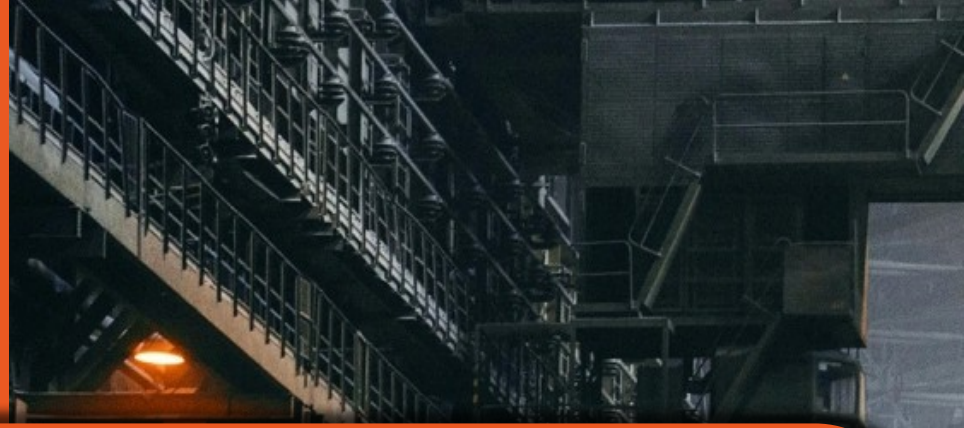
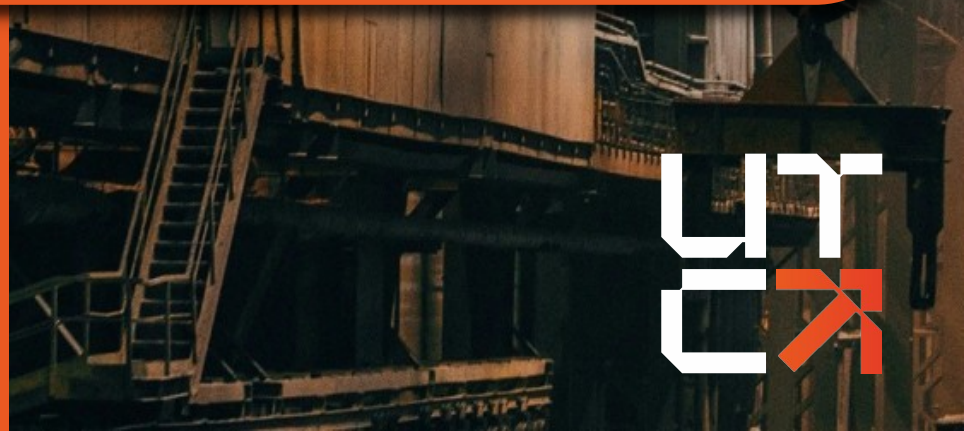
ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

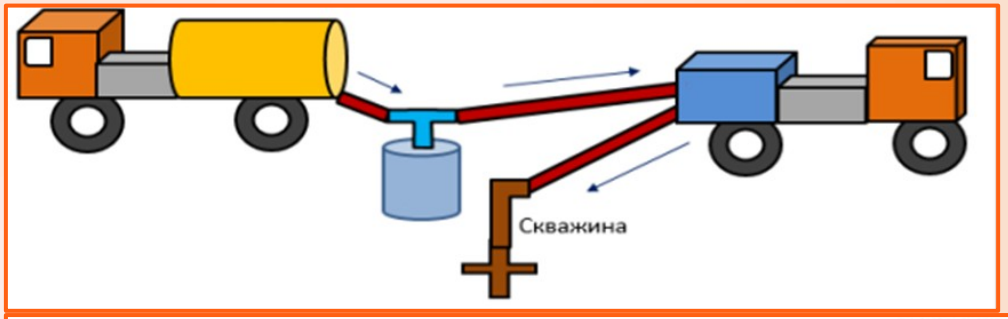


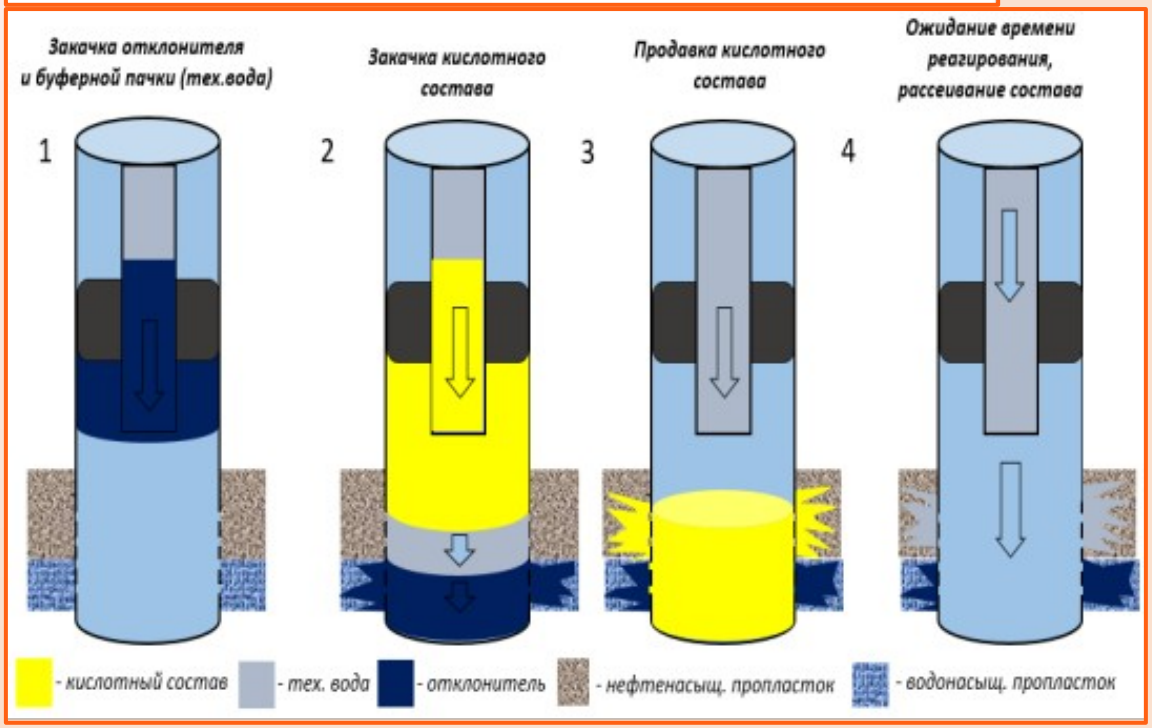
Особенности разрушения элементов погружного оборудования при проведении технологических обработок скважин



Докладчик:
Начальник отдела исследований металлопродукции
ООО «ИТ-Сервис»
Кощеев Кирилл Игоревич

Технологические кислотные обработки скважины





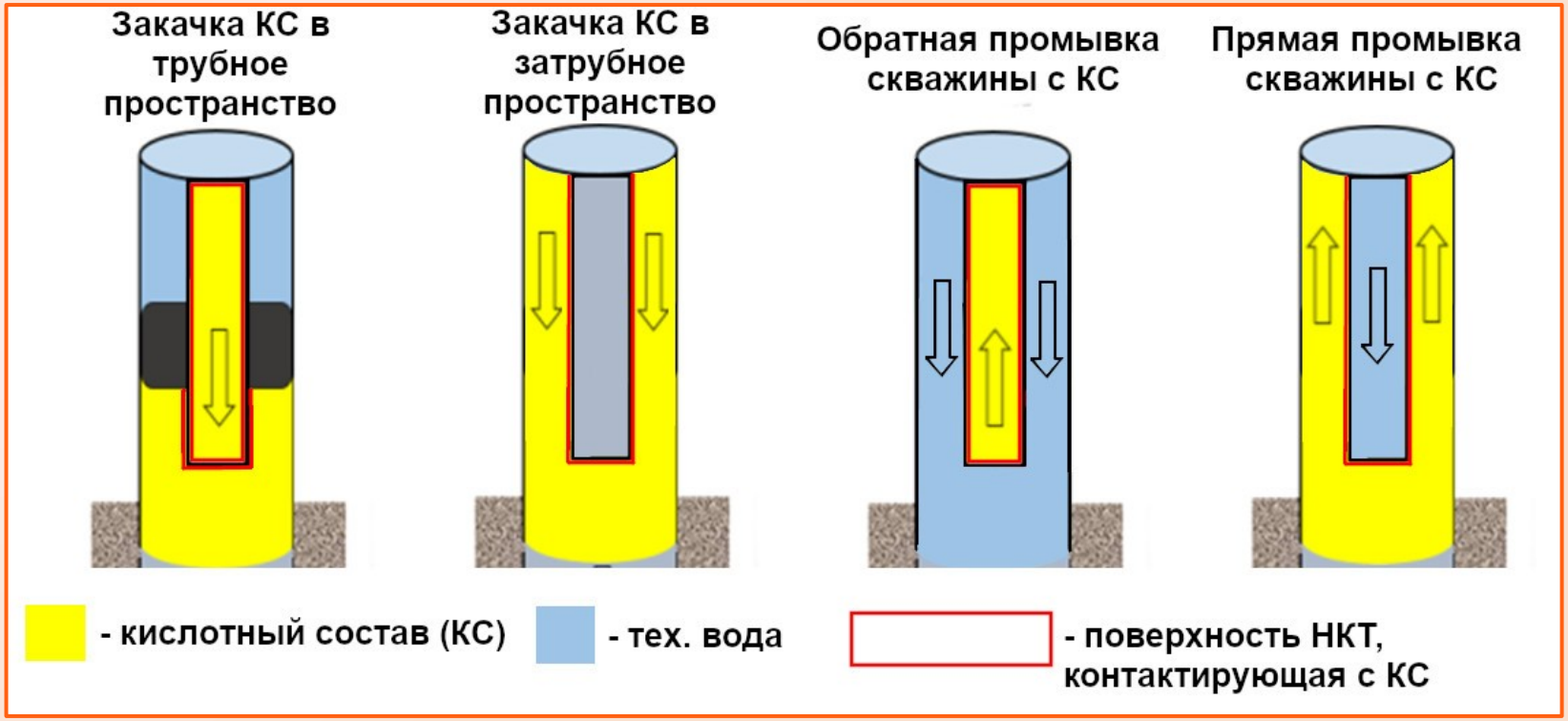
Главной целью проведения технологических обработок скважины является повышение нефтеотдачи.

Иногда обработки кислотным составом (КС) проводятся с целью удаления солевых отложений и прочистки погружного оборудования.

Типичная технология проведения кислотной обработки скважины[1]

Аль-Хамати, Амин Хамид Мохаммед Абдулла. Технология обработки призабойной зоны пласта с отклонителями // Молодой ученый. — 2022. — № 27 (422). — С. 51-54.

Коррозионное воздействие на металл НКТ



Взаимодействие металла колонны НКТ с КС происходит как при его закачке в пласт, так и при промывке скважины для удаления его остатков из пласта после протекания реакции.
С целью минимизации коррозионного повреждения погружного оборудования применяются специальные ингибиторы коррозии.

Коррозионное воздействие HCl и HF на металл НКТ

Наводороживание низколегированной стали происходит в процессе коррозии железа в водном растворе соляной (HCl) и плавиковой (HF) кислоты в результате следующих электрохимических реакций:

$Fe + 2HCl \rightarrow FeCl^{2} + 2H^{+}$;

$Fe + 3HF \rightarrow FeF^{3} + 3H^{+}$;

$H^{+} \rightarrow \underline{H_{адс}}$ и $2H^{+}/2\underline{H_{адс}} \rightarrow H_{2}\uparrow$;

$\underline{H_{адс} \rightarrow H_{абс}}$ (диффузия в сталь).

Высокопрочное оборудование из низколегированной стали с твердостью выше 22 HRC[1,2] обладает повышенной склонностью к водородному охрупчиванию стали (Hydrogen Embrittlement\HE[2]), которое может привести к коррозионному растрескиванию оборудования под напряжением по механизму водородного растрескивания под напряжением (Hydrogen Stress Cracking\HSC[1]) и, в частности, водородного растрескивания под напряжением во фторводородной (плавиковой) кислоте (Hydrogen Stress Cracking in Hydrofluoric Acid[2]).

1 ГОСТ Р 53678-2009 (ИСО 15156-2:2003) Нефтяная и газовая промышленность. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СРЕДАХ, СОДЕРЖАЩИХ СЕРОВОДОРОД, ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ И ГАЗА. Часть 2. Углеродистые и низколегированные стали, стойкие к растрескиванию, и применение чугунов.

2 ANSI/API RECOMMENDED PRACTICE 571. Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry. p. 200-220.

Коррозионное воздействие HCl и HF на металл НКТ, осложненное наличием H2S

При наличии в среде сероводорода, гидросульфид-ионов HS^- и сульфид-ионов S^{-2} рекомбинация водорода в молекулу $H_2\uparrow$ существенно замедляется, поскольку они выступают в качестве каталитического яда для данной реакции. Это приводит к значительному росту абсорбированного сталью водорода:

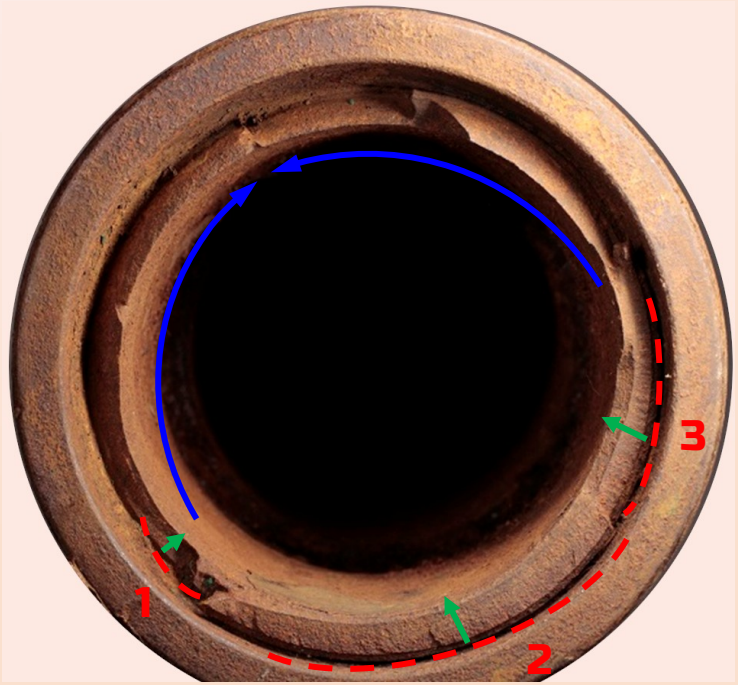
$2H_{адс}$ —[блокировано HS^-]—×→ $H_2\uparrow$;

$H_{адс} \rightarrow H_{абс} \gg 2H^+ \rightarrow H_2\uparrow$.

Разрушение подвески НКТ после кислотных обработок. Образец №1 (НКТ).







Ответный излом

Направление развития трещины

Направление долома

Очаги зарождения трещины

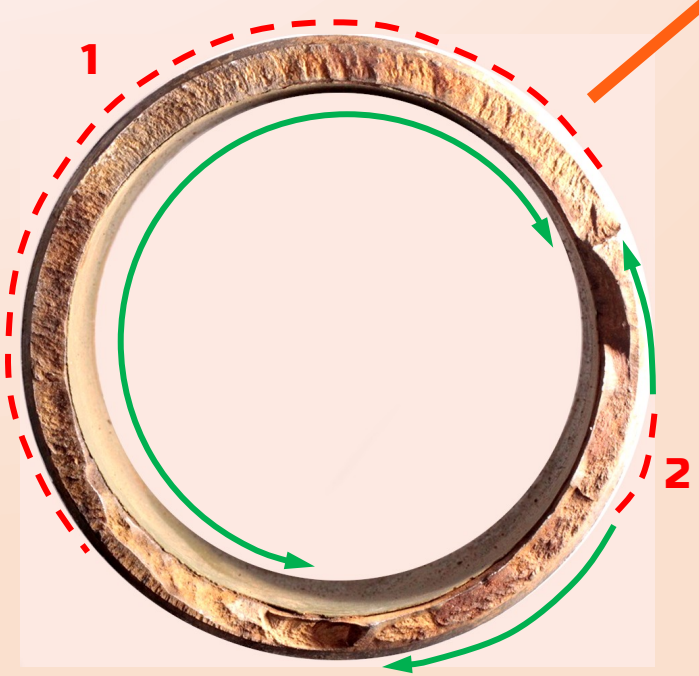
НКТ группы прочности Л по ГОСТ 633-80.

Суток до разрушения с момента СКО: 4

Содержание H2S в скважине: 189 ppm

Разрушение подвески НКТ после кислотных обработок. Образец №2 (НКТ).





Направление развития трещины

Очаги зарождения трещины

Излом

НКТ группы прочности Л по ГОСТ 633-80.

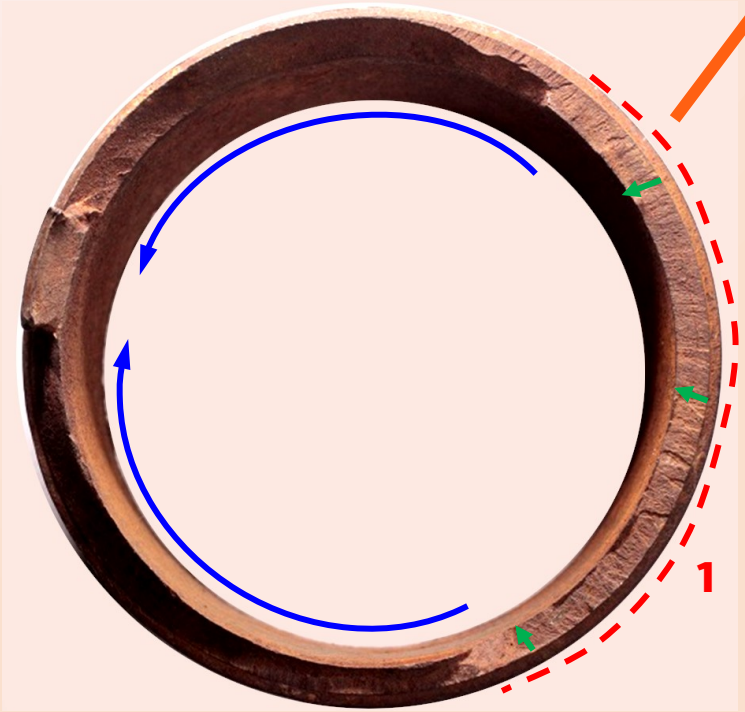
Суток до разрушения с момента СКО: 4 (после обратной промывки)

Содержание H_2S в скважине: не обнаружен

Разрушение подвески НКТ после кислотных обработок. Образец №3 (НКТ).







Излом

Направление развития трещины

Направление долома

Очаг зарождения трещины

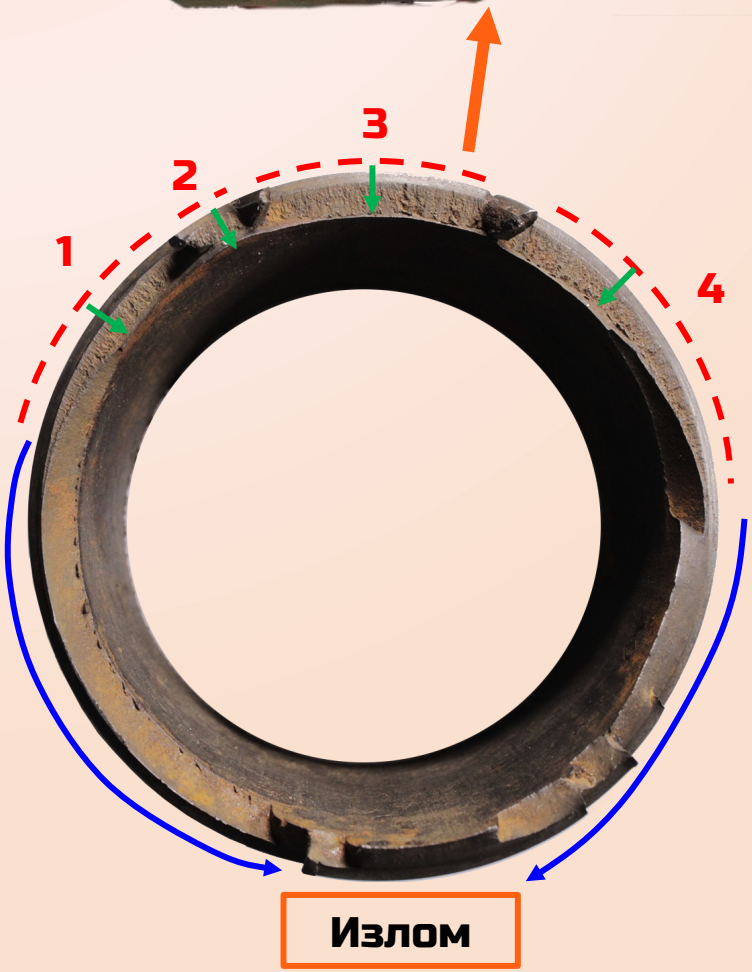
НКТ группы прочности Л по ГОСТ 633-80.

Суток до разрушения с момента СКО: 0

Содержание H_2S в скважине: 99 ppm

Разрушение подвески НКТ после кислотных обработок. Образец №4 (НКТ).





Коррозия и вторичные трещины во впадинах резьбы



Направление развития трещины

Направление долома

Очаги зарождения трещины

НКТ группы прочности R95 по ГОСТ Р 31446.

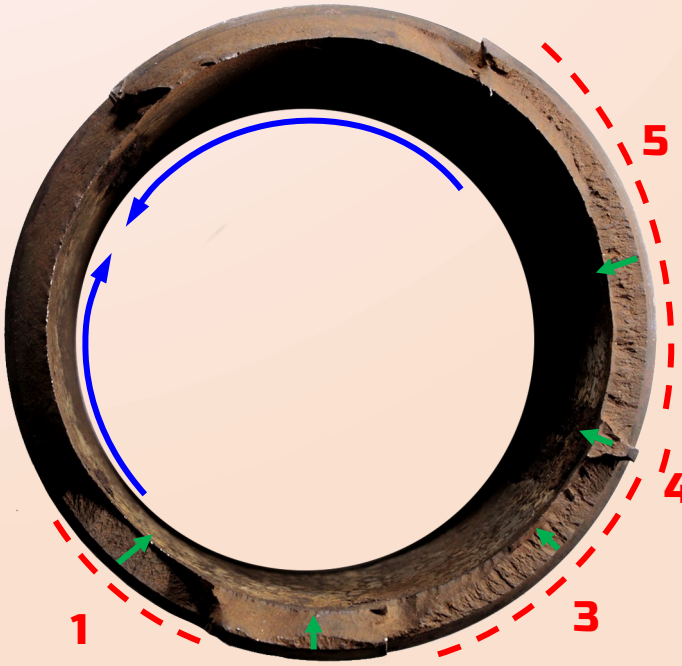
Суток до разрушения с момента СКО: 0

Содержание H_2S в скважине: 0 ppm

Разрушение подвески НКТ после кислотных обработок. Образец №5 (подвесной патрубок).







Излом

Коррозия и вторичные трещины во впадинах резьбы



Направление развития трещины

Направление долома

Очаг зарождения трещины

НКТ группы прочности R95 по ГОСТ Р 31446.

Суток до разрушения с момента СКО: 0

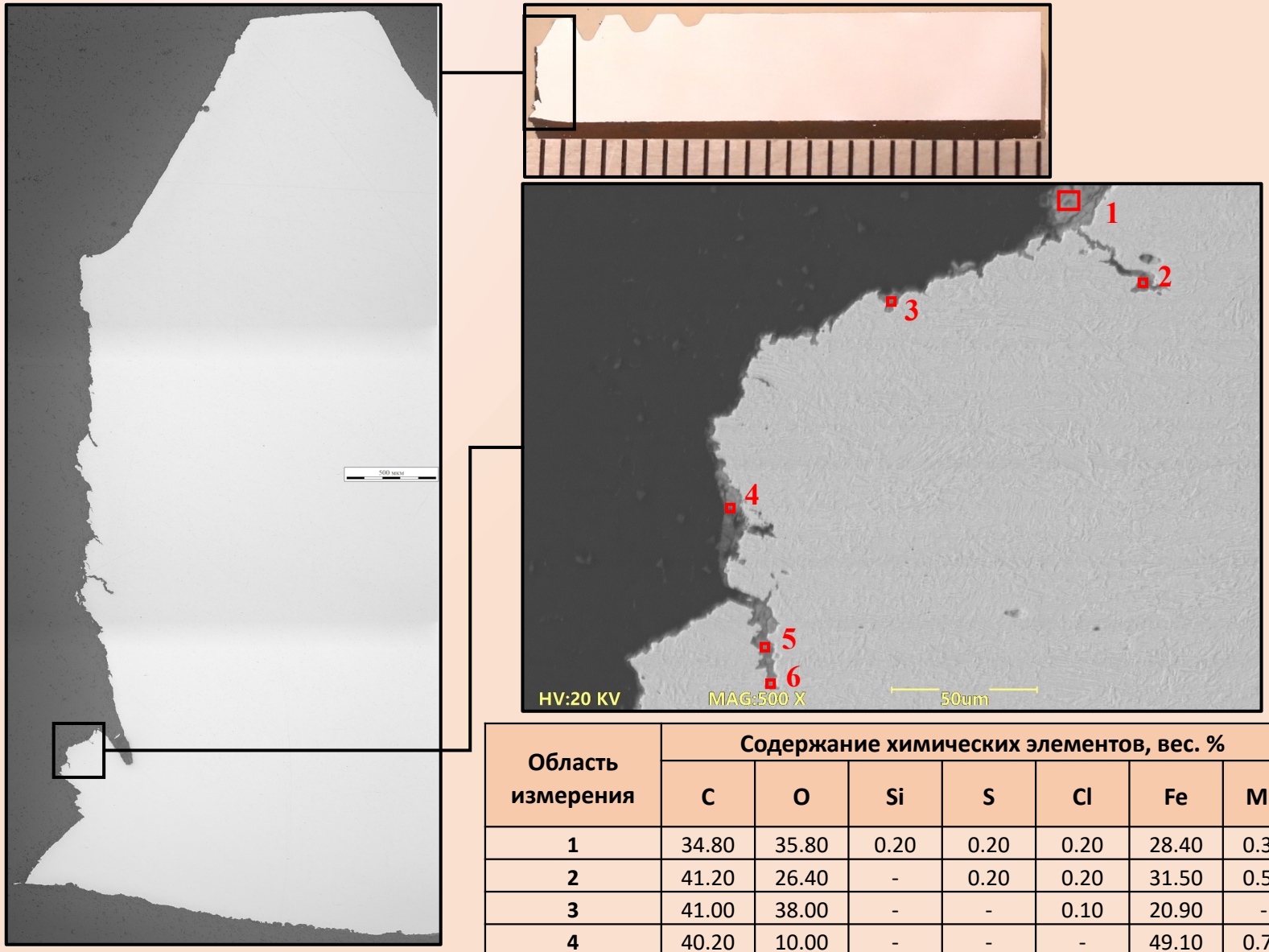
Содержание H_2S в скважине: 0 ppm

Механические свойства аварийных образцов

Объект исследования	Группа прочности	Твердость, HRC	Предел прочности, $\sigma_в$, МПа	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа
НКТ **Образец №1**	Л ГОСТ 633	25,0 – 28,0	860 – 870	810 – 820
НКТ **Образец №2**	Л ГОСТ 633	29,0 – 31,5	980	810
НКТ **Образец №3**	Л ГОСТ 633	26,5 – 30,5	890	840 – 850
НКТ **Образец №4**	R95 ГОСТ Р 31446	27,0 – 28,0	887 – 890	779 – 800
Патрубок **Образец №5**	R95 ГОСТ Р 31446	21,5 – 25,0	879 – 884	683 – 696
Требования ГОСТ 633-80 к трубам и муфтам группы прочности Л				
–	–	–	≥758	654 – 862
Требования ГОСТ 31446-2017 к трубам и муфтам группы прочности R95				
–	–	–	≥758	655 – 862

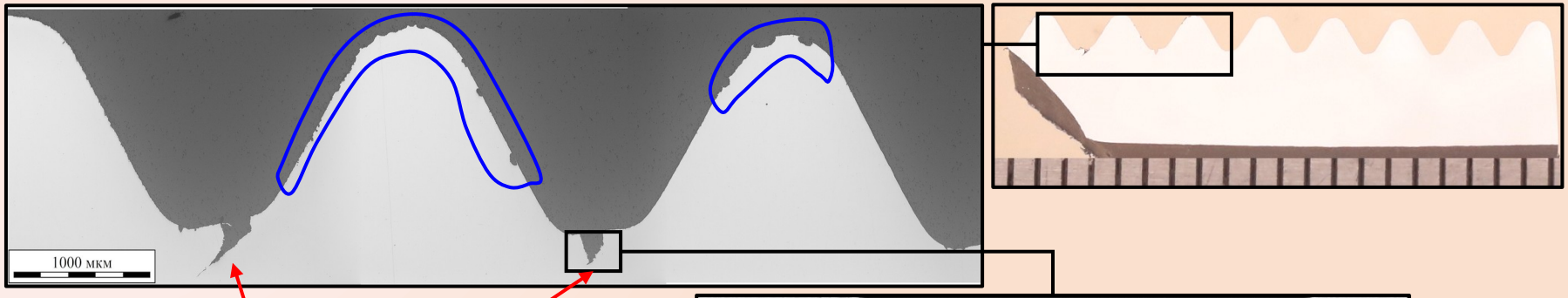
Высокие механические свойства и твердость образцов

Металлография образца №4 (Шлиф #1)



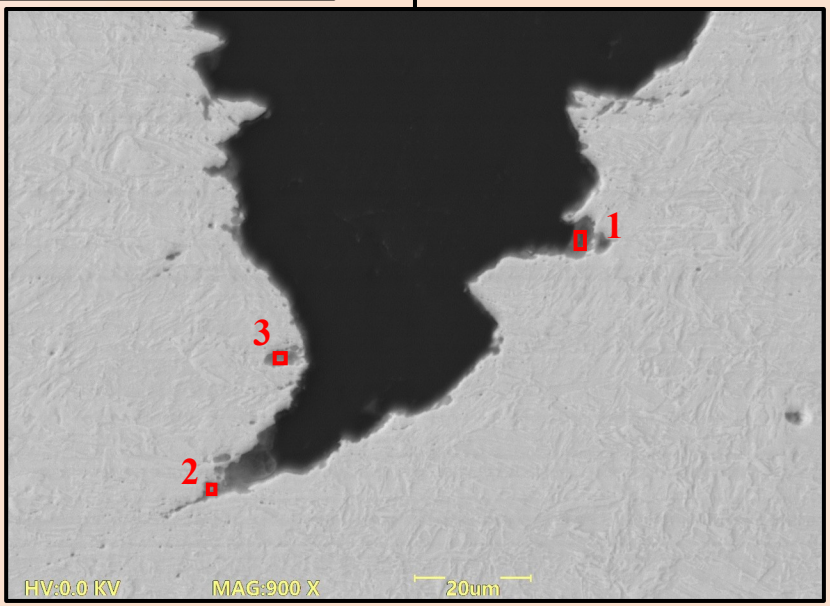
Область измерения	Содержание химических элементов, вес. %						
	C	O	Si	S	Cl	Fe	Mn
1	34.80	35.80	0.20	0.20	0.20	28.40	0.30
2	41.20	26.40	-	0.20	0.20	31.50	0.50
3	41.00	38.00	-	-	0.10	20.90	-
4	40.20	10.00	-	-	-	49.10	0.70
5	36.00	22.80	-	-	0.20	40.60	0.40

Металлография образца №4 (Шлиф #2)



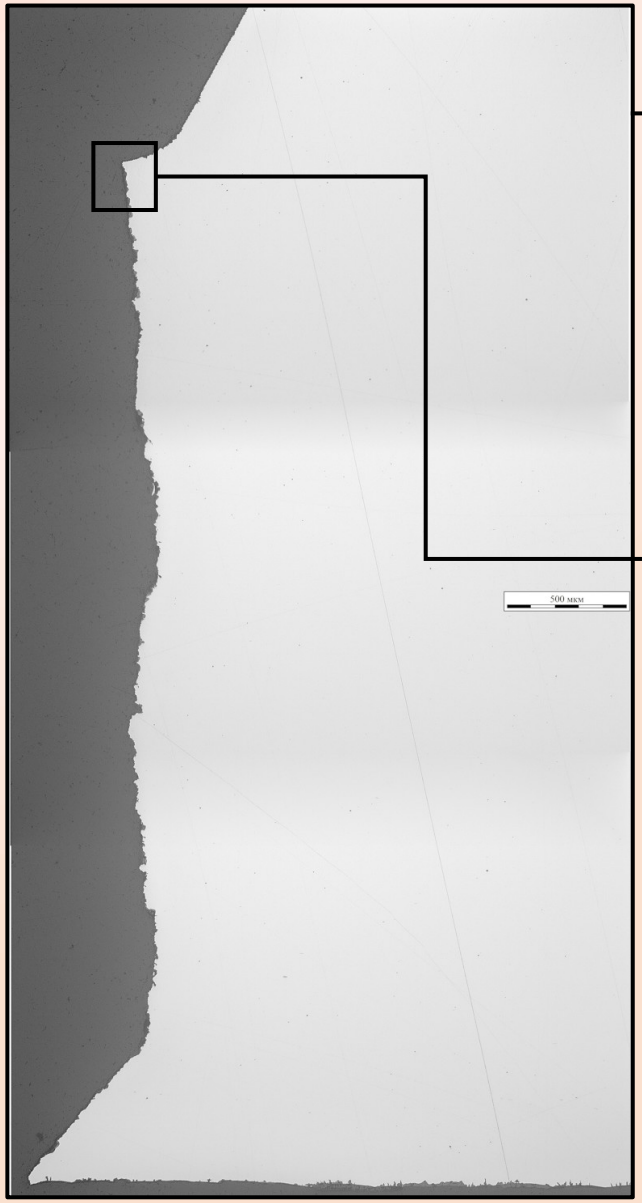
Вторичные трещины

Язвы

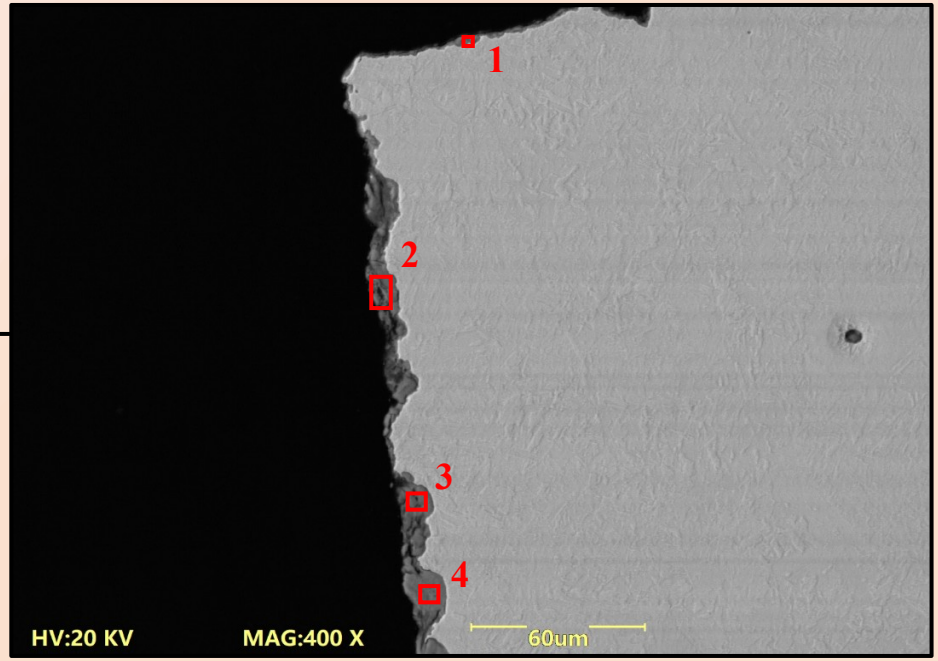


Область измерения	Содержание химических элементов, вес. %							
	C	O	Si	S	Cl	Fe	Mn	Cu
1	37.30	17.00	0.20	0.20	0.40	44.00	0.50	0.40
2	25.30	14.10	0.20	0.20	0.20	58.80	0.60	0.60
3	28.40	19.20	-	-	0.40	50.60	0.90	0.60

Металлография образца №5 (Шлиф #1)





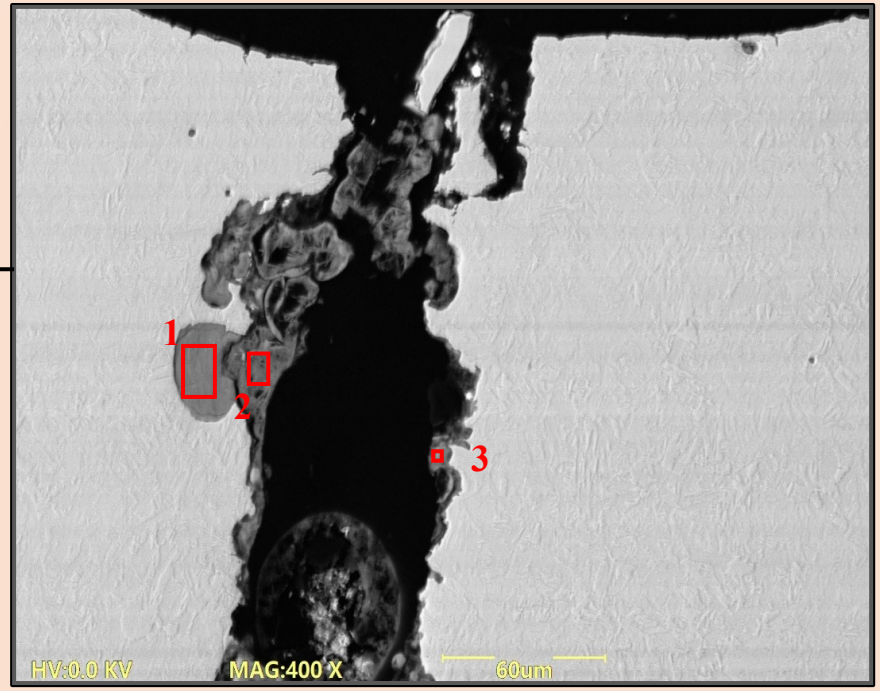


Область измерения	Содержание химических элементов, вес. %									
	C	O	Si	S	Cl	Cr	Fe	Mn	Cu	K
1	32.10	27.40	0.50	0.20	0.10	0.40	38.70	0.20	0.40	-
2	25.10	22.60	0.30	0.20	0.20	0.60	50.30	-	0.60	-
3	26.70	34.40	0.30	0.20	0.20	0.40	37.20	-	0.40	0.10
4	18.70	39.10	0.30	-	0.20	0.30	41.00	-	0.20	0.20

Металлография образца №5 (Шлиф #2)







Вторичные трещины

Область измерения	Содержание химических элементов, вес. %									
	C	O	Si	S	Cl	Cr	Fe	Mn	Cu	K
1	21.80	41.20	0.50	0.20	-	1.30	34.10	0.20	0.40	0.30
2	36.30	35.30	0.20	0.20	0.10	-	27.80	-	-	-
3	26.50	37.10	0.60	-	-	1.20	33.90	0.30	0.20	0.2

Лабораторное моделирование коррозионного воздействия КС на металл НКТ в процессе БОПЗ

Реактивы, применяемые при проведении большеобъёмной обработки призабойной зоны (БОПЗ) (образцы №4,5):

1) Реагент СКО – водный раствор HCl 10% Fe-5000 ppm;

2) Реагент ГКО – водный раствор HCl/HF 10/2% Fe-5000 ppm;

3) Реагент ОХА – Хлорид аммоний NH_4Cl – 4%;

4) Реагент КСПВ – КСПВ на основе HCl/HF 9/1% Fe-2000 ppm.

Последовательность и объем закачки реагентов в пласт через затруб:

1. СКО – 5 м³;

2. ОХА – 2 м³;

3. СКО – 4 м³;

4. ГКО – 6 м³;

5. ОХА – 4 м³;

6. КСПВ – 6 м³ (момент разрушения НКТ);

7. ОХА – 2 м³;

8. СКО – 4 м³;

9. ГКО – 6 м³;

10. ОХА – 3 м³;

11. Закачка продавочной жидкости – 47,7 м³.

Лабораторное моделирование коррозионного воздействия КС на металл НКТ в процессе БОПЗ

По заявлению изготовится КС в реагенты были добавлены стабилизаторы и ингибиторы коррозии, предотвращающие коррозию металла колонны НКТ при $T_{пласт.}$=85°С.

Для подтверждения/опровержения отсутствия коррозионного воздействия растворов была подготовлена лабораторная испытательная установка для последовательного воздействия нагретых реагентов:

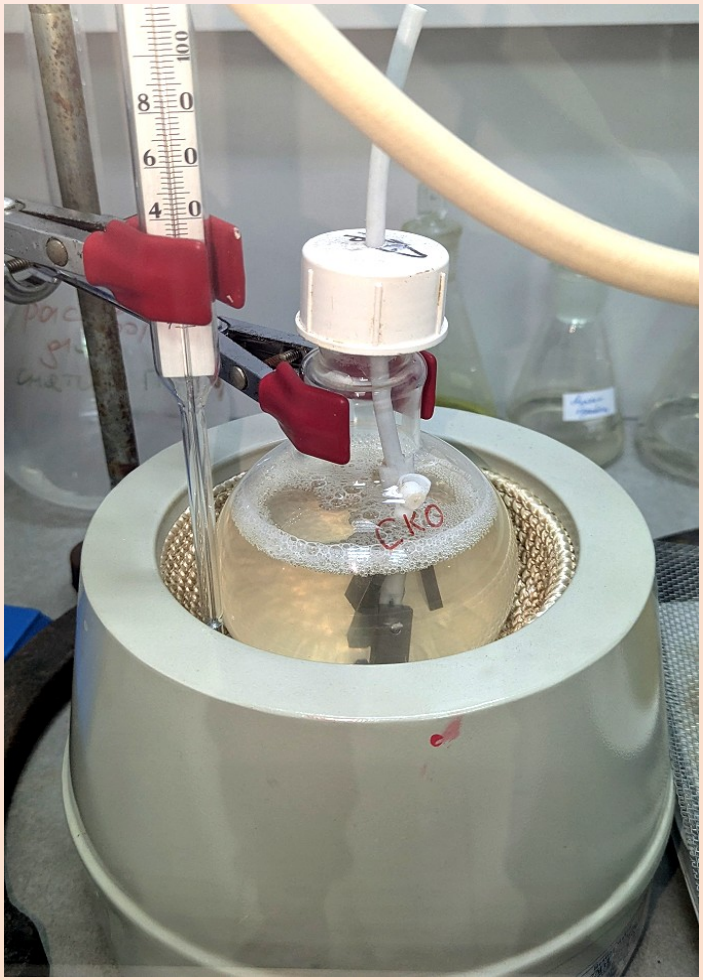


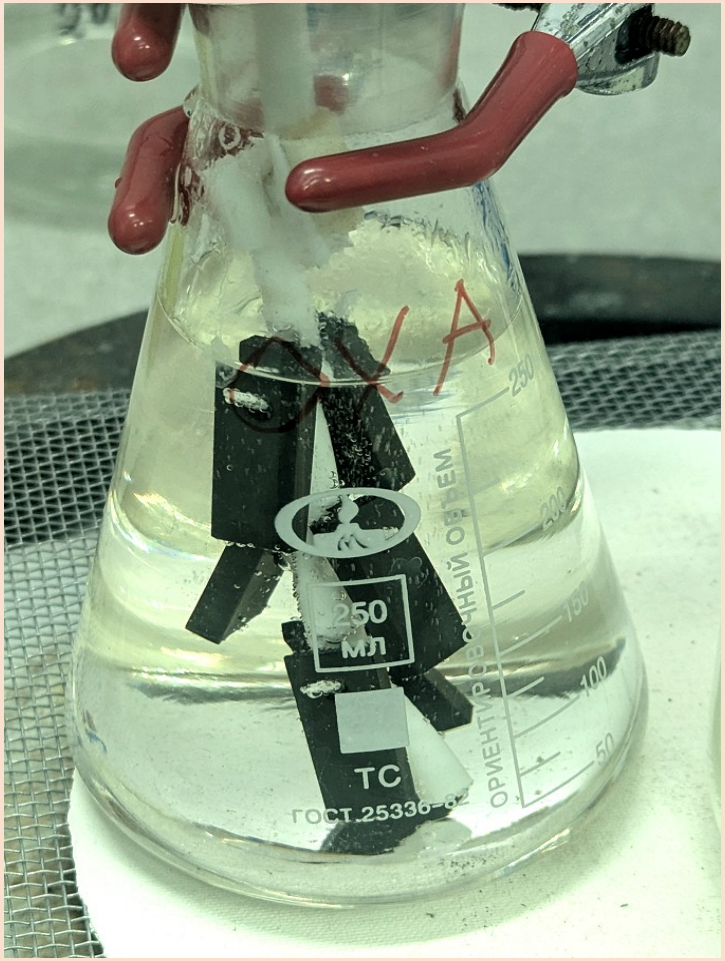
Комплект образцов, вырезанных из аварийной НКТ



СКО **ОХА** **ГКО** **КСПВ**

Лабораторное моделирование коррозионного воздействия КС на металл НКТ в процессе БОПЗ

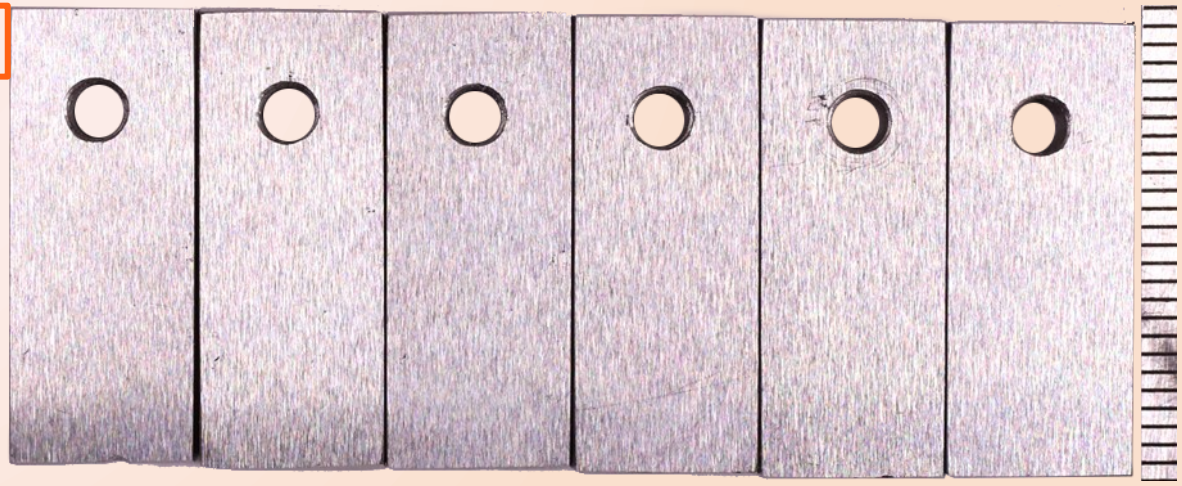




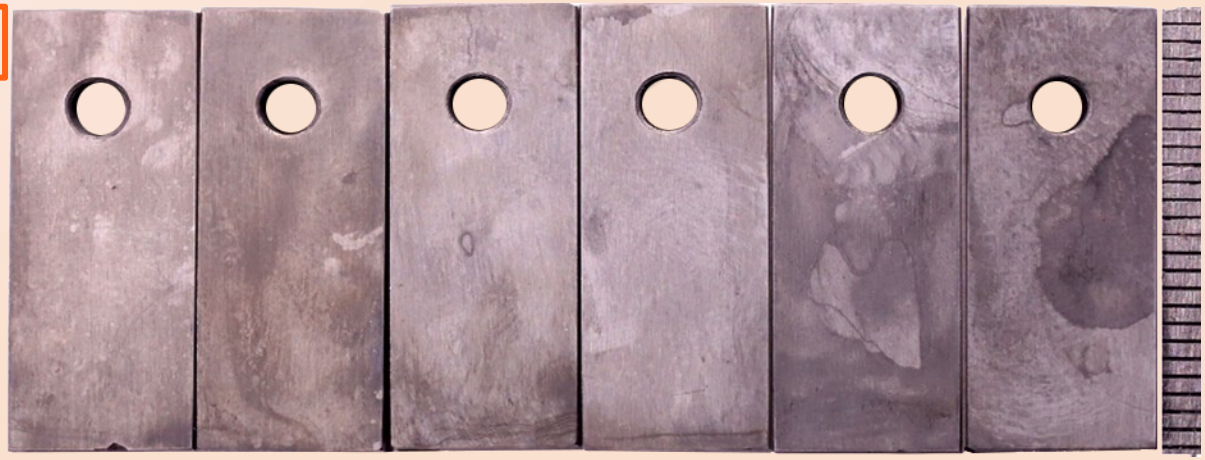
Активная коррозия металла и выделение пузырьков на поверхности образцов в процессе испытания

Лабораторное моделирование коррозионного воздействия КС на металл НКТ в процессе БОПЗ

а)



б)



Вид образцов а) до и б) после лабораторных испытаний

Результаты моделирования воздействия КС на металл НКТ в процессе БОПЗ

Объект исследования	Температура, °С	№ образца	Масса образца до испытаний, г	Масса образца после испытаний, г	Потеря массы, г	Площадь образца, мм²	Потеря массы на ед. площади, г/м²	Скорость коррозии образца, г/м²·ч	Скорость коррозии, мм/год	Средняя скорость коррозии, мм/год
НКТ Образец №4	85 ± 10	1	7,6278	7,6112	0,0166	780,8196	21,2597	5,8567	6,5595	6,615
		2	7,7270	7,7104	0,0166	793,7860	20,9124	5,7610	6,4523	
		3	7,6369	7,6201	0,0168	786,6118	21,3574	5,8836	6,5896	
		4	7,6966	7,6804	0,0162	789,1622	20,5281	5,6551	6,3337	
		5	7,7356	7,7186	0,0170	793,6162	21,3672	5,8863	6,5926	
		6	7,6758	7,6575	0,0183	788,2974	23,2146	6,3952	7,1626	

По результатам лабораторных испытаний, моделирующих технологическую операцию БОПЗ при температуре пласта установлено, что в данных условиях металл колонны НКТ подвергается активному коррозионному повреждению и, как следствие, наводораживанию.

Защитный эффект ингибитора коррозии оказался недостаточным для предотвращения коррозионного повреждения поверхности металла НКТ.

Выводы

- При проведении технологических обработок с рабочей колонной НКТ необходимо учитывать её материальное исполнение (не проводить кислотные обработки с высокопрочными НКТ);
- Необходимо добавлять в КС ингибиторы коррозии с доказанной эффективностью непосредственно перед закачкой в скважину (заводской транспортировочный ингибитор коррозии не защищает колонну НКТ при ОПЗ);
- Для проведения кислотных обработок рекомендуется использовать специальные технологические подвески НКТ из неметаллических материалов (стеклопластиковые НКТ) или гибкие НКТ (колтюбинг).

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

КОЩЕЕВ
Кирилл Игоревич

+ 7 (903) 300-75-16
koscheevki@its-samara.com

