ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
«САМАРА»

Механизмы разрушения антикоррозионных защитных покрытий и методы прогнозирования ресурса эксплуатации

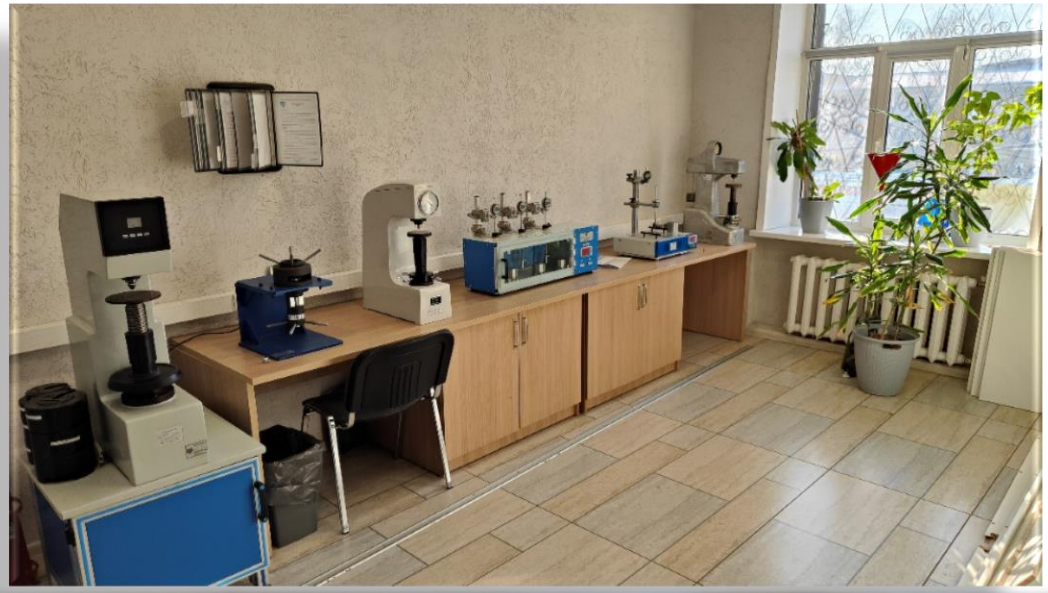
Докладчик:
Директор по развитию , к.х.н. Веревкин Александр

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
«САМАРА»

- С 2005 года оказываем наукоёмкие услуги и производим высокотехнологичное оборудование;
- Более 70 высококвалифицированных сотрудников в Самаре (8 кандидатов наук)
  + 40 сотрудников отдела инспекционного контроля;
- Аккредитация Федеральной службой по аккредитации, НИИ «Транснефть», Интергазсерт, Морской регистр, Арбитражные суды;
- Один из крупнейших центров по исследованиям сталей и покрытий нефтегазопроводных труб;
- Более 100 комплексных исследований и 70 судебных экспертиз в год;
- Более 60 научных работ в области защиты от коррозии,
  9 патентов, внедренных на производстве
  и приносящих прибыль заказчику;
- Область присутствия от Европы (Германия, Англия) до Азии (Узбекистан, Казахстан);
- Собственный конструкторский отдел и производство;

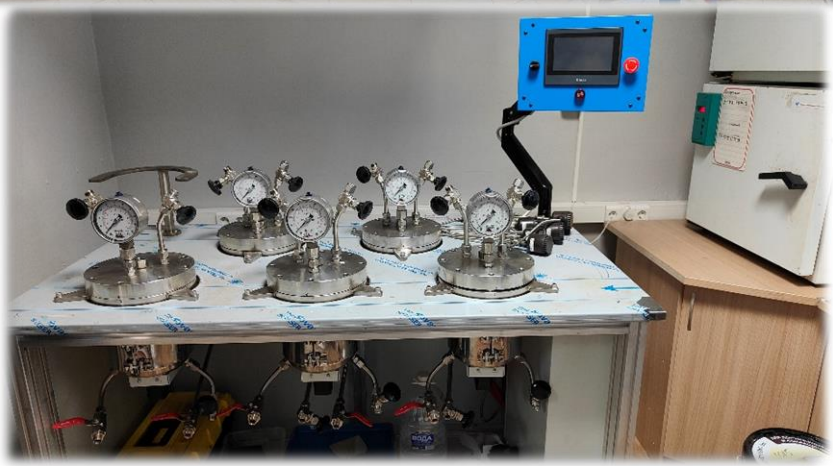
Лаборатория НПЦ Самара

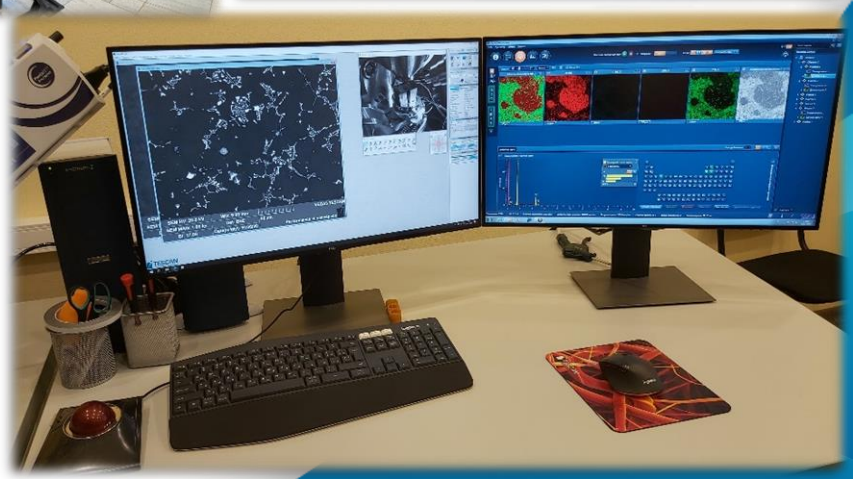












ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Технологические

Брак при производстве труб с покрытием

- дефекты подготовки поверхности;
- дефекты нанесения покрытия и нарушения режимов сушки и полимеризации.

Эксплуатационные

Дефекты, обусловленные технологическими режимами эксплуатации трубопровода или скважины

- превышение температуры эксплуатации;
- высокий газовый фактор;
- воздействие механических примесей.

- обработка химическими реагентами, СКО и другие виды обработки.

Прочие

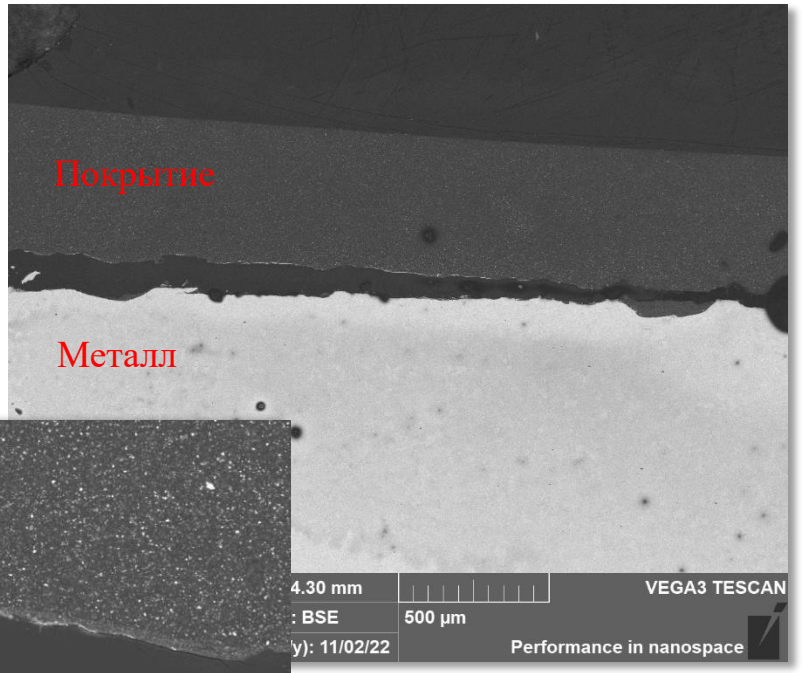
- неправильный подбор материалов под условия эксплуатации;
- дефекты, полученные при СМР или КРС;
- несоблюдение условий транспортировки и хранения.

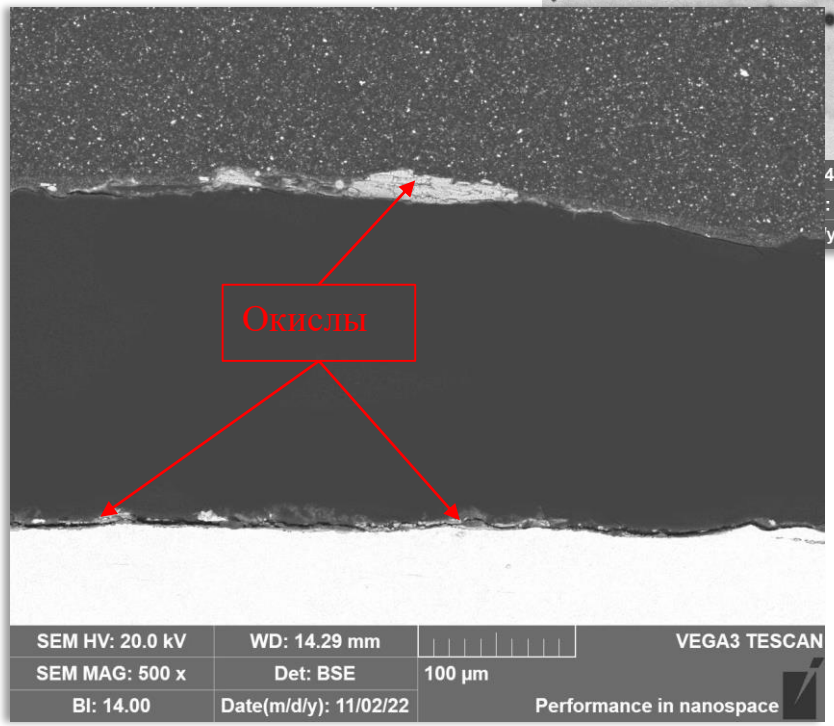
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ

НКТ Ø73,0х5,5 мм









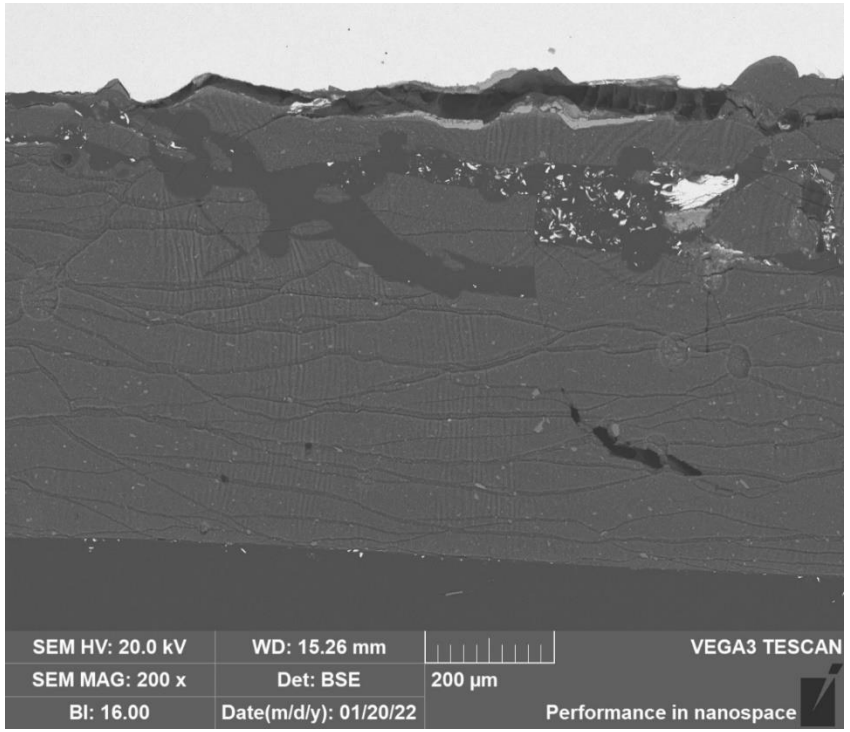
- Масштабные отслоения покрытия
- Наличие окалины под слоем покрытия
- Разрушение адгезионных связей на границе «грунт-металл»

Разрушение внутреннего покрытия вследствие нарушения технологического процесса подготовки поверхности трубы перед окрашиванием

ПРОЧИЕ

Трубопровод Ø325х8 мм





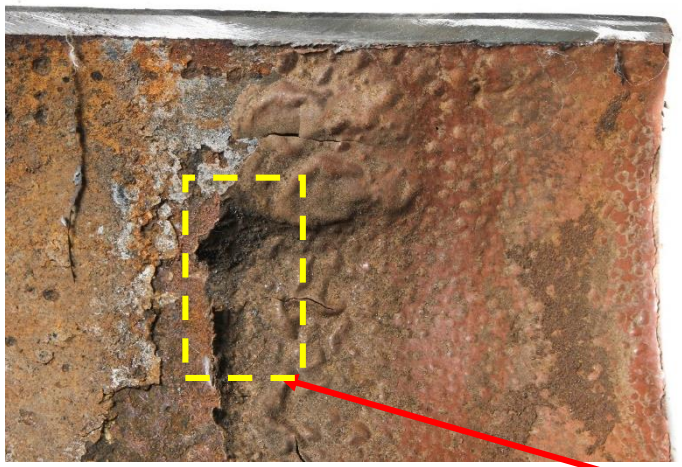
- Внутриобъемные растрескивания
- Изменение структуры покрытия
- Отслоение покрытия
- Локальные прожоги покрытия

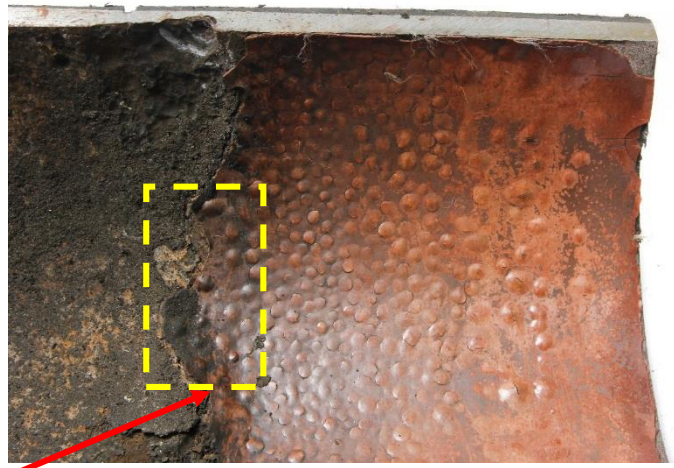
Разрушение внутреннего покрытия вследствие высокотемпературного воздействия в процессе сварки трубопровода

ПРОЧИЕ

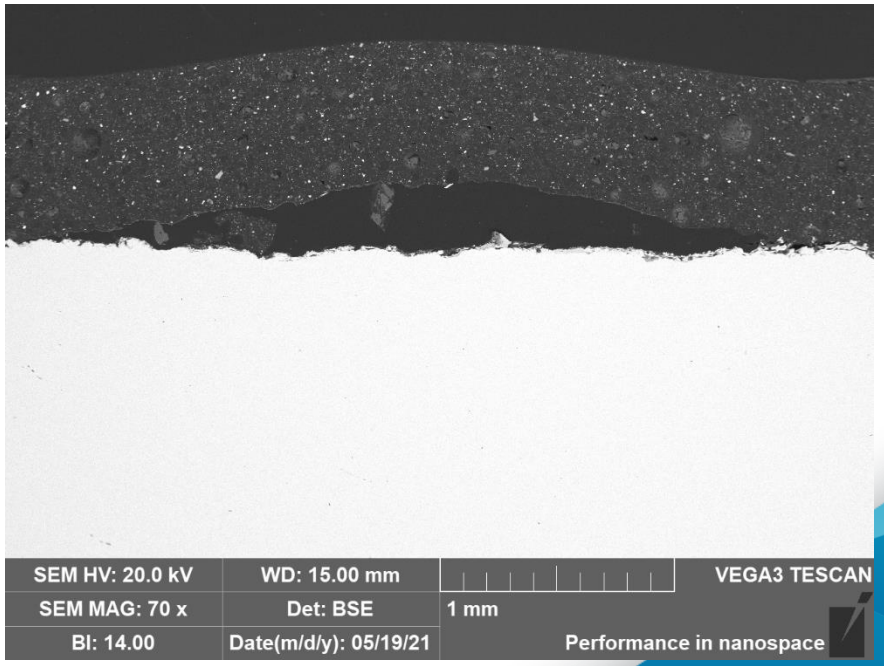
Трубопровод Ø159х8 мм







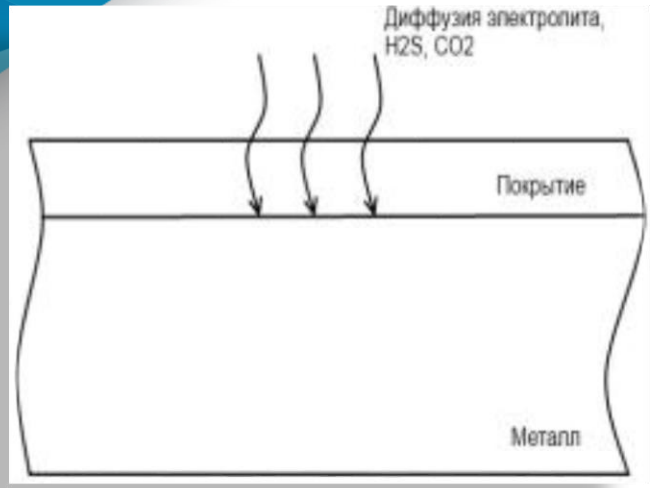
Изменение цвета покрытия



- **Прожоги покрытия**
- **Отсутствие продуктов коррозии под вздутиями покрытия**
- **Диффузия газа к границе «металл-покрытие»**

Разрушение покрытия протекает по механизму декомпрессионного отслаивания в комбинации с локальным термическим воздействием

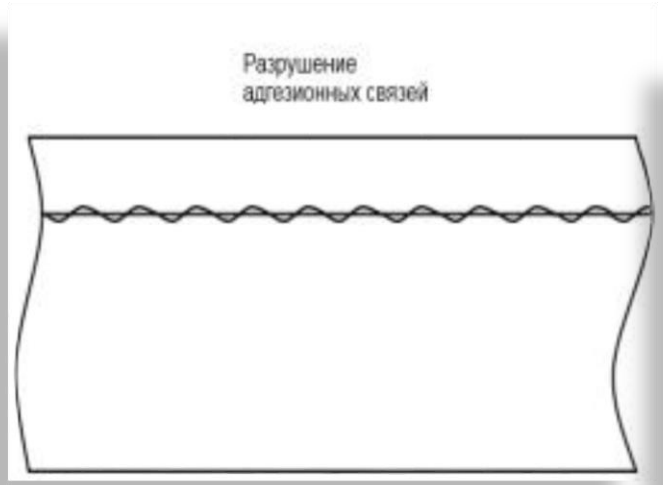
Механизмы разрушения внутренних антикоррозионных покрытий НКТ



$t_{диффузии}$

Основные факторы:

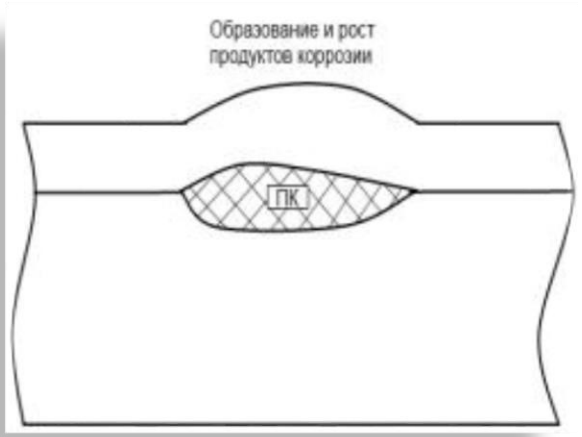
- Барьерные свойства полимерной основы
- Типы наполнителей
- Толщина покрытия



$t_{разрушения\ адгезионных\ связей}$

Основные факторы:

- Сила адгезии



$t_{образования\ продуктов\ коррозии}$

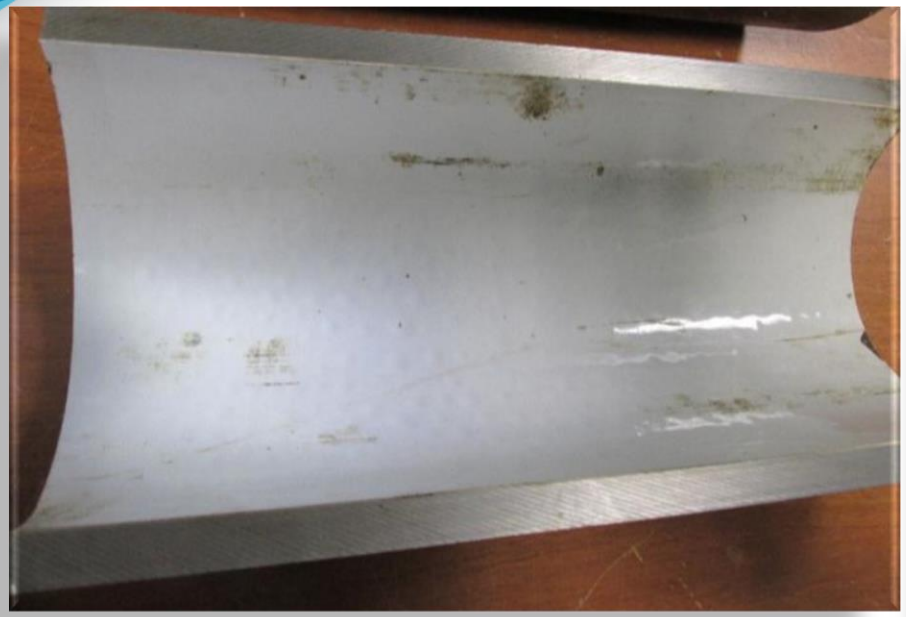
Основные факторы:

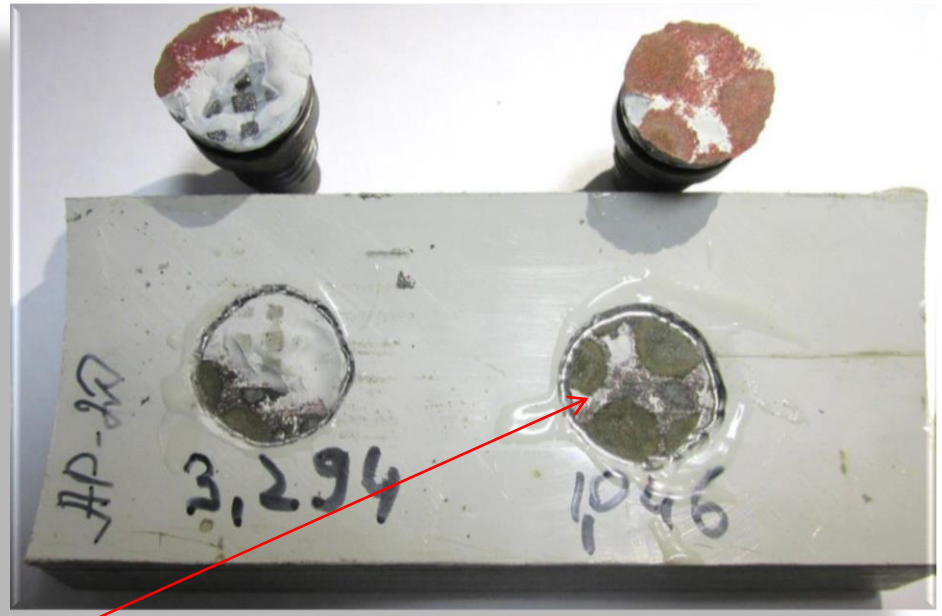
- Скорость массопереноса коррозионно-активных компонентов через покрытие
- Коррозионная стойкость материала подложки

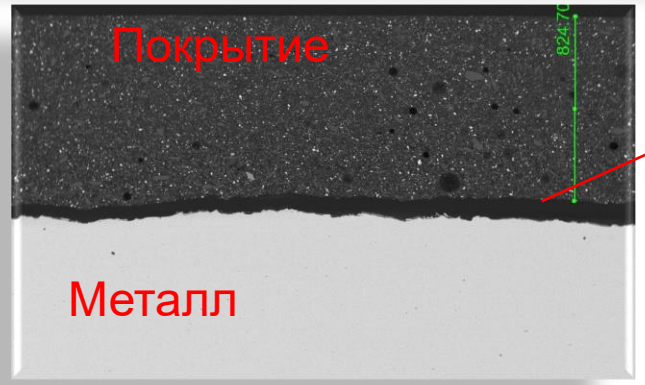


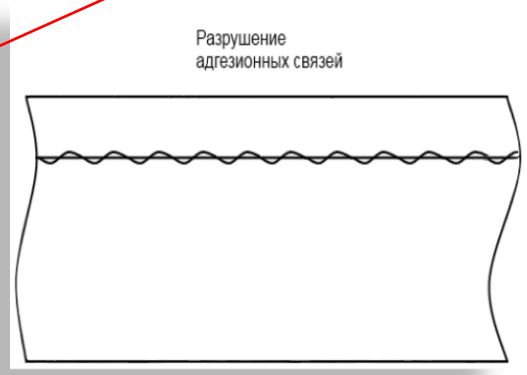
Время работы покрытия (в случае отсутствия других механизмов разрушения) = $t_{диффузии}$ + $t_{разрушения\ адгезионных\ связей}$ + $t_{образования\ продуктов\ коррозии}$

Стадии разрушения внутренних антикоррозионных покрытий





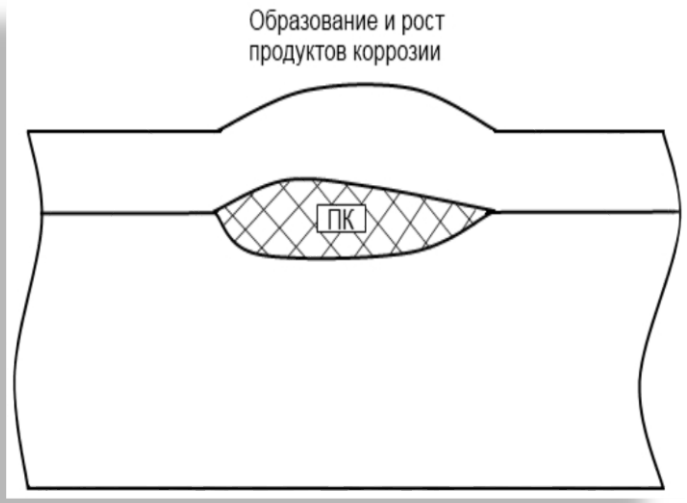


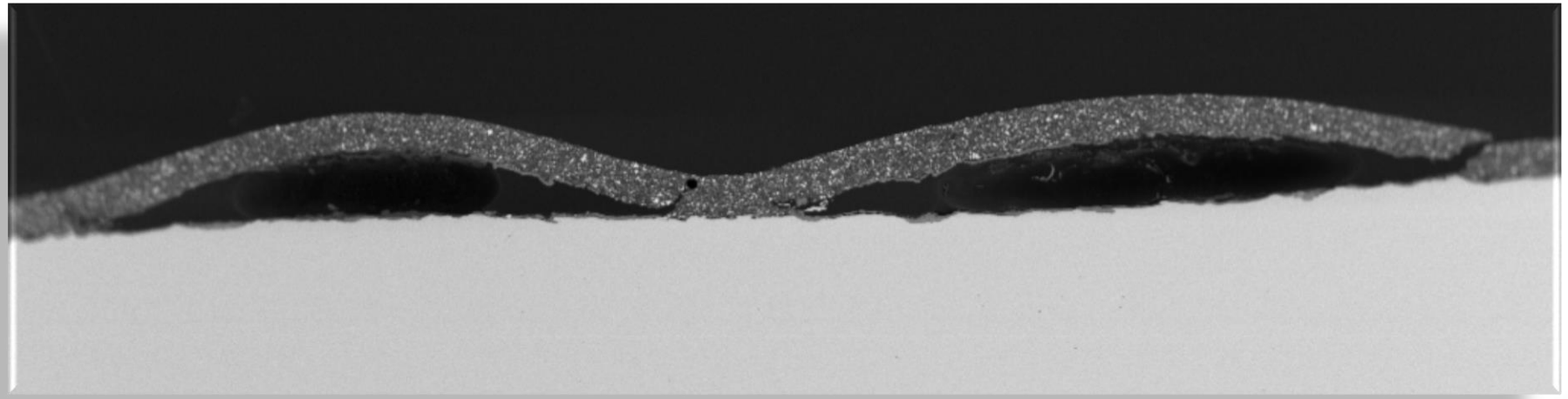


Локальные отслоения и снижение адгезии, вызванные образованием продуктов коррозии под покрытием

Стадии разрушения внутренних антикоррозионных покрытий





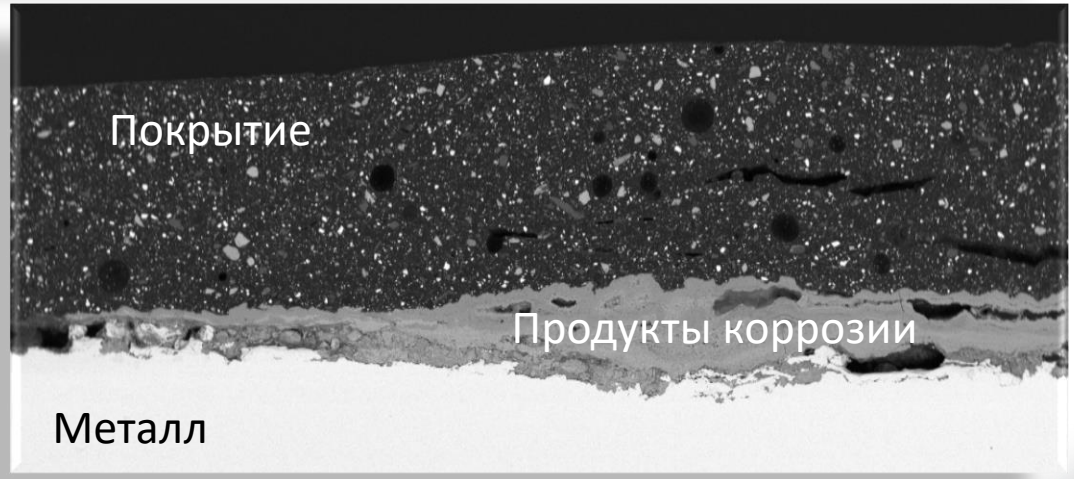


Типичные виды разрушений внутренних антикоррозионных покрытий

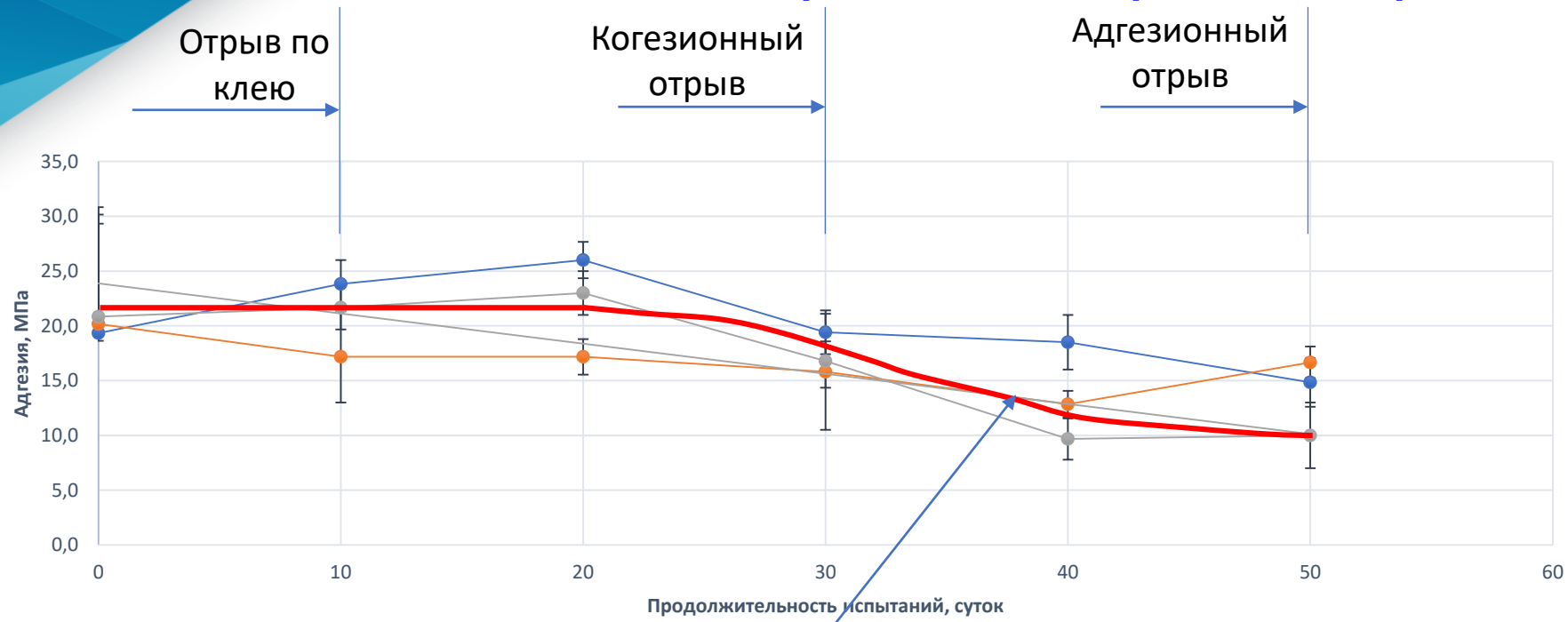






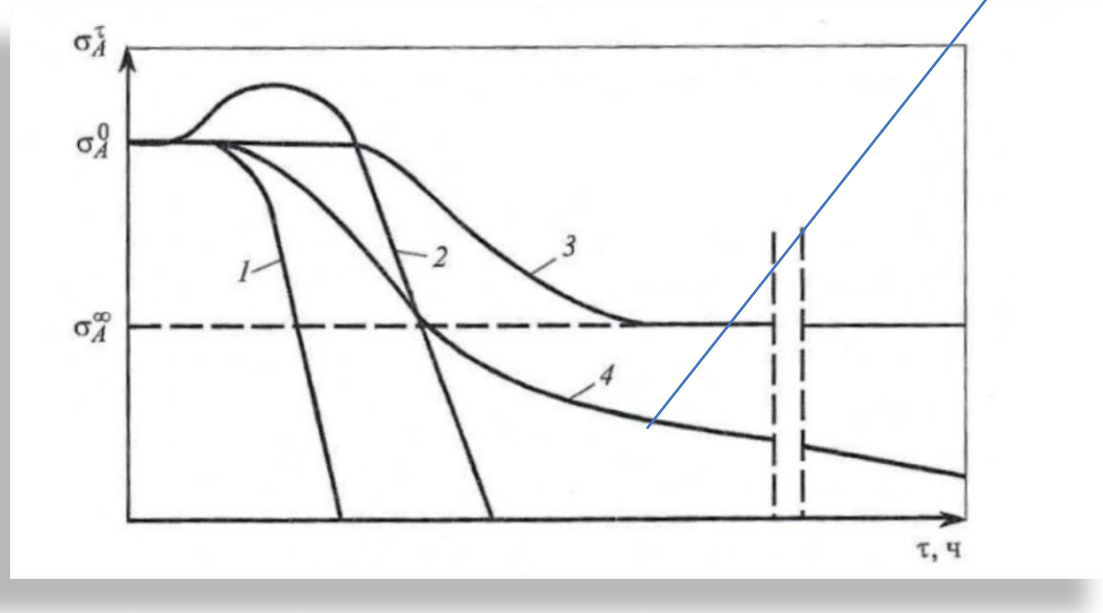


Зависимость адгезионной прочности полимерного покрытия от времени пребывания в агрессивной среде



360 часов автоклавных испытаний

8007+585Т
8007+585
0245+585



1,2 образцы с нестойкой
3 малостойкой
4 стойкой
адгезионной связью

* *Муров, В.А.* Итоги науки и техники. Коррозия и защита от коррозии / В.А. Муров, А.А. Шевченко. – М., 1986. –Т. II. – С. 54

Построение модели зависимости свойств покрытия от большого количества факторов

Задача: прогнозирование свойств покрытий в условиях эксплуатации с помощью результатов лабораторных испытаний

Содержат, но не ограничиваются

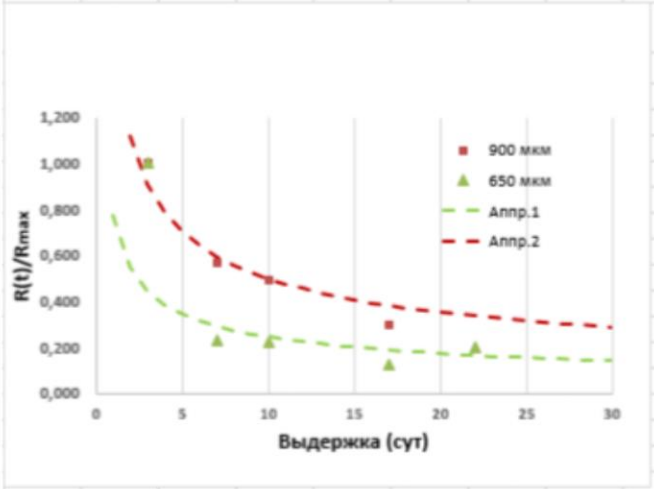
1. **Контролируемые свойства покрытия в исходном состоянии (до эксплуатации)**
    1. Адгезия
    2. EIS-спектры (Диаграммы Найквиста и Боде)
    3. ИК-спектры защитных покрытий
    4. Стойкость покрытия при изгибе
    5. Потеря массы покрытия при истирании
    6. Диэлектрическая сплошность покрытия
2. **Условия эксплуатации покрытия**
    1. Температура, общее давление в системе, расход/скорость потока
    2. Парциальные давления CO_2 и H_2S.
    3. КВЧ
    4. Минерализация
3. **Условия проведения испытаний покрытий**
    1. Время выдержки покрытия в условиях эксплуатации
    2. Изменение свойств покрытия в условиях эксплуатации
4. **Контролируемые свойства покрытия в результате нахождения в условиях эксплуатации**
    1. Адгезия
    2. EIS-спектры (Диаграммы Найквиста и Боде)
    3. ИК-спектры защитных покрытий
    4. Стойкость покрытия при изгибе
    5. Потеря массы покрытия при истирании
    6. Диэлектрическая сплошность покрытия

Построение модели зависимости свойств покрытия от большого количества факторов



Построение модели зависимости свойств покрытия от большого количества факторов

Толщина слоя		Выдержка (сут)				
см	мкм	3	7	10	17	22
0,03	300	1,54E+08	5,30E+07	7,50E+07	6,13E+07	1,46E+08
		1,00	0,35	0,49	0,40	0,95
0,065	650	5,70E+08	1,30E+08	1,25E+08	7,00E+07	1,13E+08
		1,00	0,23	0,22	0,12	0,20
0,09	900	2,08E+09	1,18E+09	1,03E+09	6,25E+08	1,45E+09
		1,00	0,57	0,49	0,30	0,70
0,11	1100	1,35E+09	2,50E+09	2,25E+09	6,95E+08	2,63E+09
		1,00	1,85	1,67	0,51	1,94



Переходное сопротивление

1/t (сек)-1			1,65E-06	1,1574E-06	6,80828E-07	5,261E-07	
Время выдержки (сут)			7	10	17	22	
0,03	300	300	2,45E-09	8,5631E-10	7,55256E-10	1,025E-10	1,04E-09
0,065	650	650	2,64E-08	1,9955E-08	3,74306E-08	1,12E-08	2,37E-08
0,09	900	900	8,22E-09	7,5581E-09	3,59744E-09	1,717E-09	5,27E-09
0,11	1100	1100	1,14E-09	9,8943E-10	6,10001E-09	3,304E-10	2,14E-09
			9,54E-09	7,3397E-09	1,19708E-08	3,337E-09	

$$\frac{C(h,t)}{C_0} = \frac{h}{2\sqrt{\pi D t}}$$

t (сут)	C0	h (см)	D x10(+9) (см2/с)	APPR1
1	0,950	0,065	6,50	0,7739359
2	0,950	0,065	6,50	0,5472553
3	0,950	0,065	6,50	0,4468321
4	0,950	0,065	6,50	0,3869679
5	0,950	0,065	6,50	0,3461147
6	0,950	0,065	6,50	0,3159580
7	0,950	0,065	6,50	0,2925203
8	0,950	0,065	6,50	0,2736277
9	0,950	0,065	6,50	0,2579786
10	0,950	0,065	6,50	0,2447400
11	0,950	0,065	6,50	0,2333505
12	0,950	0,065	6,50	0,2234160
13	0,950	0,065	6,50	0,2146512
14	0,950	0,065	6,50	0,2068431
15	0,950	0,065	6,50	0,1998294
16	0,950	0,065	6,50	0,1934840
17	0,950	0,065	6,50	0,1877070
18	0,950	0,065	6,50	0,1824184
19	0,950	0,065	6,50	0,1775531
20	0,950	0,065	6,50	0,1730573
21	0,950	0,065	6,50	0,1688867
22	0,950	0,065	6,50	0,1650037
23	0,950	0,065	6,50	0,1613768
24	0,950	0,065	6,50	0,1579790
25	0,950	0,065	6,50	0,1547872
26	0,950	0,065	6,50	0,1517813
27	0,950	0,065	6,50	0,1489440
28	0,950	0,065	6,50	0,1462601
29	0,950	0,065	6,50	0,1437163
30	0,950	0,065	6,50	0,1413007

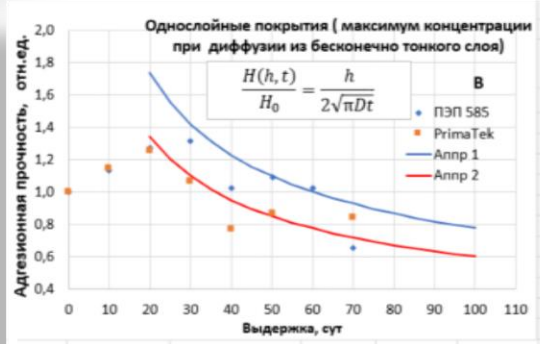
t (сут)	C0	h (см)	D x10(+9) (см2/с)	APPR1
	0,950	0,090	3,00	#ДЕЛ/0!
2	0,950	0,090	3,00	1,1153603
3	0,950	0,090	3,00	0,9106879
4	0,950	0,090	3,00	0,7886789
5	0,950	0,090	3,00	0,7054158
6	0,950	0,090	3,00	0,6439536
7	0,950	0,090	3,00	0,5961852
8	0,950	0,090	3,00	0,5576802
9	0,950	0,090	3,00	0,5257859
10	0,950	0,090	3,00	0,4988043
11	0,950	0,090	3,00	0,4755912
12	0,950	0,090	3,00	0,4553439
13	0,950	0,090	3,00	0,4374803
14	0,950	0,090	3,00	0,4215666
15	0,950	0,090	3,00	0,4072720
16	0,950	0,090	3,00	0,3943394
17	0,950	0,090	3,00	0,3825654
18	0,950	0,090	3,00	0,3717868
19	0,950	0,090	3,00	0,3618707
20	0,950	0,090	3,00	0,3527079
21	0,950	0,090	3,00	0,3442077
22	0,950	0,090	3,00	0,3362938
23	0,950	0,090	3,00	0,3289018
24	0,950	0,090	3,00	0,3219768
25	0,950	0,090	3,00	0,3154715
26	0,950	0,090	3,00	0,3093453
27	0,950	0,090	3,00	0,3035626
28	0,950	0,090	3,00	0,2980926
29	0,950	0,090	3,00	0,2929080
30	0,950	0,090	3,00	0,2879848

$$\frac{R(t)}{R_{max}} = \frac{h}{4}\sqrt{\frac{\pi}{Dt}}$$

t (сут)	C0	h (см)	D x10(+9) (см2/с)	APPR1

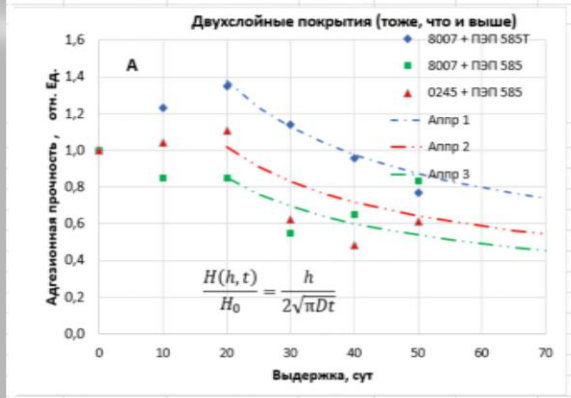
t (сут)	C0	h (см)	D x10(+9) (см2/с)	APPR1

Построение модели зависимости свойств покрытия от большого количества факторов



t (сут)	Co	h (см)	D x10(10) (см2/с)	Const	APPR1
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,2000	1,0	#ДЕЛ/0!
20	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,7361111
25	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,5528250
30	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,4175288
35	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,3123766
40	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,2276159
45	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,1574074
50	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,0980131
55	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,0469144
60	1,000	0,050	1,2000	1,0	1,0023442
65	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,9630212
70	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,9279904
75	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,8965239
80	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,8680556
85	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,8421376
90	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,8184106
95	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,7965824
100	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,7764125
500	1,000	0,050	1,2000	1,0	0,3472222

t (сут)	Co	h (см)	D x10(10) (см2/с)	Const	APPR1
	0,080	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
	0,080	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,0500	2,0000	1,0	#ДЕЛ/0!
20	1,000	0,0500	2,0000	1,0	1,3447859
25	1,000	0,0500	2,0000	1,0	1,2028131
30	1,000	0,0500	2,0000	1,0	1,0980131
35	1,000	0,0500	2,0000	1,0	1,0165626
40	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,9509072
45	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,8965239
50	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,8505173
55	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,8109364
60	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,7764125
65	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,7459530
70	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,7188183
75	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,6944444
80	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,6723929
85	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,6523170
90	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,6339381
95	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,6170301
100	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,6014065
500	1,000	0,0500	2,0000	1,0	0,2689572



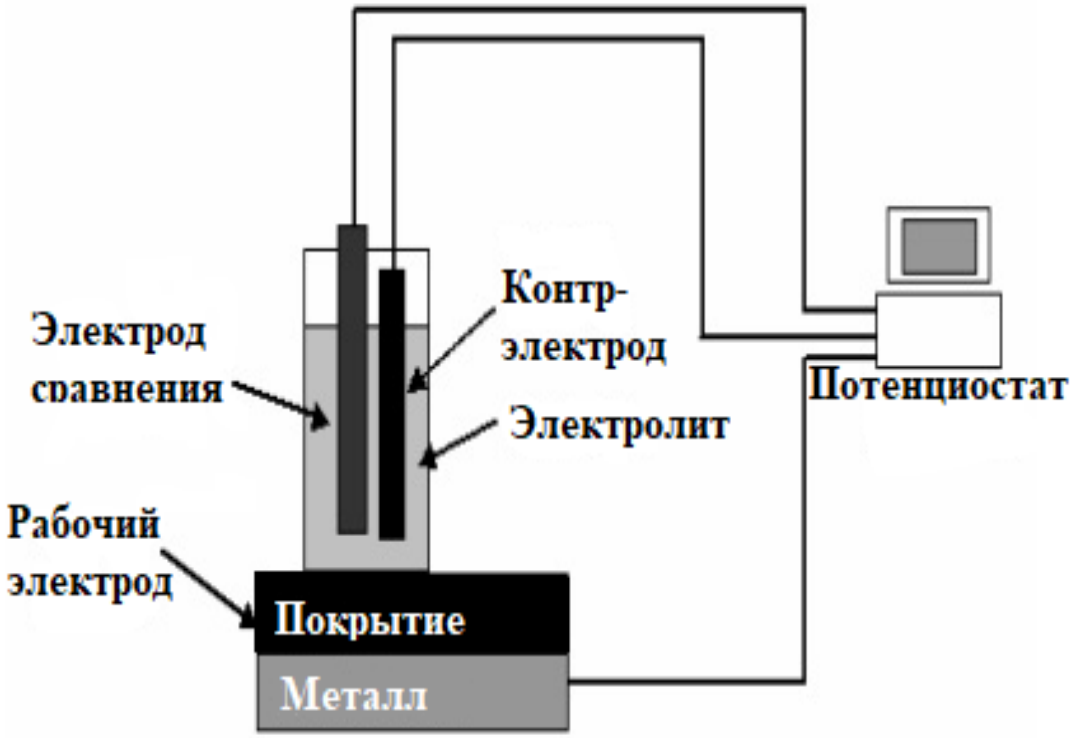
t (сут)	Co	h (см)	D x10(10) (см2/с)	Const1	APPR1
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	1,9000	1,0	#ДЕЛ/0!
20	1,000	0,050	1,9000	1,0	1,3797212
25	1,000	0,050	1,9000	1,0	1,2340602
30	1,000	0,050	1,9000	1,0	1,1265376
35	1,000	0,050	1,9000	1,0	1,0429712
40	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,9756102
45	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,9198141
50	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,8726123
55	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,8320032
60	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,7965824
65	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,7653316
70	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,7374920
75	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,7124850
80	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,6898606
85	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,6692631
90	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,6504068
95	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,6330595
100	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,6170301
500	1,000	0,050	1,9000	1,0	0,2759442

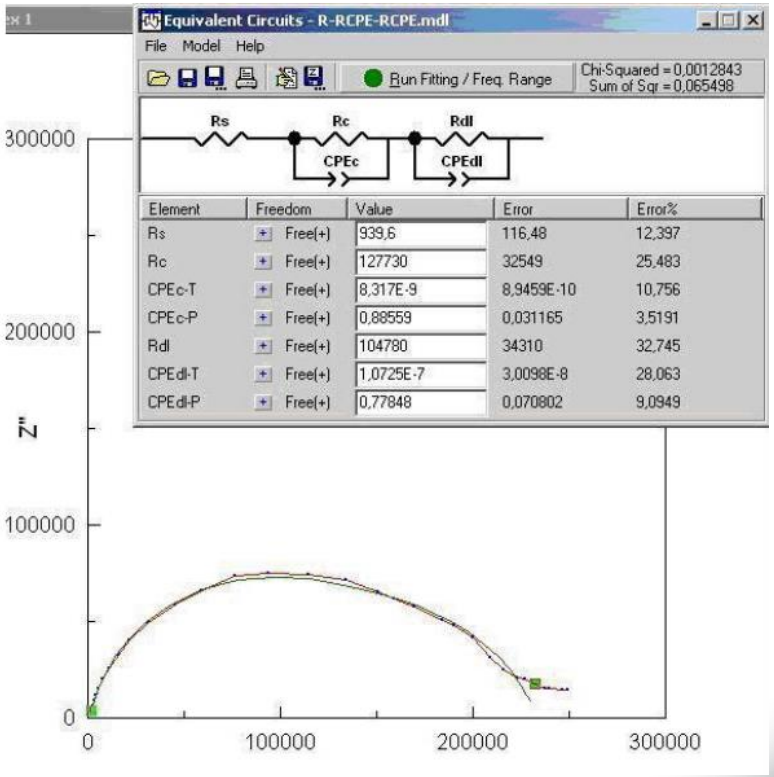
t (сут)	Co	h (см)	D x10(10) (см2/с)	Const2	APPR2
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
	1,000	0,050	3,5000	1,0	#ДЕЛ/0!
20	1,000	0,050	3,5000	1,0	1,0165626
25	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,9092412
30	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,8300199
35	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,7684491
40	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,7188183
45	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,6777084
50	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,6429306
55	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,6130103
60	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,5869127
65	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,5638875
70	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,5433756
75	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,5249507
80	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,5082813
85	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,4931053
90	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,4792122
95	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,4664309
100	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,4546206
500	1,000	0,050	3,5000	1,0	0,2033125

Адгезионная прочность

EIS спектроскопия как один из основных инструментов исследования покрытий

Электрохимическая импедансная спектроскопия (EIS) широко применяется для исследования антикоррозионных покрытий за счет ее способности оценивать целостность, проницаемость и адгезию покрытий к металлическим основаниям. Используя EIS, можно выявлять наличие микропор, трещин или других дефектов в покрытии, которые могут способствовать коррозии под покрытием. Этот метод позволяет изучать долговременную защитную эффективность антикоррозионных покрытий, предоставляя ценную информацию для разработки новых материалов и технологий защиты от коррозии.



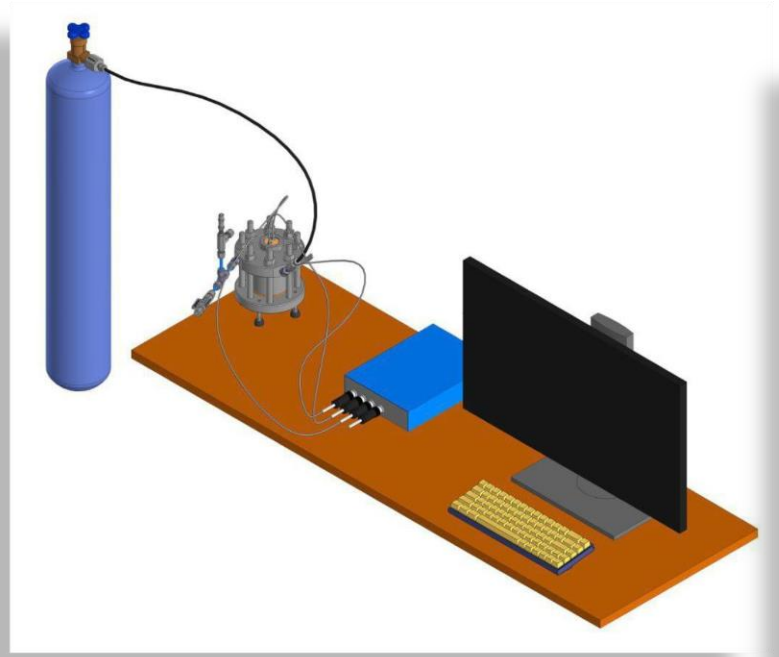


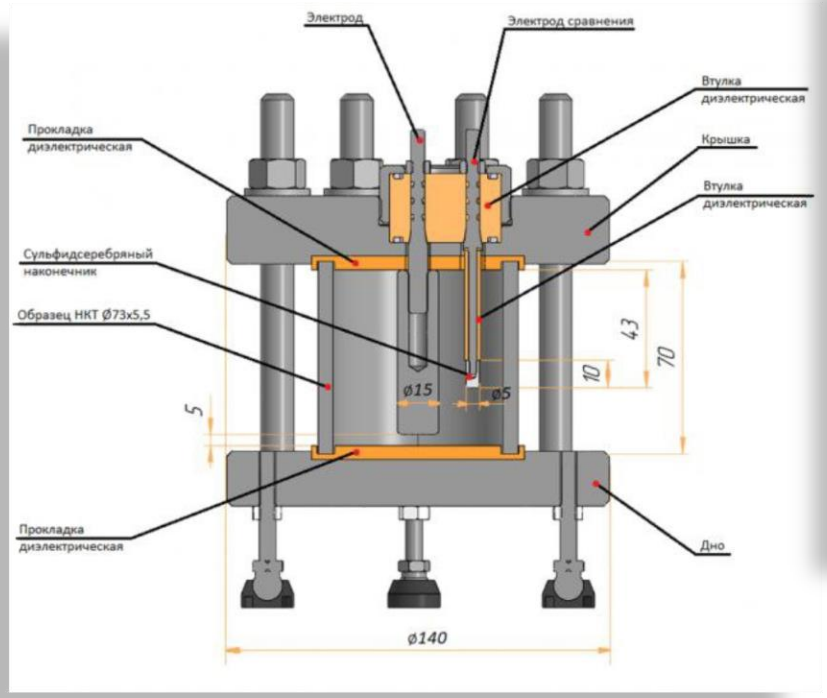
EIS спектроскопия как один из основных инструментов исследования покрытий

Процесс разрушения

Расшифровка диаграмм, полученных методом EIS, позволит получить следующие данные о состоянии покрытия:

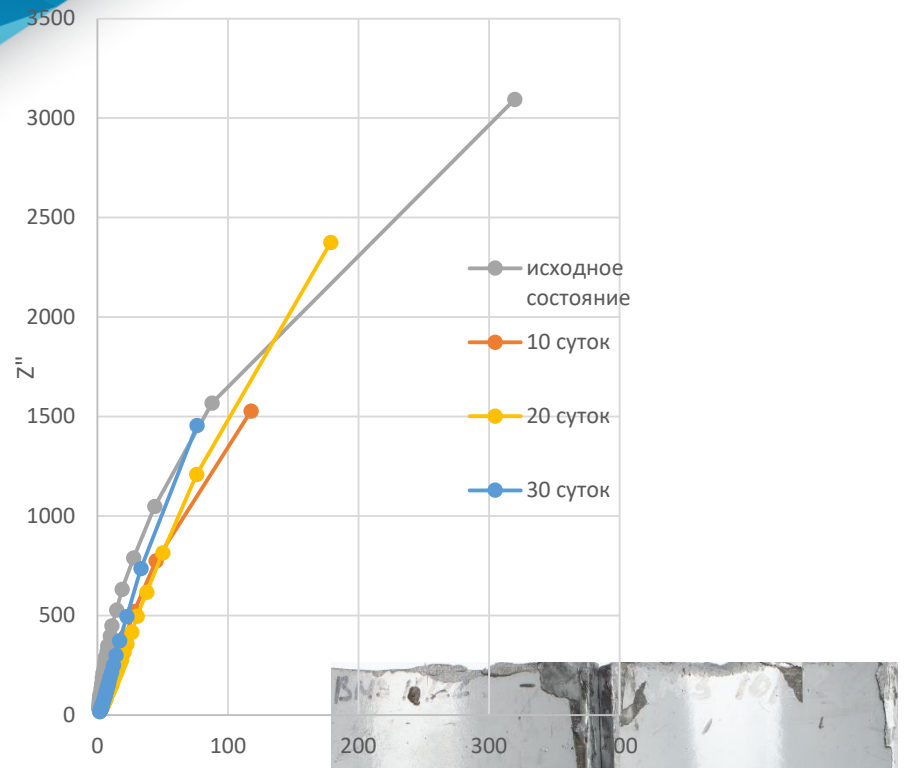
- Покрытие без видимых повреждений и нарушений барьерных свойств
- В покрытии происходит процесс водопоглащения
- Покрытие полностью пропитано водой
- Нарушение барьерных свойств покрытия
- Начало процесса коррозии на металле под покрытием
- Развитие коррозионного процесса под покрытием
- Разрушение защитного покрытия





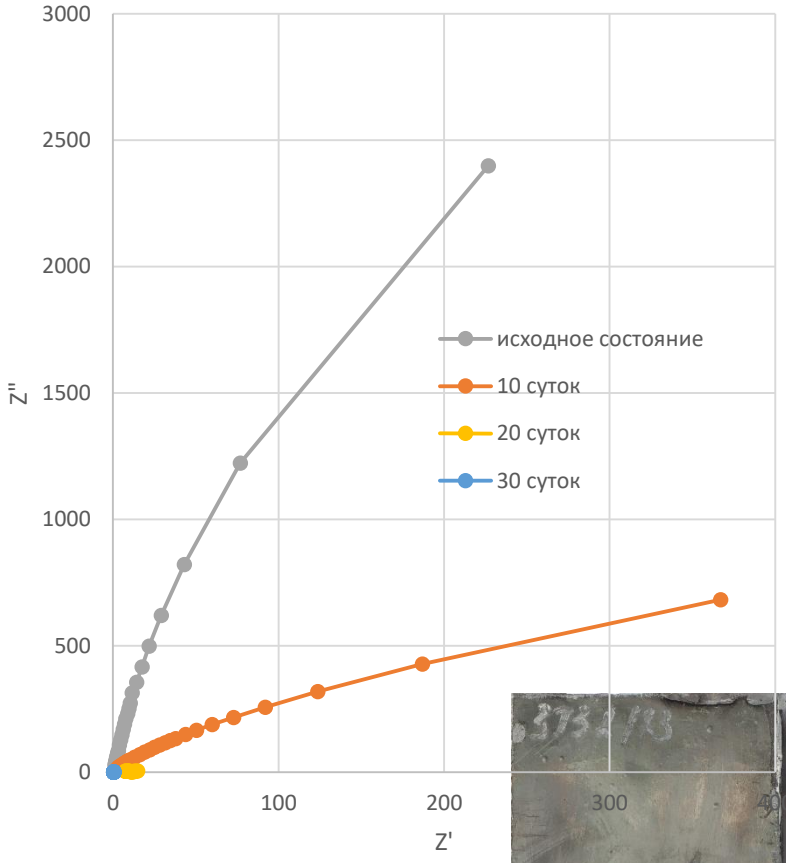


EIS спектроскопия как один из основных инструментов исследования покрытий



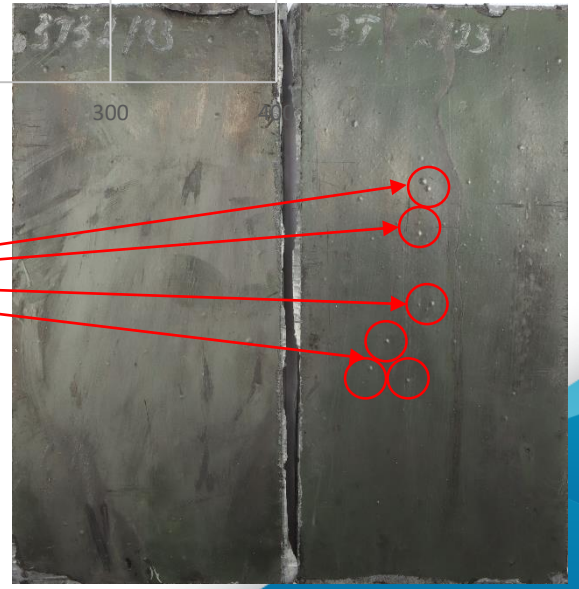


После выдержки в автоклаве в течение 10 суток
30 МПа отрыв по клею



Многочисленные вздутия

После выдержки в автоклаве в течение 10 суток
18 МПа когезионное разрушение



НПЦ САМАРА

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
«САМАРА»

Готовы к решению новых задач!

Тел. +7 (846) 932-03-23
Сайт: www.npcsamara.ru
E-mail: office@npcsamara.ru