ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Определение причин преждевременной разгерметизации трубопроводов по механизму язвенной коррозии в зоне стыкового сварного шва

Докладчик:
Ведущий инженер отдела металловедения
Левахина Анна Николаевна

Фрагменты аварийных промысловых трубопроводов

Трубопровод Ø219х8 мм из стали 09Г2С



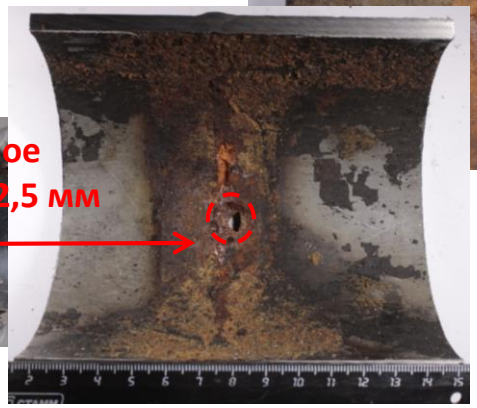
Ø сквозное поражение 10 мм



Трубопровод Ø114х6 мм из стали 09Г2С+ ВАКП



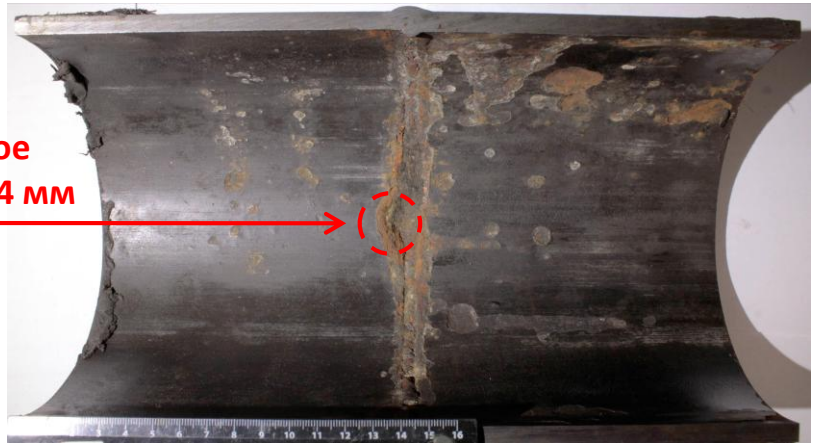
Ø сквозное поражение 2,5 мм



Трубопровод Ø159х7 мм из стали 13ХФА



Ø сквозное поражение 4 мм

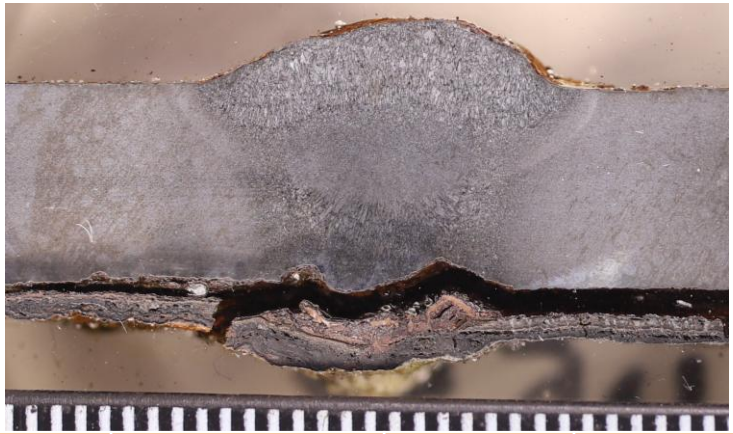


Условия эксплуатации

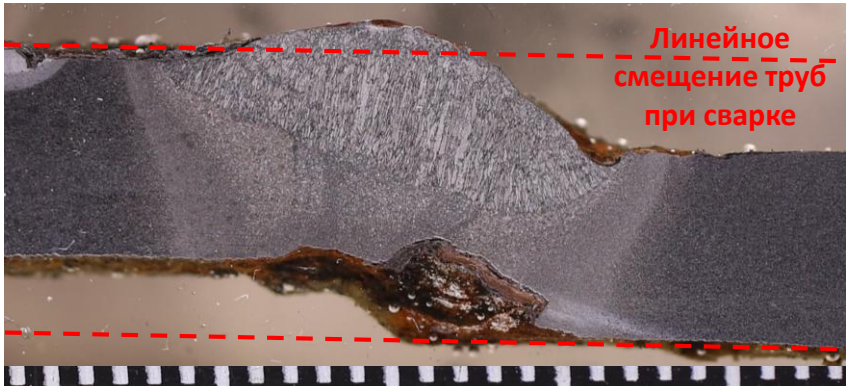
Трубо-провод	Срок службы	Способ защиты трубопровода	Условия эксплуатации	Среда эксплуатации
219х8 из стали 09Г2С	2 года, 11 месяцев	Наружное защитное покрытие на основе экструдированного полиэтилена	Т: +10°С $P_{общ}$ – 2 МПа P_{H2S} – 0,2 кПа	Нефтегазоводная смесь от 5 добывающих скважин Обводненность, % 80 / 52 / 95 / 99 / 23 Общая минерализация (содержание Cl^-), г/л 250 (154) / 32 (отс.) / 152 (94) / 4 (2) / 307 (188) pH 6-7 / 6-7 / 6-7 / 6-7 / 3 Содержание H_2S, ppm 18 / - / 76 / 59 / 99 Молярная доля CO_2 в горючем газе, % 0,3 / / 0,1 / / 0,02 Молярная доля O_2 в горючем газе, % 0,02 / / 0,06 / / 0,1 H_2S и др. серосодержащие соединения, мг/м^3 (ppm) н/д / 53,67(38) / н/д / н/д / н/д
114х6 из стали 09Г2С	14 лет 6 месяцев	Наружное ленточно-мастичное покрытие; Внутреннее полимерное покрытие	Т:−10-+20°С $P_{общ}$ - 4,0 МПа	Нефтегазоводная смесь Обводненность – 93,4%; Общая минерализация – 135 г/л (в том числе Cl^- 85 г/л) pH – 6-7; Растворенный H_2S – 24,1 мг/л Растворенный O_2 – 0,23 мг/л
159х7 из стали 13ХФА	2 года, 3 месяца	Наружное ЛКП	Т: +42°С $P_{общ}$ – 5 МПа	Нефтегазоводная смесь pH 6-7 ед; Обводненность 40-50%; Минерализация 114 г/л (в том числе 71 мг/л Cl^-) Растворенный H_2S – 60 мг/л

Макроанализ сварных соединений

Микрошлиф из сварного шва трубопровода Ø 219х8 из стали 09Г2С (вблизи сквозного поражения)

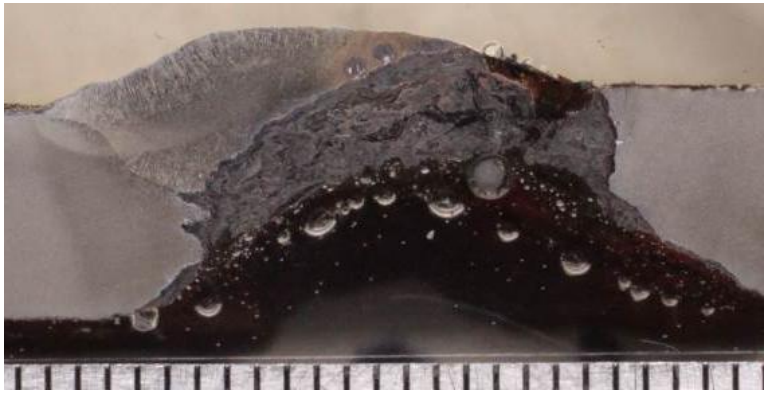


Микрошлиф из сварного шва трубопровода Ø 114х6 из стали 09Г2С (вблизи сквозного поражения)



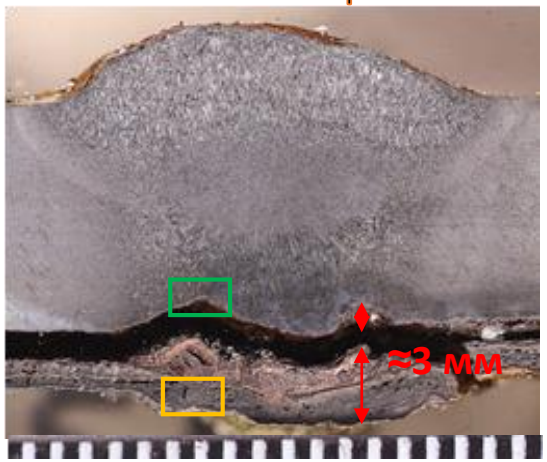
Трубо-провод	Материал сварного шва	Дефекты сварных швов	Твердость	Обл.нег ермет.
Ø219х8 из стали 09Г2С	Сварочные материала типа СВ-08Г2С	Не выявлено	ОМ: 85-89 HRB Шов:83-89 HRB ЛС: 83-86 HRB ЗТВ: 82-86 HRB	6 ч
Ø 114х6 из стали 09Г2С	Электрод LB-52U	Линейное смещение труб до ~3 мм	ОМ: 79-80 HRB Шов:79-90 HRB ЛС: 89-92 HRB ЗТВ: 82 HRB	6 ч
Ø159х7 из стали 13ХФА	Сварочные материала типа СВ-08Г2С	Не выявлено	ОМ:90-91 HRB Шов:84-91 HRB ЛС: 85-87 HRB ЗТВ: 78-82 HRB	6 ч

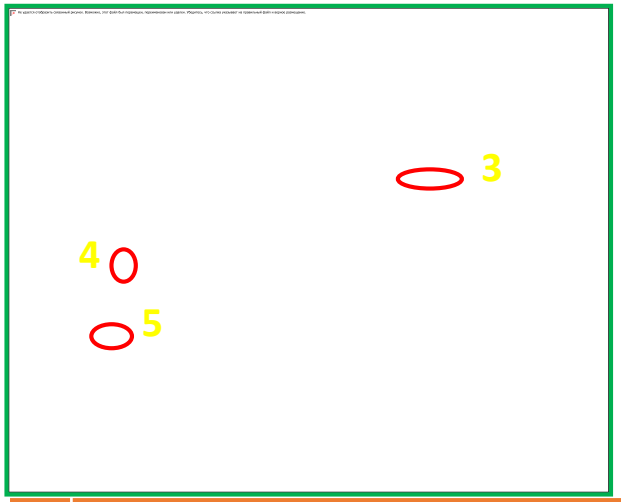
Микрошлиф из сварного шва трубопровода Ø159х7 из стали 13ХФА (область сквозного поражения)

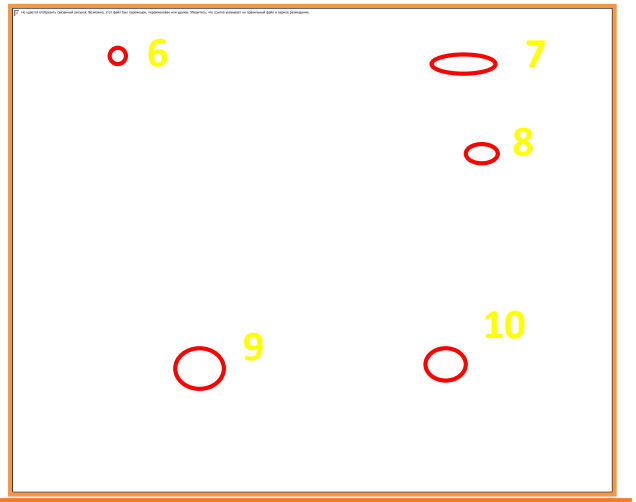


Анализ химического состава отложений с внутренней поверхности трубопровода Ø219х8 мм из стали 09Г2С

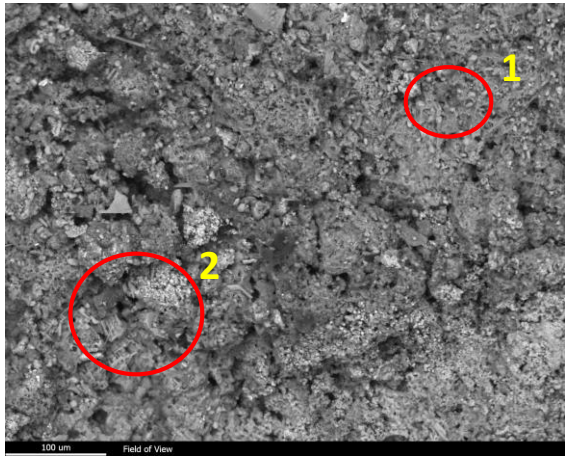
ПК в сечении сварного шва







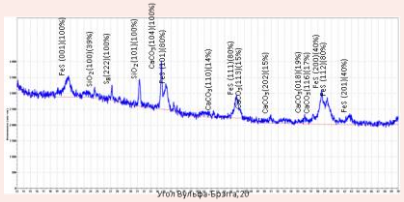
ПК на внутренней поверхности трубопровода



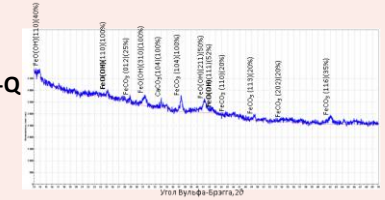
№	Массовая концентрация элементов, %													
	C	O	Si	S	Na	Cl	K	Mg	Ca	Al	Mn	Cr	Zn	Fe
1	10,49	11,20	2,53	12,78	16,04	16,01	-	0,45	3,33	0,80	-	-	-	26,37
2	11,44	17,80	0,50	23,30	6,22	2,90	0,85	0,72	2,59	0,24	-	-	-	33,43
3	11,48	19,92	1,28	0,59	-	0,43	-	-	-	-	0,59	-	-	65,70
4	12,11	19,62	3,78	0,67	-	0,27	0,92	-	-	-	0,62	0,36	-	61,66
5	38,59	12,66	0,25	0,93	-	1,58	-	-	-	-	-	-	-	45,99
6	16,27	23,77	3,91	0,83	1,54	1,68	-	-	-	-	0,87	0,37	-	50,77
7	11,69	25,22	-	1,67	-	1,58	-	-	0,70	-	0,90	-	3,31	54,93
8	15,22	26,43	-	4,84	-	-	-	-	38,61	-	1,08	-	6,90	6,90
9	35,82	8,40	-	16,38	-	0,48	-	-	-	-	-	-	-	38,92
10	15,56	5,47	-	27,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51,58

Результаты рентгенофазового анализа

Наружная сторона
FeS – Mackinawite
S_8 – Sulfur
$CaCO_3$ – Calcite

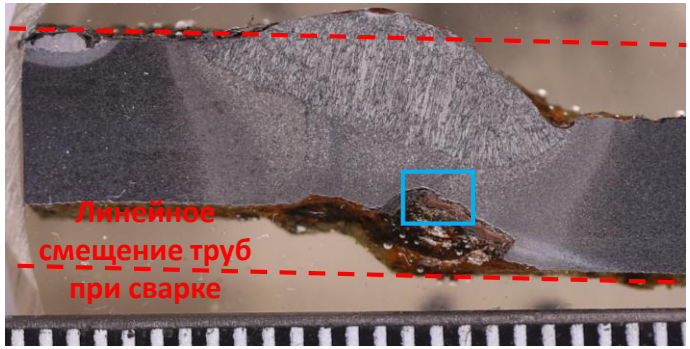


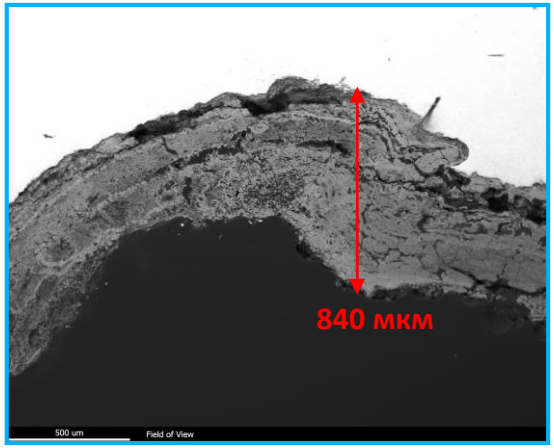
Внутренняя сторона
FeO(OH) - Akaganeite-Q
$FeCO_3$ – Siderite
FeO(OH) – Goethite
$CaCO_3$ – Calcite

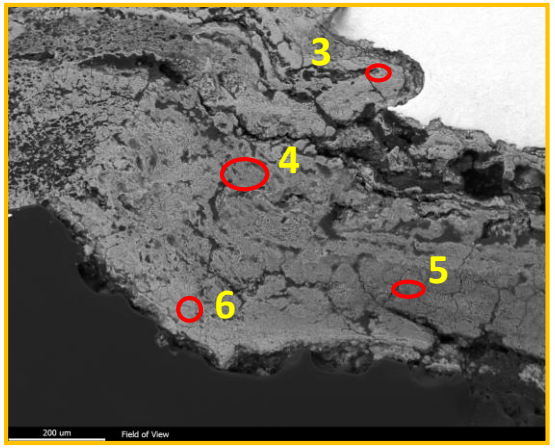


Анализ химического состава отложений с внутренней поверхности трубопровода Ø114х6 из стали 09Г2С

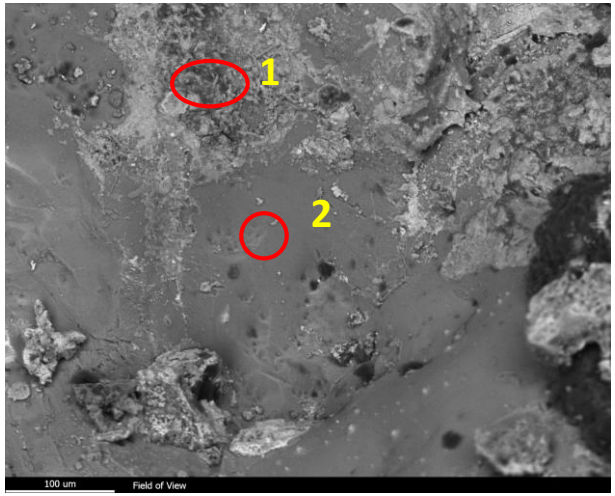
ПК в сечении сварного шва







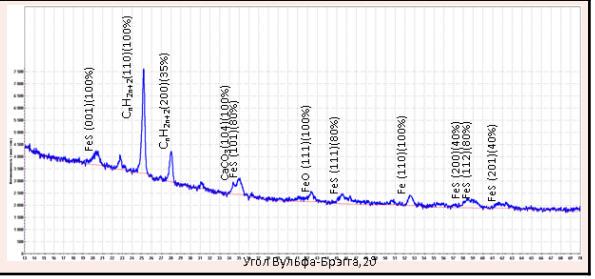
ПК на внутренней поверхности трубопровода



№	Массовая концентрация элементов, %									
	C	O	Si	S	Na	K	Cl	Cr	Mn	Fe
1	21,87	29,78	-	9,94	1,28	-	0,44	-	-	24,58
2	14,75	49,84	-	16,68	-	-	-	-	-	0,77
3	21,87	24,60	2,95	0,53	0,64	0,59	1,22	0,70	0,71	45,17
4	29,49	17,68	0,81	0,85	-	-	4,70	0,91	-	45,54
5	33,16	19,53	3,27	1,31	-	-	4,11	0,82	0,20	37,60
6	26,09	25,28	1,69	1,00	-	-	3,91	0,72	-	41,04

Результаты рентгенофазового анализа

FeS – Mackinawite
Fe – Iron
FeO – Wuestite
$CaCO_3$ – Calcite
C_nH_{2n+2} – n-Paraffin



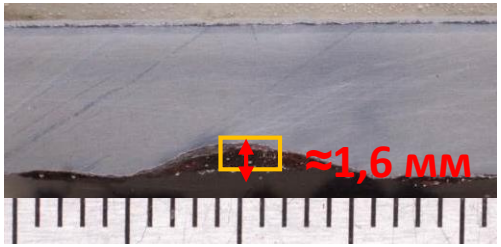
Анализ химического состава отложений с внутренней поверхности трубопровода Ø159х7 мм из стали 13ХФА

Внутренняя поверхность нижней образующей

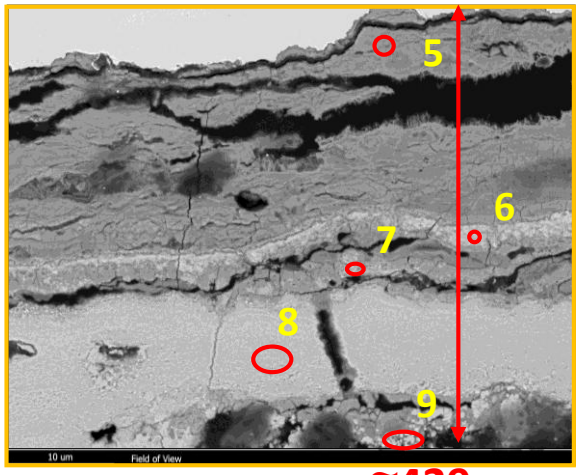
Сварной шов



Микрошлиф через вздувшийся участок окалины



Слой ПК на внутренней поверхности трубопровода



≈429 мкм

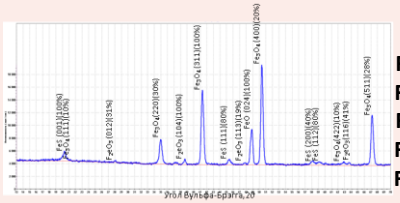




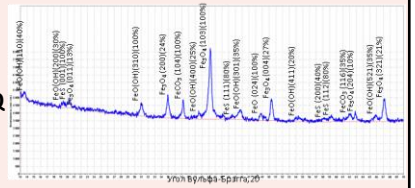
№	Массовая концентрация элементов, %													
	C	O	Si	S	Na	Cl	F	P	Ca	Al	Mn	Cr	Cu	Fe
1	25,15	12,60	1,24	17,48	1,15	1,53	-	-	0,70	0,52	-	-	-	39,63
2	9,98	8,97	-	26,06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54,99
3	15,84	11,05	-	11,05	-	4,59	-	-	-	-	-	-	28,69	39,84
4	-	22,57	-	-	-	6,86	-	-	-	-	-	1,54	-	69,04
5	2,02	10,05	0,50	0,65	-	0,47	-	-	-	-	0,50	0,93	-	84,88
7	1,50	-	-	21,36	-	-	-	-	-	-	0,41	1,57	-	75,15
8	8,37	6,01	0,37	7,10	-	-	-	-	-	-	0,78	2,45	1,64	73,28
9	0,87	-	-	20,30	-	-	2,31	0,54	-	-	-	0,77	0,78	65,64
10	2,72	7,76	1,98	7,69	-	0,48	-	-	-	1,98	0,66	1,61	-	77,10

Результаты рентгенофазового анализа

Наружная сторона
Fe_3O_4- Magnetite
Fe_2O_3 – Hematite
FeO – Iron Oxide
FeS – Mackinawite

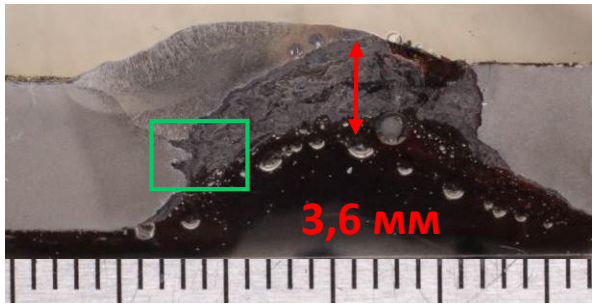


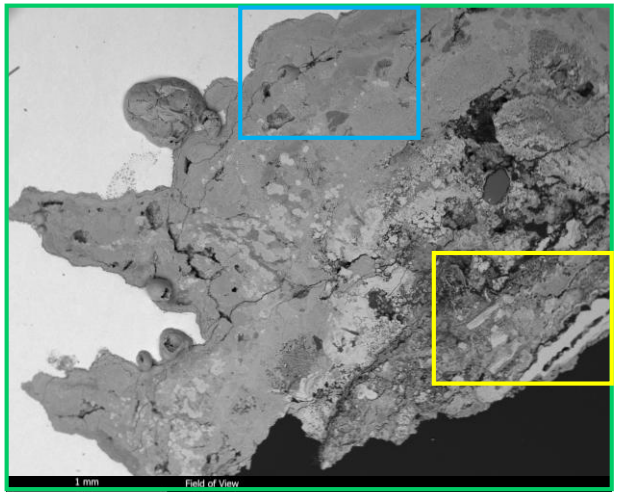
Внутренняя сторона
Fe_3O_4- Magnetite
FeO – Iron Oxide
FeO(OH) - Akaganeite-Q
$FeCO_3$ – Siderite
FeS – Mackinawite

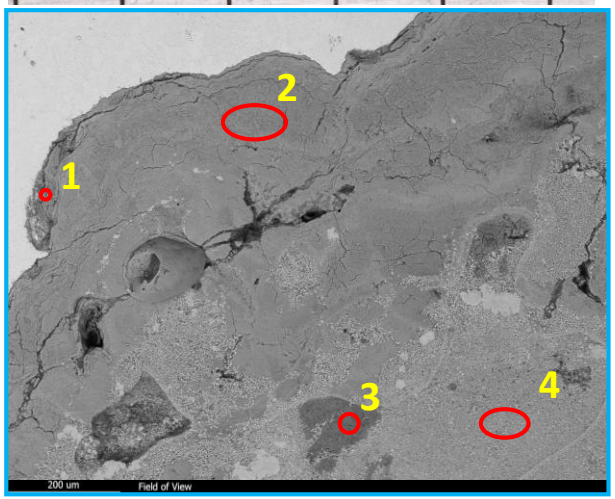


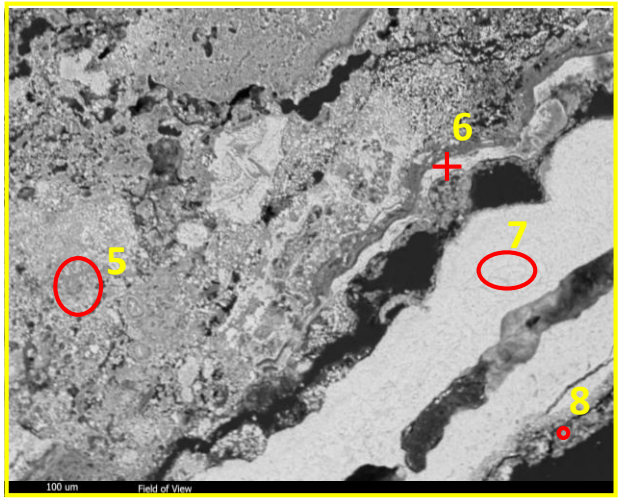
Анализ химического состава отложений с внутренней поверхности трубопровода Ø159х7 мм из стали 13ХФА

ПК в сечении сварного шва







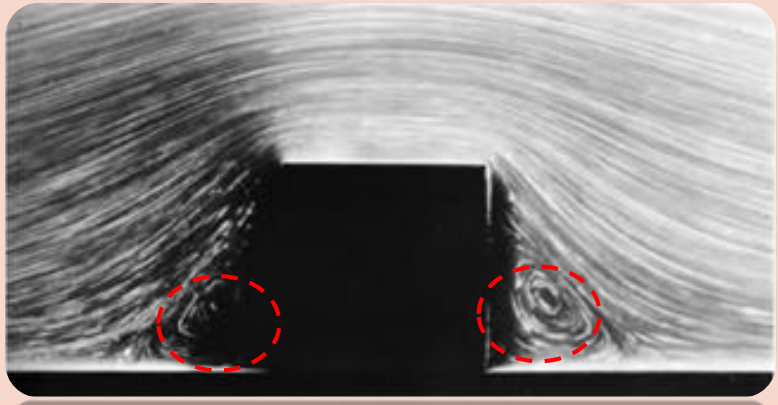


№	Массовая концентрация элементов, %											
	C	O	Si	S	Na	Cl	K	Ca	Al	Mn	Cr	Fe
1	16,96	17,44	1,04	1,22	-	0,70	-	-	-	0,33	0,36	61,90
2	8,94	23,26	3,01	1,28	-	-	-	-	-	1,09	1,13	61,29
3	19,56	22,55	2,52	7,72	4,37	3,51	0,47	0,37	-	1,21	1,38	36,33
4	10,17	12,17	-	22,14	3,02	1,95	-	-	-	-	-	50,54
5	12,36	13,55	-	19,00	-	0,79	-	-	-	-	-	54,24
6	9,59	-	-	34,13	-	-	-	-	-	-	-	56,29
7	6,53	-	-	34,15	-	-	-	-	-	-	-	59,02
8	10,57	15,05	0,92	10,54	-	1,30	-	-	0,47	-	0,37	60,78

Факторы влияющие на локализацию и интенсификацию коррозионных процессов в области сварного шва

- **неоднородность сварного соединения и основного металла трубы по химическому составу и микроструктуре приводит к образованию разности электрохимического потенциала, что не является нарушением технологии сварки, но может инициировать процесс язвенной коррозии**

- **дефекты сварных швов, в т.ч. подрез, превышение выпуклости/проплава, линейное смещение труб и т.д., оказывают влияние на гидродинамику потока, создаются особые зоны, отличающиеся от основного ламинарного потока по составу и условиям течения[1];**



- **присутствие в среде даже малых концентраций растворенного сероводорода в совокупности с высокой концентрацией хлорид ионов способствует ускоренному развитию локальной коррозии.**

1. Альбом течений жидкости и газа: Пер. с англ./Сост. М. Ван-Дайк. – М.: Мир, 1986.-184с.

Благодарю за внимание!

Левахина
Анна Николаевна
Ведущий инженер
отдела металловедения
ООО «ИТ-Сервис»
+7 987 435 2704