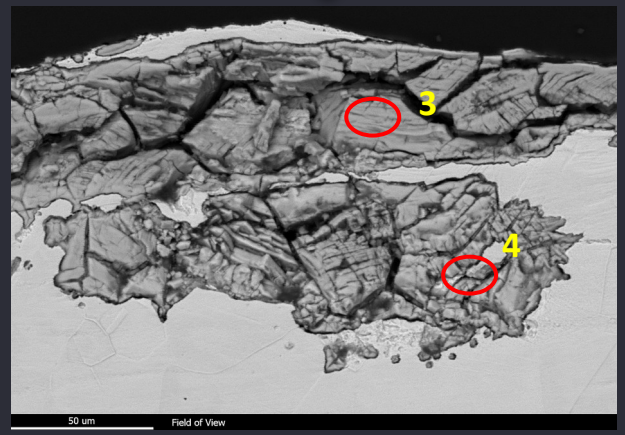






Основной металл

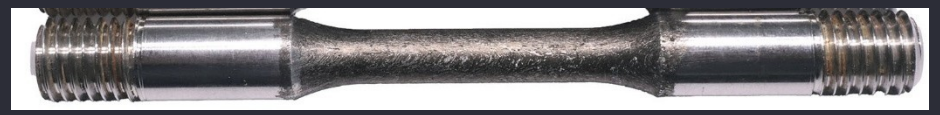




	Массовая концентрация элементов, %								
	C	O	Si	S	Cl	Cr	Mn	Ni	Fe
1	4,6	6,7	0,8	34,4	-	9,1	-	25,3	19,0
2	3,1	-	0,6	9,9	1,2	15,3	-	14,0	55,9
3	13,5	4,0	-	38,9	-	6,2	-	34,2	3,2
4	15,3	3,7	-	17,2	-	11,3	0,4	19,3	32,7

Результаты лабораторных коррозионных испытаний образцов нержавеющей стали аустенитного класса на стойкость к СКРН по NACE TM0177 метод А

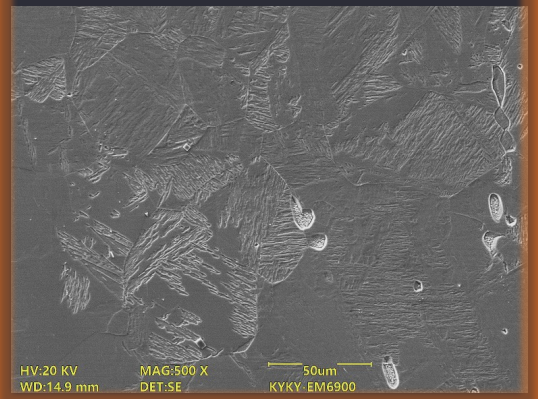
Образцы из заготовки под шток из стали AISI 321



Образцы из заготовки под фланец из стали AISI 321

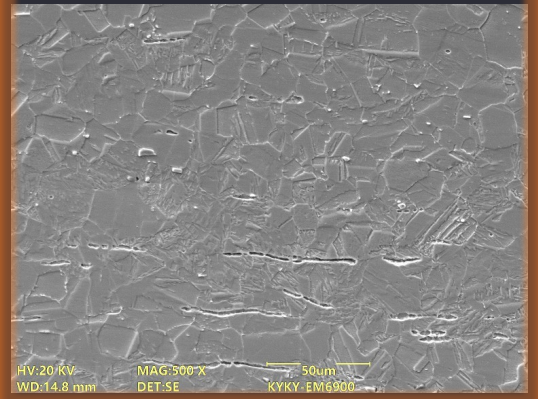


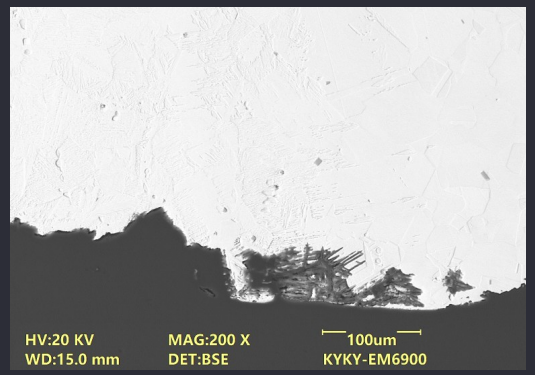
Микроструктура

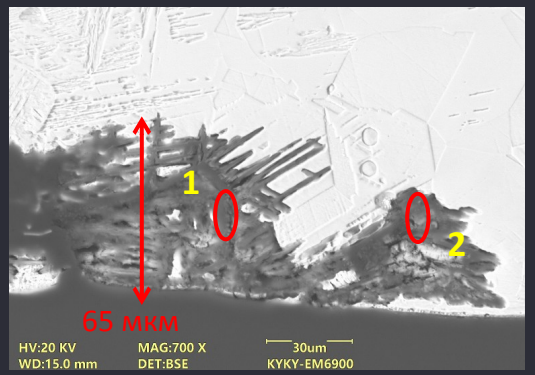


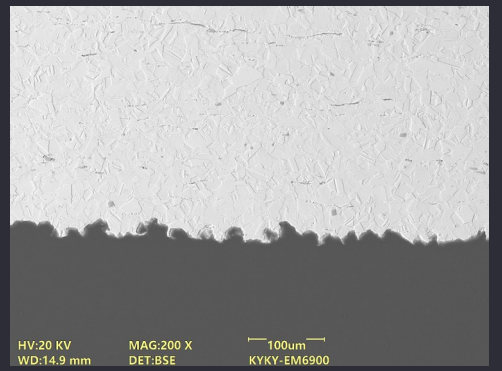
	Массовая концентрация элементов, %										
	C	O	Si	S	Cl	Cr	Mn	Ni	Cu	Ti	Fe
1	77,1	6,6	-	4,6	1,5	0,8	-	5,7	2,4	-	1,2
2	77,5	4,6	-	4,5	1,3	1,7	-	6,3	1,6	-	2,5
3	-	25,7	-	25,0	5,0	8,6	-	13,4	6,5	10,0	5,8
4	60,8	14,5	0,2	9,1	0,5	2,8	-	5,0	3,1	2,6	1,3

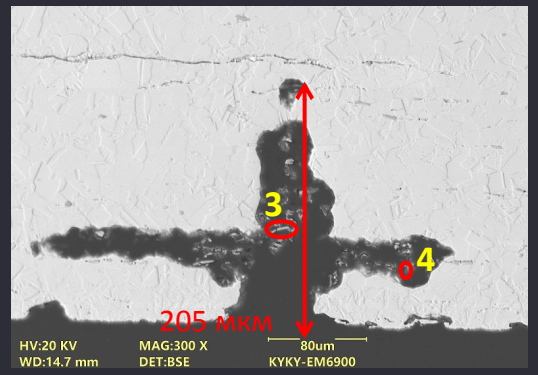
Микроструктура





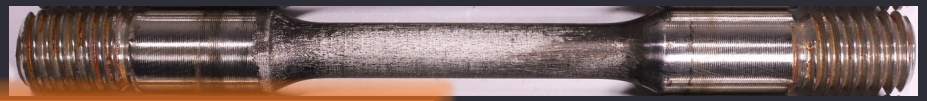




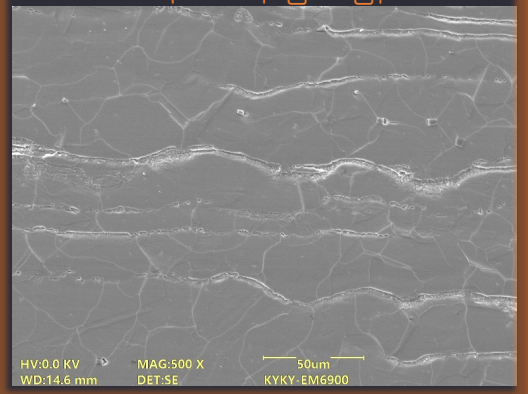


Результаты лабораторных коррозионный испытаний образцов нержавеющей стали аустенитного класса на стойкость к СКРН по NACE TM0177 метод А

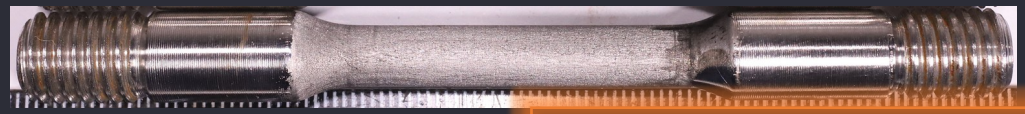
Образцы из проката стали AISI 321



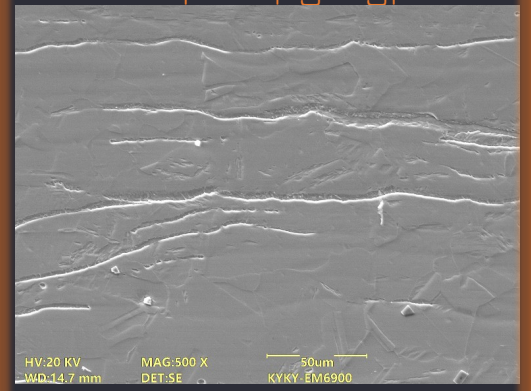
Микроструктура



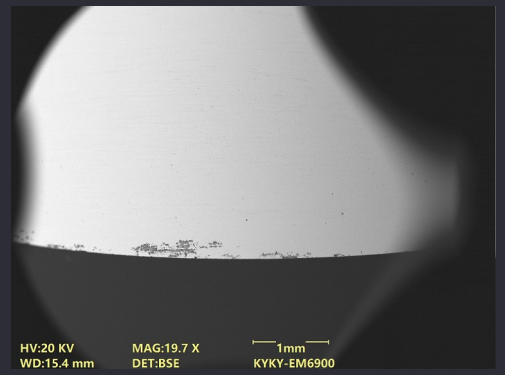
Образцы из проката стали AISI 321

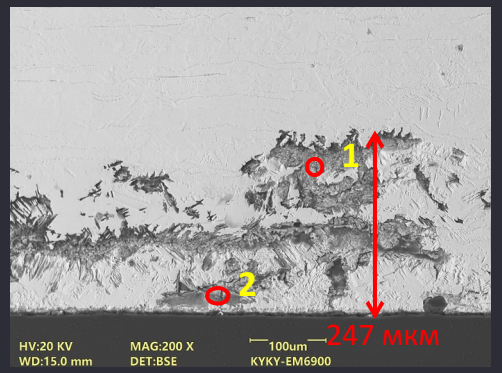


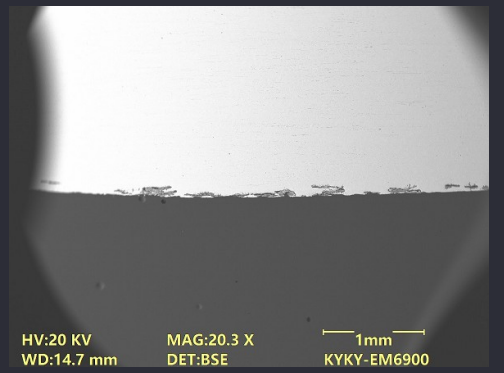
Микроструктура

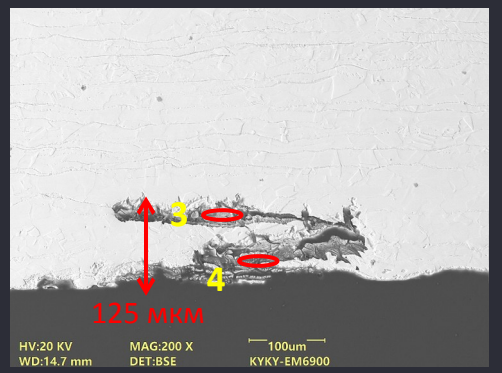


	Массовая концентрация элементов, %										
	C	O	Si	S	Cl	Cr	Mn	Ni	Cu	Ti	Fe
1	60,0	12,6	0,1	4,0	4,7	2,1	-	9,1	0,8	-	6,6
2	63,7	12,3	0,1	4,5	2,1	1,4	-	11,5	0,6	-	3,8
3	-	6,2	0,5	14,4	2,8	7,1	0,4	38,4	5,6	0,3	24,0
4	-	7,4	-	23,7	2,4	2,6	-	49,9	5,5	-	8,6



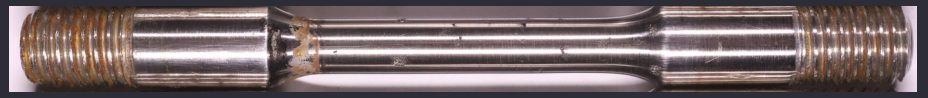






Результаты лабораторных коррозионный испытаний образцов нержавеющей стали аустенитного класса на стойкость к СКРН по NACE TM0177 метод А

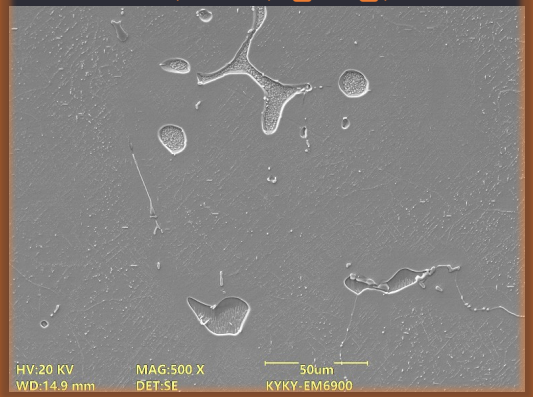
Образцы литой заготовки под фланец из стали AISI 321



Образцы из сварного шва трубы из стали AISI 321

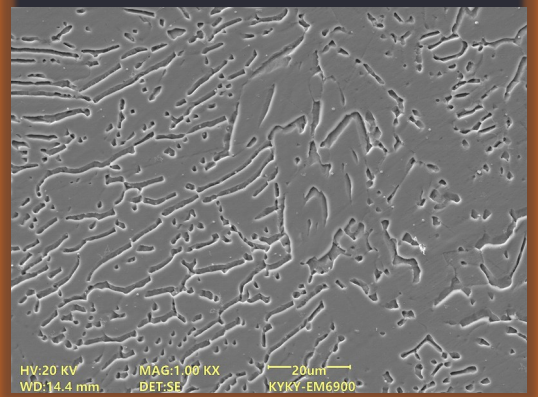


Микроструктура

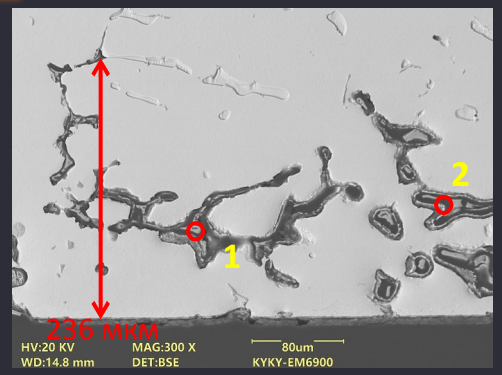


	Массовая концентрация элементов, %										
	C	O	Si	S	Cl	Cr	Mn	Ni	Cu	Ti	Fe
1	40,6	26,0	0,7	8,2	0,8	2,0	-	19,3	0,8	0,7	0,9
2	60,8	7,6	0,2	6,9	0,4	0,4	-	18,7	0,7	0,4	0,9
3	68,3	11,4	0,1	5,0	1,6	1,4	0,1	7,2	2,2	0,1	2,6
4	71,1	12,3	0,1	1,6	2,0	2,3	0,2	3,4	0,9	0,1	5,8

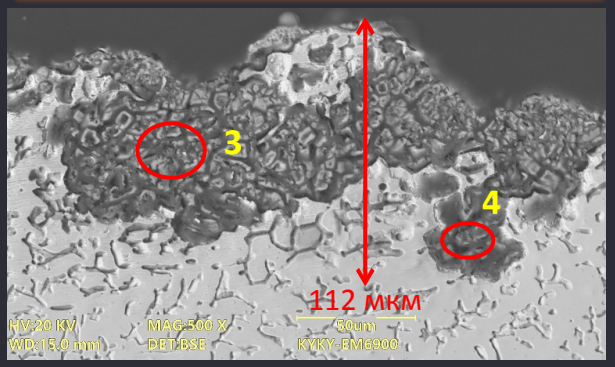
Микроструктура











Лабораторные исследования трубы Ø812х10 мм из нержавеющей стали аустенитного класса AISI 321 на стойкость к СКРН

Цель исследования:

Оценка влияния структуры нержавеющей аустенитной стали на стойкость в H_2S-содержащих средах

Объекты исследований:

- Основной металл трубы;
- Заводской продольный сварной шов;
- Монтажный сварной шов.

Режимы ТО:

- Аустенитизация при 1050°С , охл. на воздухе;
- Отжиг 600°С.

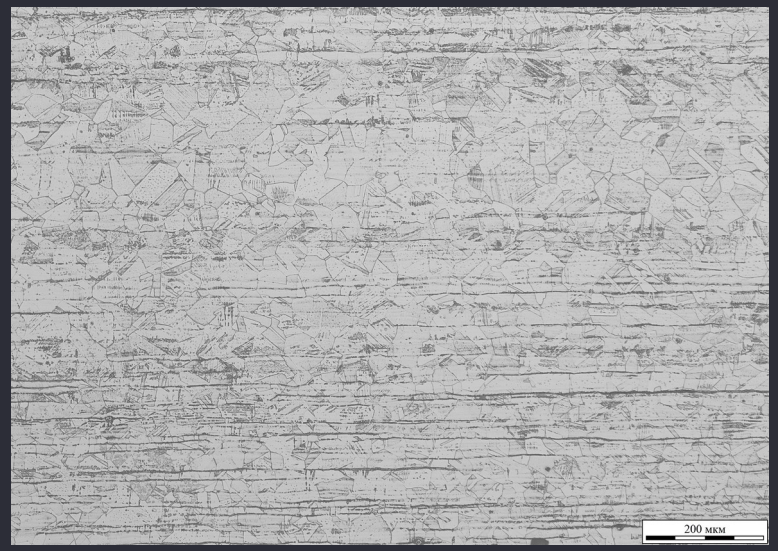
Методы испытаний:

- Металлографический анализ структуры до и после ТО;
- Оценка твердости до и после ТО;
- Оценка стойкости к СКРН до и после ТО.

Лабораторные исследования основного металла трубы Ø812х10 мм из нержавеющей стали AISI 321 на стойкость к СКРН

Область измерений	Твердость, HRB		
	В исходном состоянии	После аустенитизации	После отжига
Основной металл	78,0-80,5	70,0-75,0	75,5-80,0

Структура ОМ трубы из стали AISI 321 до ТО



Структура ОМ трубы из стали AISI 321 после аустенитизации

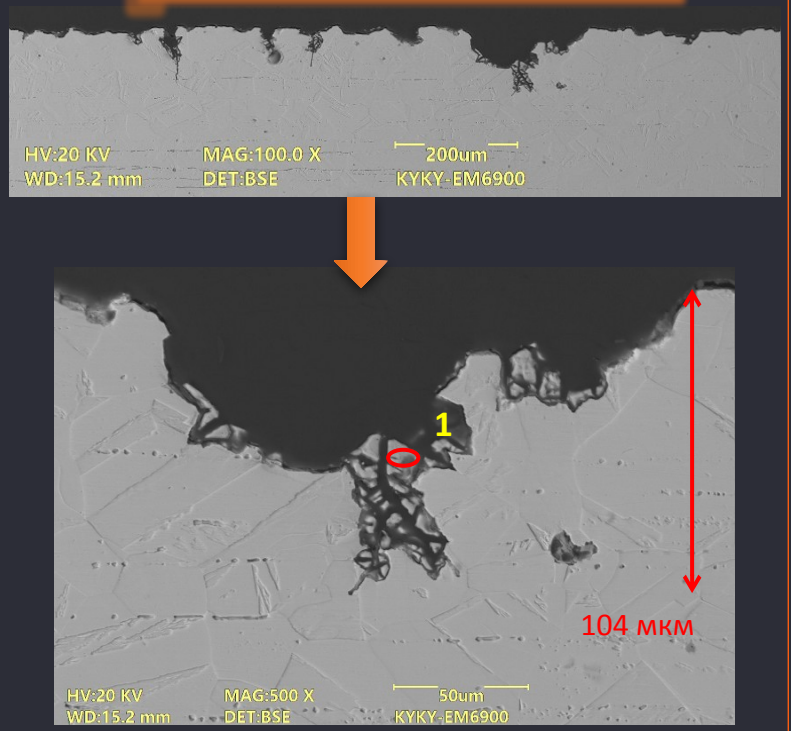


Структура ОМ трубы из стали AISI 321 после отжига

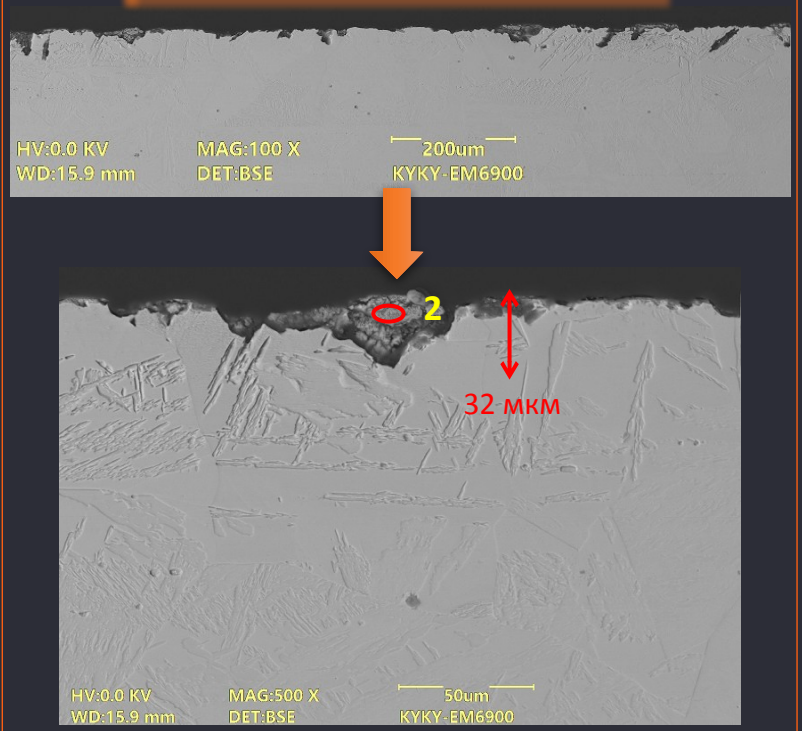


Вид поверхности в сечении образцов основного металла трубы Ø812x10 мм из нержавеющей стали AISI 321 после испытания на стойкость к СКРН

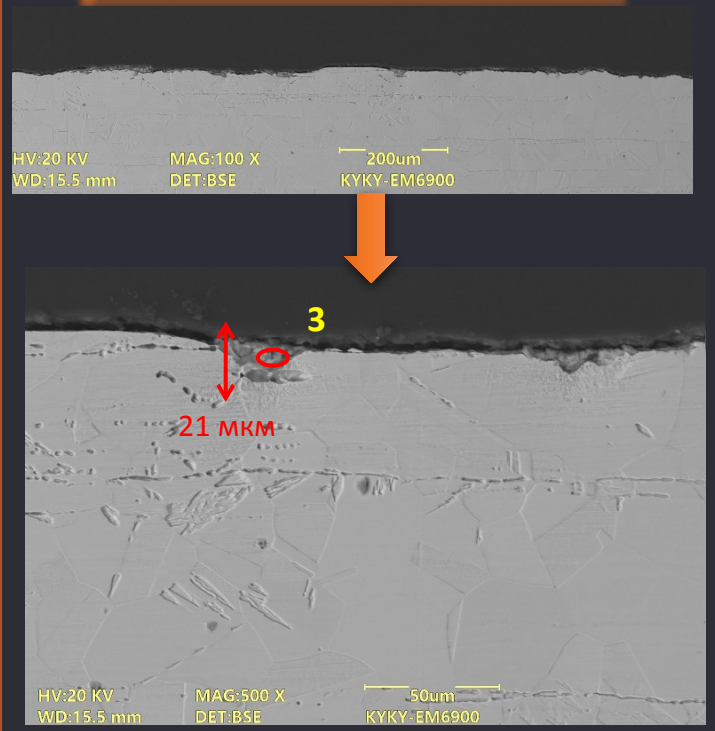
В исходном состоянии



После аустенитизации



После отжига



	Массовая концентрация элементов, %											
	C	O	Si	S	Cl	K	Ti	Cr	Mn	Ni	Cu	Fe
1	60,3	2,9	0,2	12,2	-	-	0,1	1,0	-	18,1	0,4	18,1
2	24,5	30,9	0,3	1,8	0,3	-	0,3	23,2	0,6	3,3	0,9	13,9
3	50,8	26,6	0,1	2,8	2,4	0,2	-	2,1	-	2,6	1,4	11,1

Лабораторные исследования заводского сварного шва трубы Ø812х10 мм из нержавеющей стали AISI 321 на стойкость к СКРН

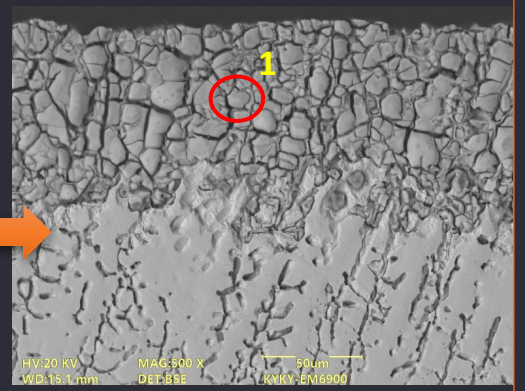


Область измерений	Твердость, HV5	
	В исходном состоянии	После отжига
Заводской сварной шов	ЗТВ: 186,0-226,3 СШ: 211,0-222,7	ЗТВ: 172,7-203,0 СШ: 153,4-185,4

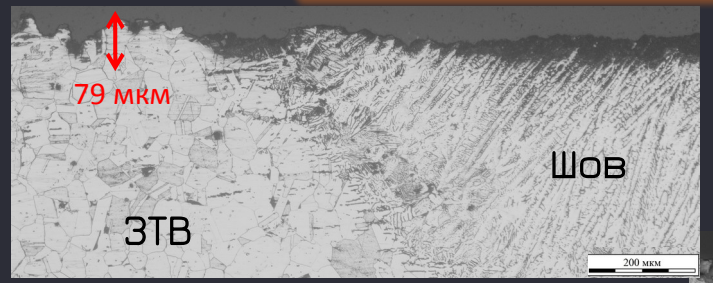
До термообработки



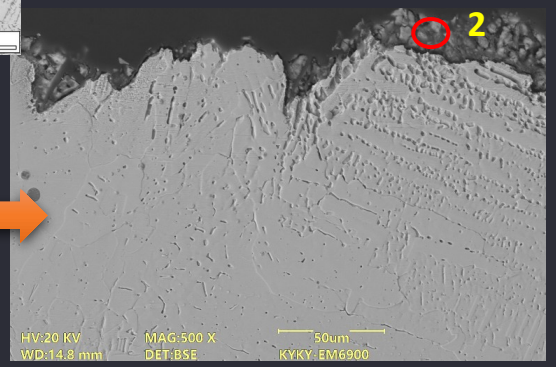




После отжига







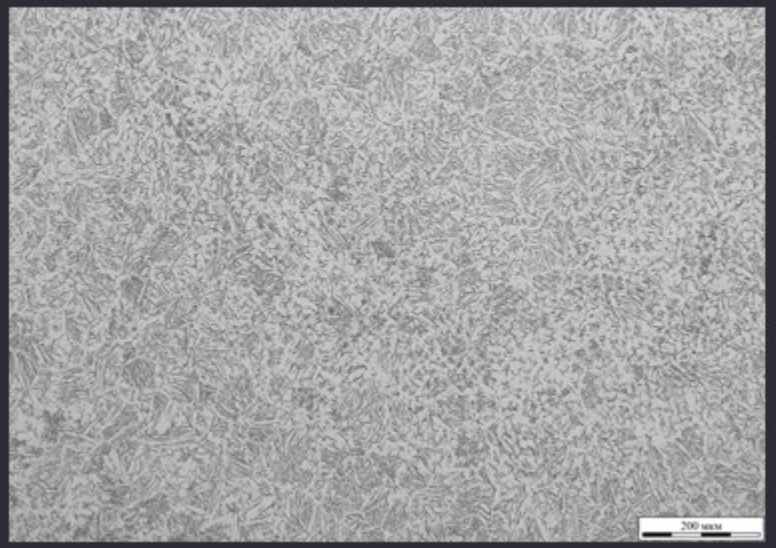
	Массовая концентрация элементов, %										
	C	O	Si	S	Cl	Ti	Cr	Mn	Ni	Cu	Fe
1	29,1	11,6	0,3	16,9	0,5	-	0,6	-	14,4	22,5	4,1
2	55,5	4,3	0,3	11,0	-	0,2	1,2	0,1	14,5	8,2	4,6

Лабораторные исследования монтажного сварного шва трубы Ø812х10 мм из нержавеющей стали AISI 321 на стойкость к СКРН

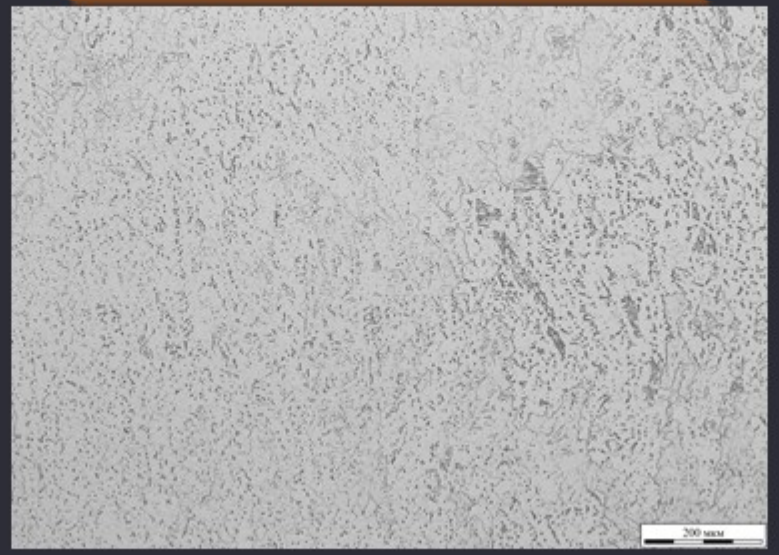


Область измерений	Твердость		
	В исходном состоянии	После аустенитизации	После отжига
Монтажный сварной шов	ЗТВ: 196,0-229,3 HV^5 СШ: 219,1-227,5 HV^5	ЗТВ: 163,2-197,0 HV^5 СШ: 165,1-207,2 HV^5	ЗТВ: 164,0-214,0 HV^5 СШ: 198,0-233,0 HV^5

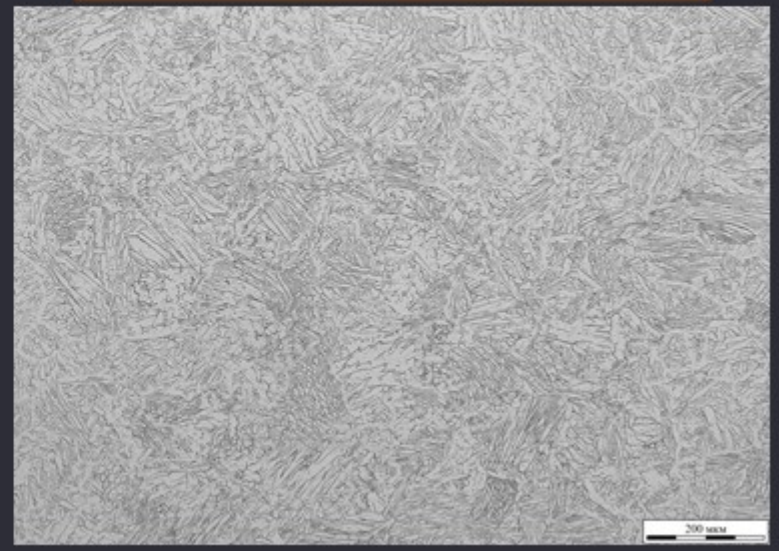
Микроструктура корня шва до термообработки



Микроструктура корня шва после аустенитизации

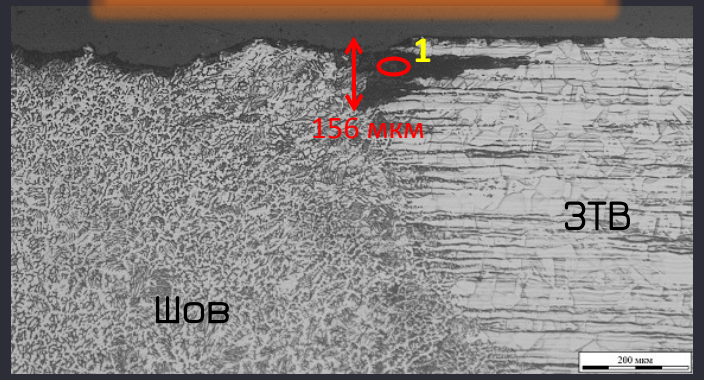


Микроструктура корня шва после отжига



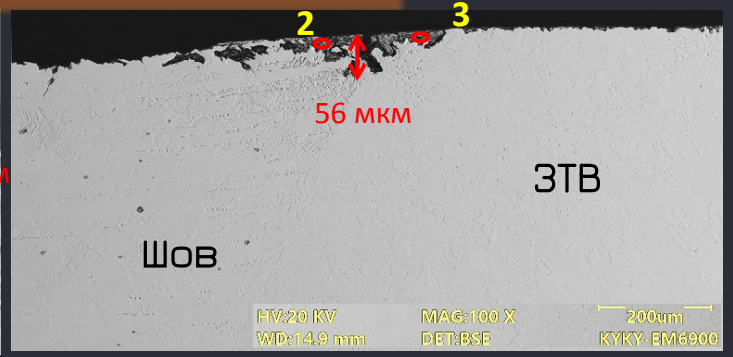
Вид поверхности в сечении образцов монтажного сварного шва трубы Ø812х10 мм из нержавеющей стали AISI 321 после испытания на стойкость к СКРН по NACE TM 0177, метод А.

До термообработки



После аустенитизации







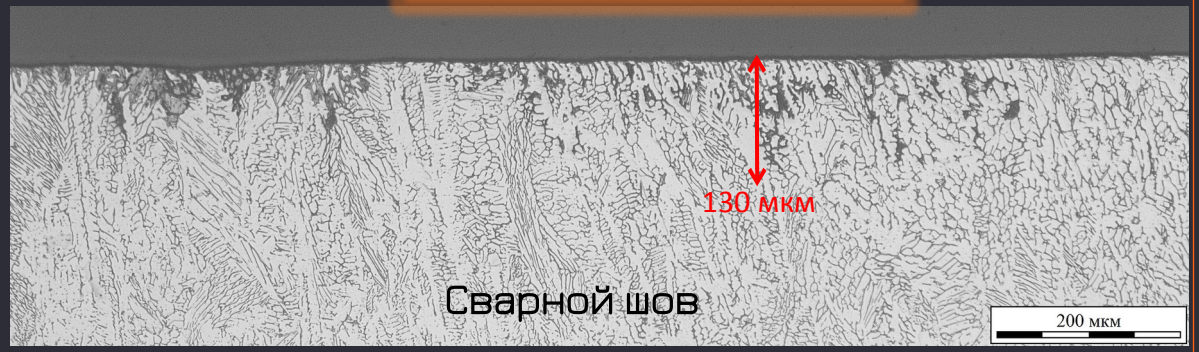




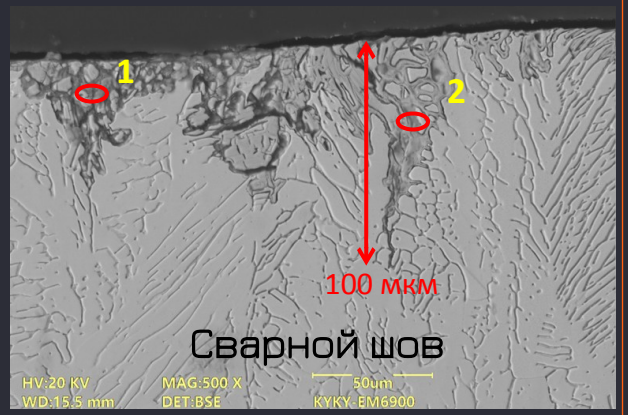
	Массовая концентрация элементов, %									
	C	O	Si	S	Cl	Ti	Cr	Ni	Cu	Fe
1	53,1	12,6	0,2	9,5	0,6	0,1	0,8	21,2	0,8	1,0
2	33,8	29,3	0,3	0,6	-	0,2	17,8	3,7	0,4	14,0
3	54,1	14,6	0,3	7,3	-	0,5	0,8	19,9	1,7	0,8

Вид поверхности в сечении образцов монтажного сварного шва трубы Ø812х10 мм из нержавеющей стали AISI 321 после испытания на стойкость к СКРН по ASTM G39

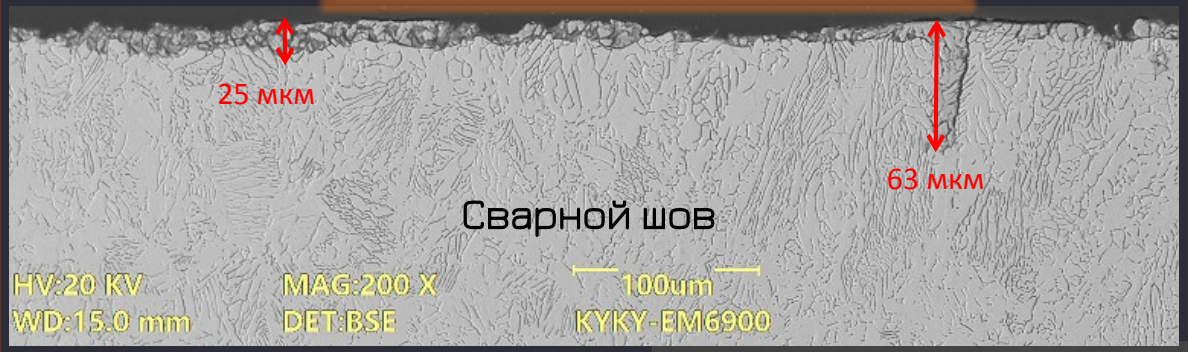
До термообработки







После отжига







	Массовая концентрация элементов, %										
	C	O	Si	S	Cl	Ca	Ti	Cr	Ni	Cu	Fe
1	43,7	20,0	0,2	5,9	0,7	-	-	1,4	12,6	0,2	15,1
2	55,7	4,7	0,2	9,8	0,1	-	-	3,5	5,5	0,4	19,9
3	52,4	20,9	0,2	1,3	0,3	0,2	0,2	2,0	7,9	-	14,7
4	49,0	18,5	0,2	1,9	0,2	0,1	0,2	2,2	11,2	-	16,6

ВЫВОДЫ

- Присутствие δ-феррита, мартенсита деформации, цепочек выделений карбидов по границам зерен, а также неметаллических включений, например, нитридов титана, формирует микрогальванические пары. Они выступают ловушками для водорода и облегчают проникновение ионов S_2^- и Cl^-, вызывая питтингообразование и растворение металла;

- Для обеспечения надежности аустенитных сталей в сероводородсодержащих средах, не только для исключения коррозионного растрескивания, необходимо строго соблюдать режим аустенитизации (отжиг на твердый раствор), исключать наклеп и контролировать твердость основного металла и сварных соединений на всех этапах производства.

Чистопольцева
Елена
Александровна

+ 7 917 942 94 28
chistopolceva@its-samara.com