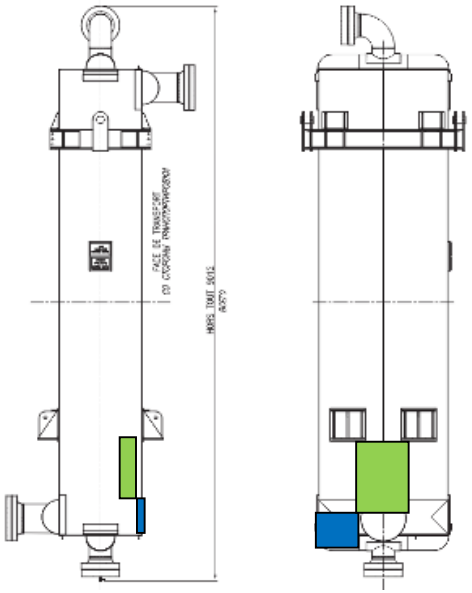
ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

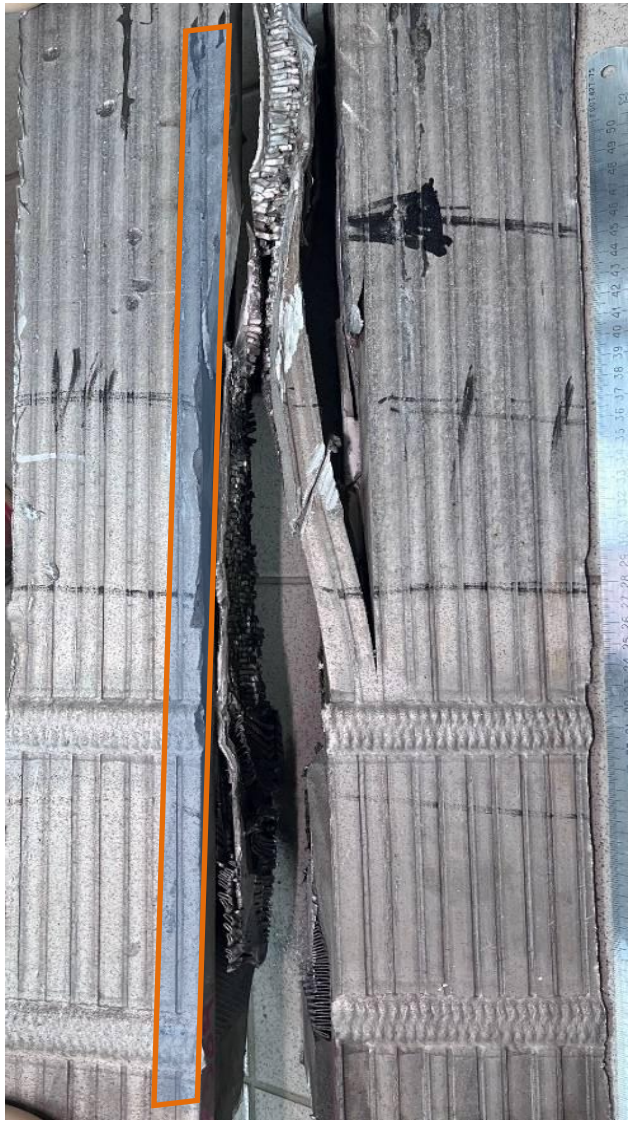
Коррозионно-механическое разрушение алюминиевого пластинчатого теплообменного аппарата

Докладчик:
Руководитель ДСМ ООО «ИТ-Сервис», к.т.н.
Чистопольцева Елена Александровна

Очаг разрушения алюминиевого пластинчатого теплообменного аппарата









Место вырезки образцов для исследования

Химический состав и механические характеристики элементов теплообменного аппарата

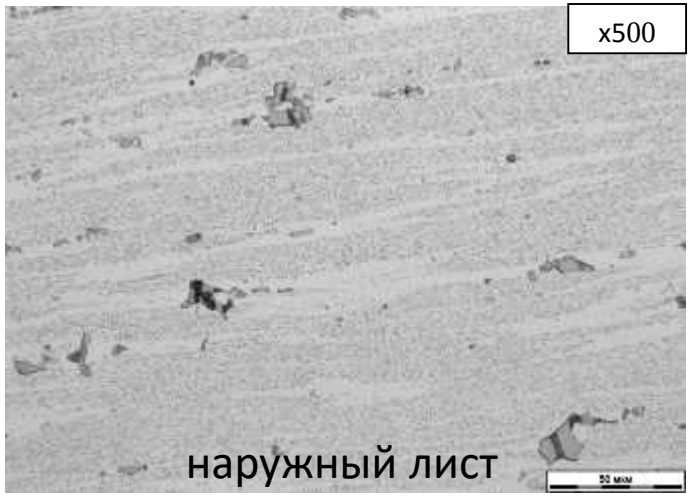
Химический состав

Маркировка	Al	Si	Fe	Mn	Cu
наружный лист	Осн.	0,15	0,3	0,8	0,06
разделительный лист	Осн.	0,16	0,4	0,8	0,08
Требования к материалу из паспорта объекта Сплав АМц (3003)	Осн.	не более 0,2	-	не более 1,1	Не более 0,06

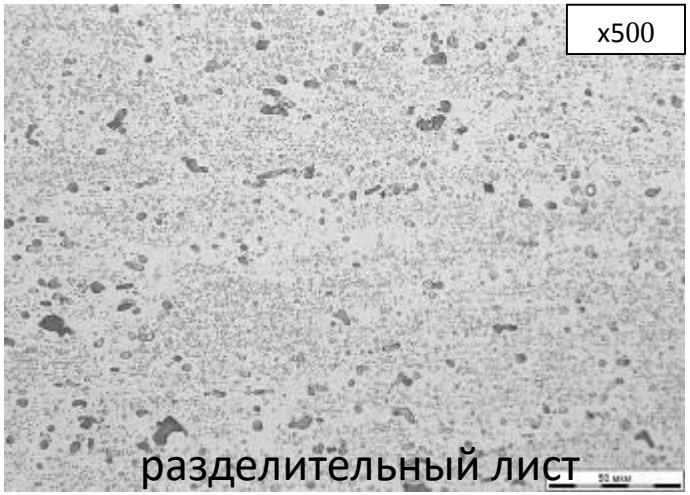
Механические свойства

Маркировка образца	Предел прочности, $\sigma_в$, МПа	Предел текучести, $\sigma_т$ МПа	Относительное удлинение, δ, %
наружный лист	319,3	-	17,9
разделительный лист	113,3	-	29,4
Требования к материалу из паспорта объекта*	От 103-323	24-203	17-54

Микроструктура



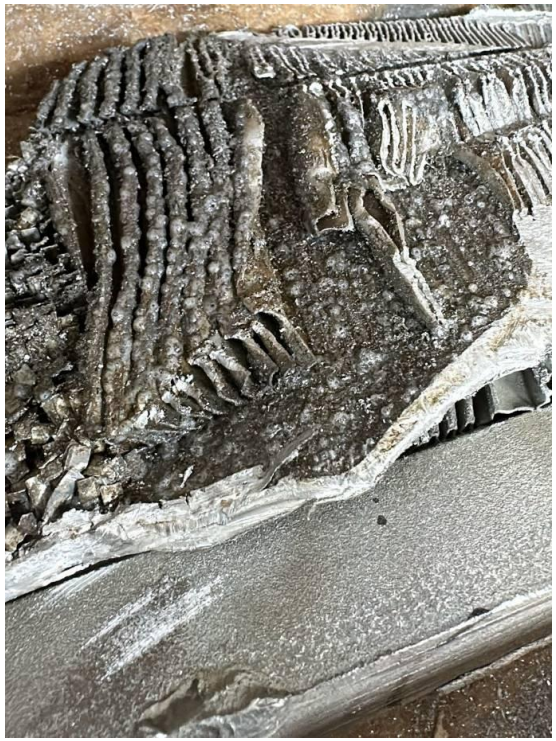
наружный лист



разделительный лист

Поверхность разрушения теплообменного аппарата

Поверхность с каплями жидкости



Поверхность разрушения после высыхания



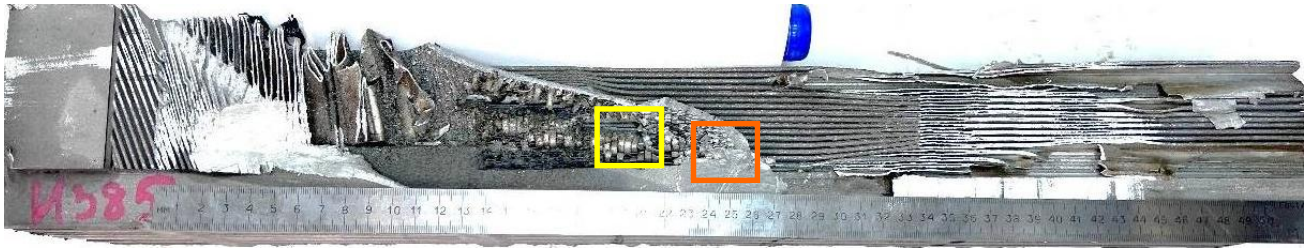
Загрязнения в промежуточных слоях

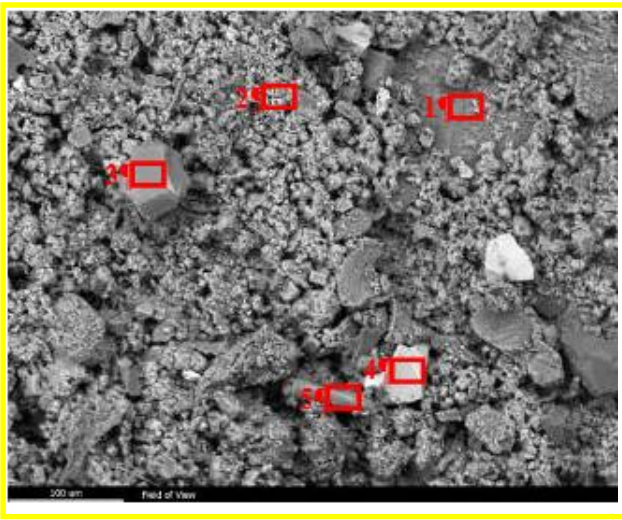


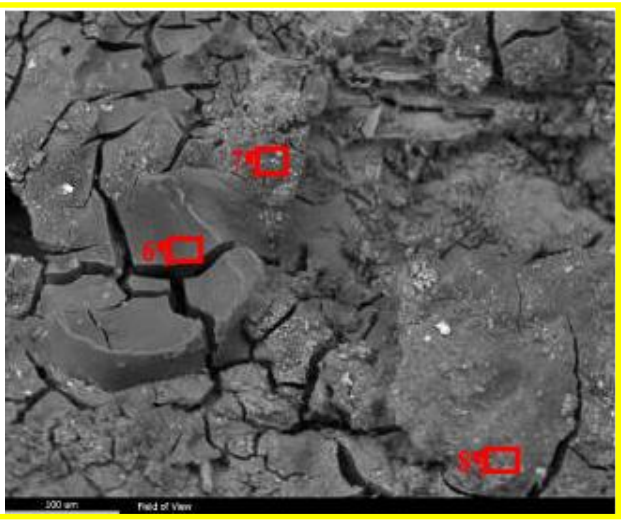


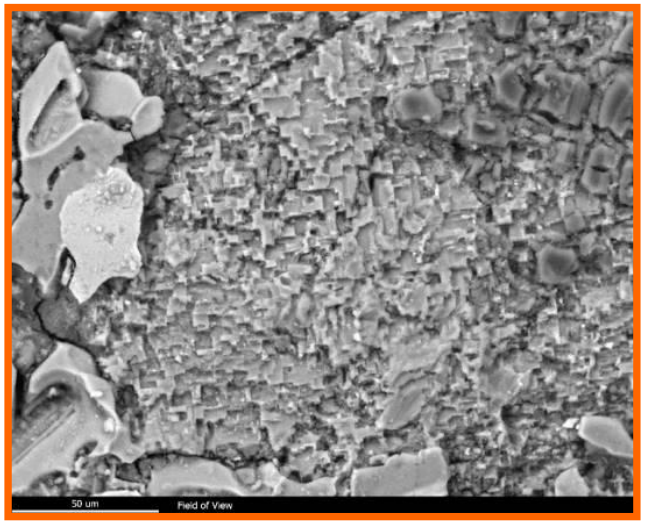
Результаты оценки pH

Продукты коррозии на поверхности разрушения теплообменного аппарата



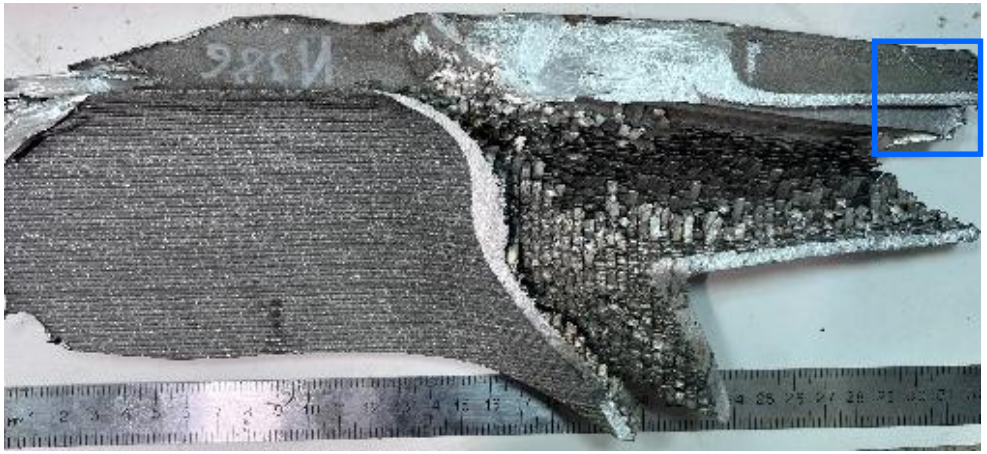


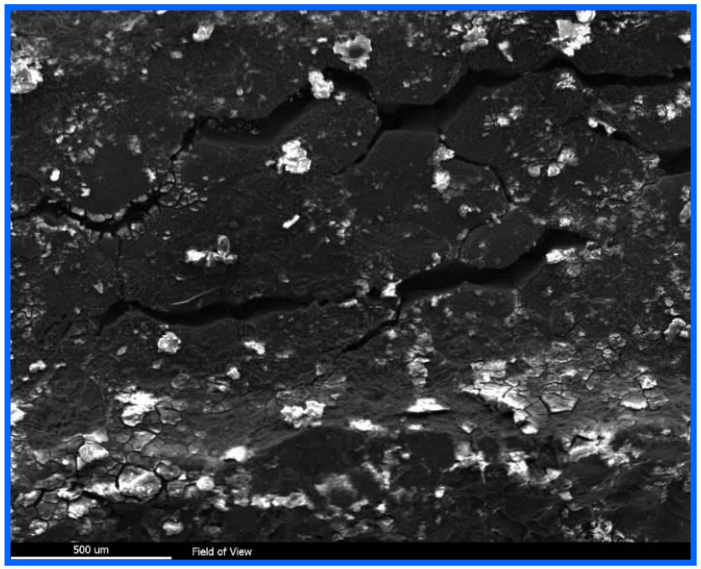


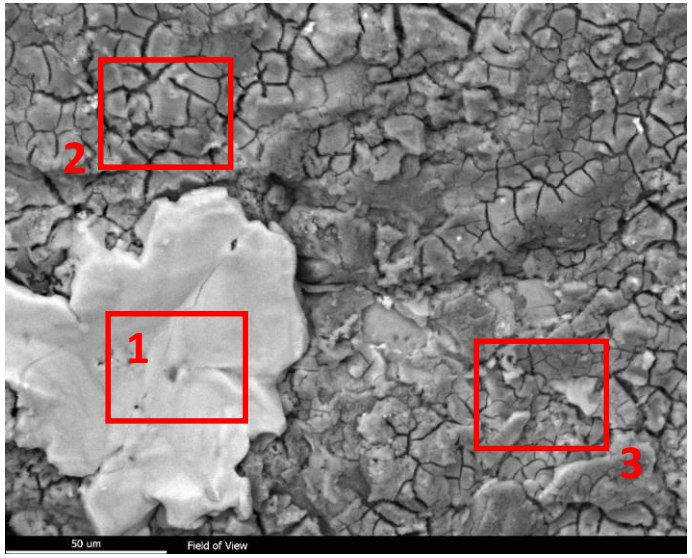


№п/п	C	O	Na	Al	Mg	Si	S	Cl	K	Ca	Fe
1	0	09,31	0	80,66	0	0	0	07,11	0	02,93	0
2	10,14	13,39	08,98	07,78	02,29	01,06	0	39,69	01,55	13,01	02,11
3	0	40,96	0	59,04	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	01,25	0	0	53,29	0	0	0	45,47
5	16,18	30,62	04,79	07,56	01,46	12,27	0	15,94	00,62	09,26	01,30
6	13,59	35,31	0	12,67	0	0	0	26,79	0	02,31	09,33
7	09,40	36,86	00,96	15,92	00,94	0	01,25	09,69	0	03,04	21,95
8	15,30	43,22	01,12	16,22	00,88	0	00,76	09,98	0	03,35	09,16

Продукты коррозии на поверхности разрушения теплообменного аппарата



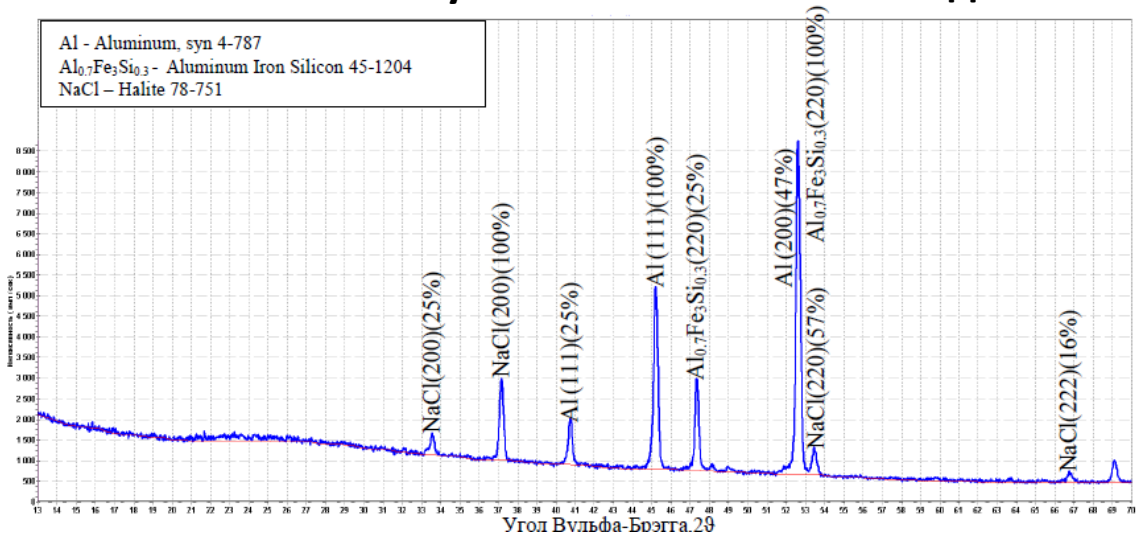




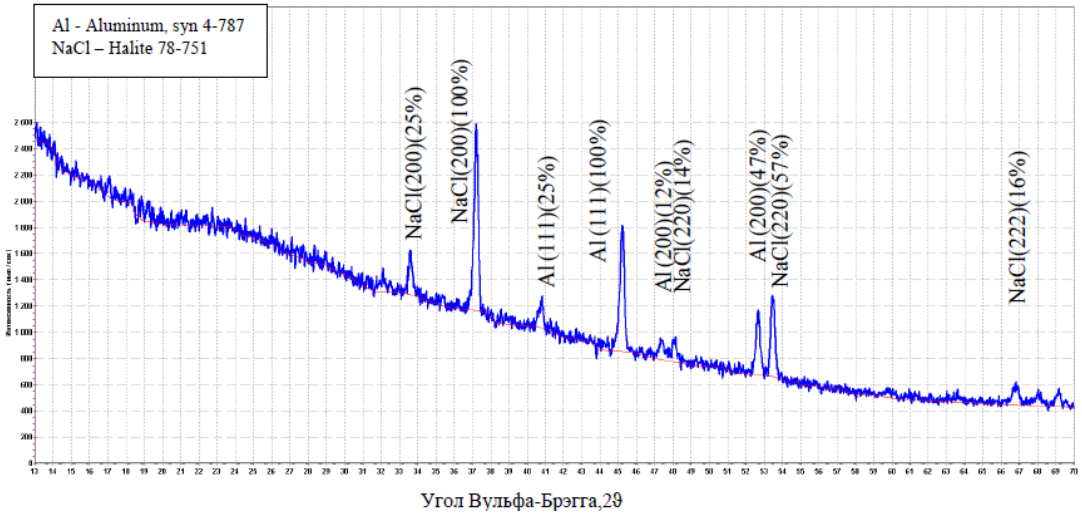
№п/п	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe
1	0	0	37,09	0	0	0	62,91	0	0	0
2	06,55	29,57	01,11	04,90	27,67	01,90	11,14	00,98	12,87	03,31
3	06,78	24,93	0	01,39	22,42	34,55	05,08	0	04,85	0

Продукты коррозии на поверхности разрушения теплообменного аппарата

Фазовый состав сухого остатка капель жидкости

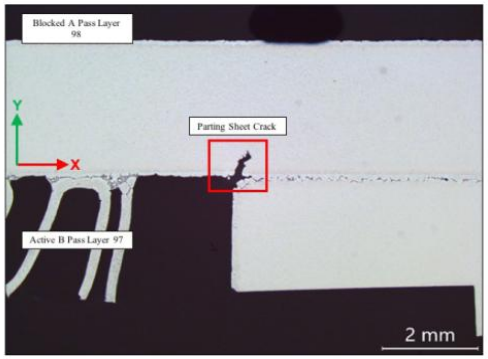


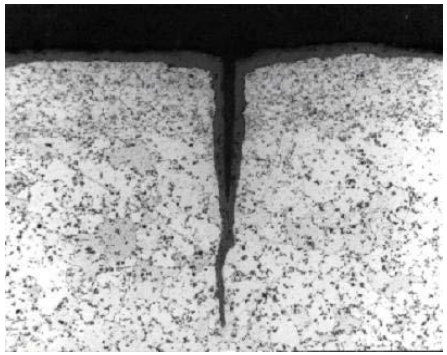
Фазовый состав с поверхности ламелей

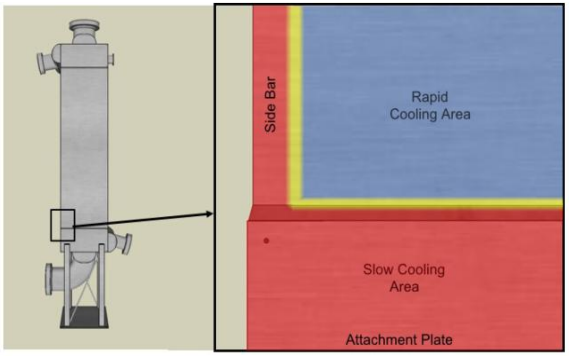


Гипотеза о термическом ударе как основной причине разгерметизации

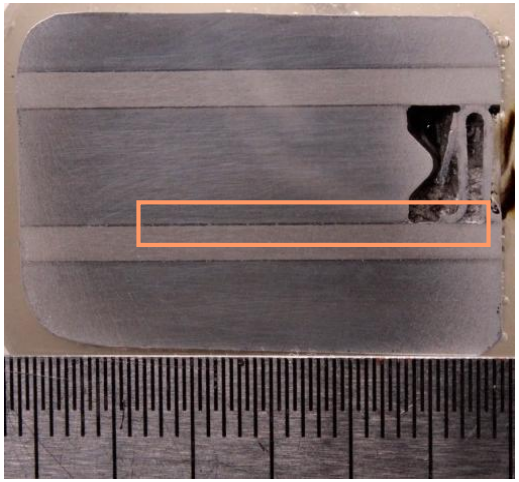
Примеры трещин термической усталости

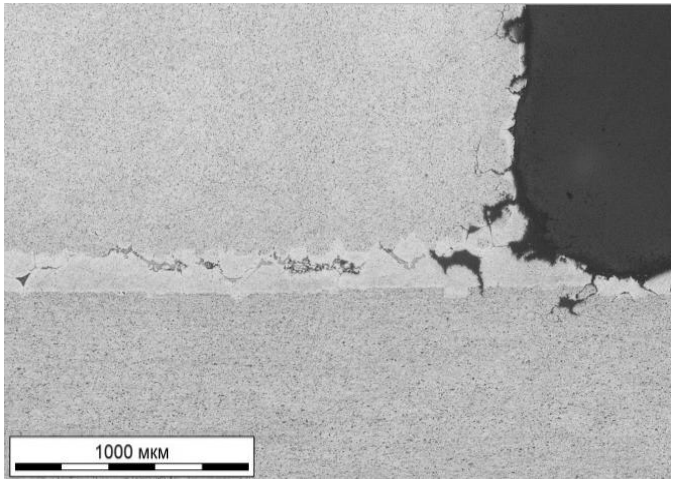


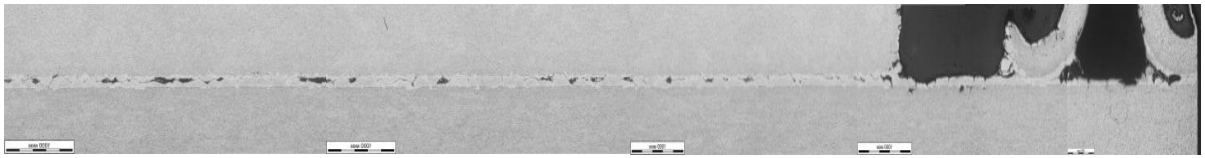


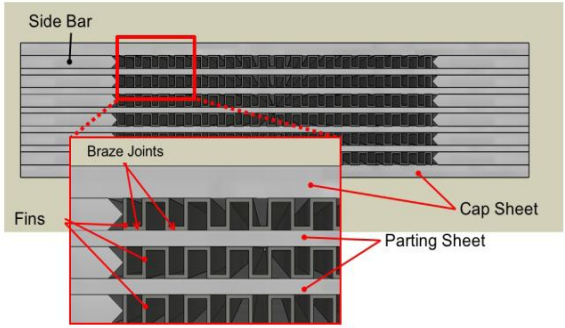


Выявленные трещины в зоне паяных соединений





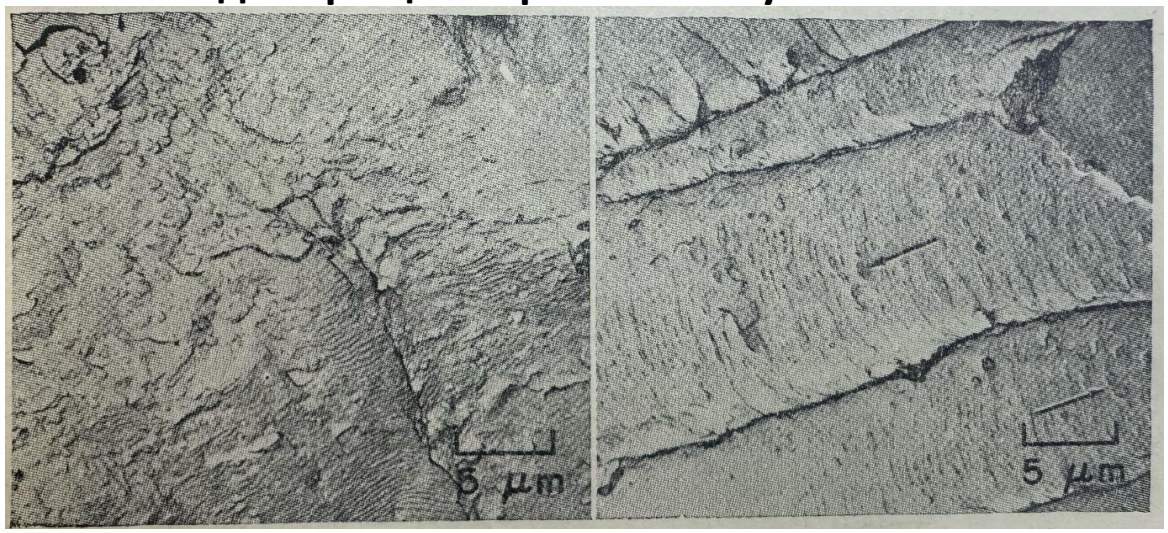




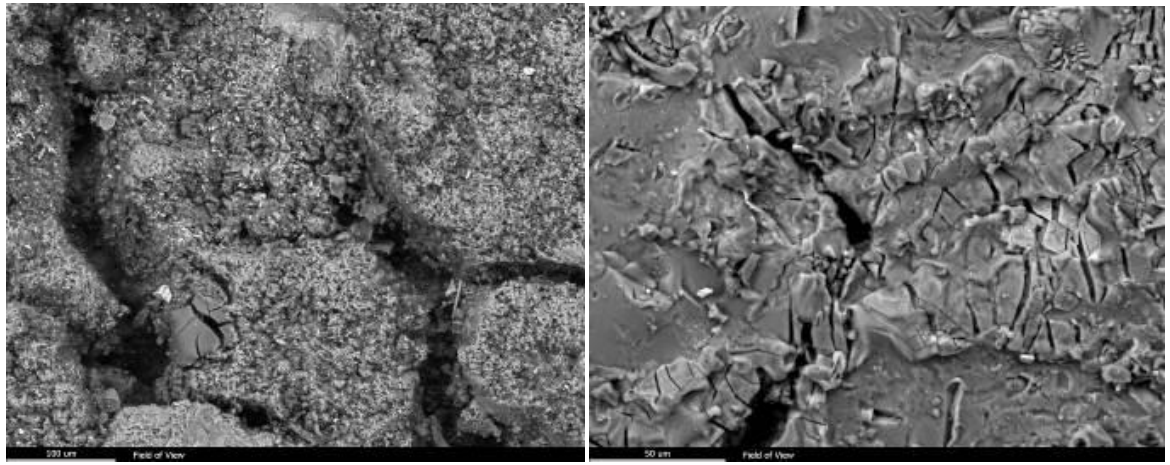
Разделительный лист с максимальной разностью по температуре

Гипотеза о термическом ударе как основной причине разгерметизации

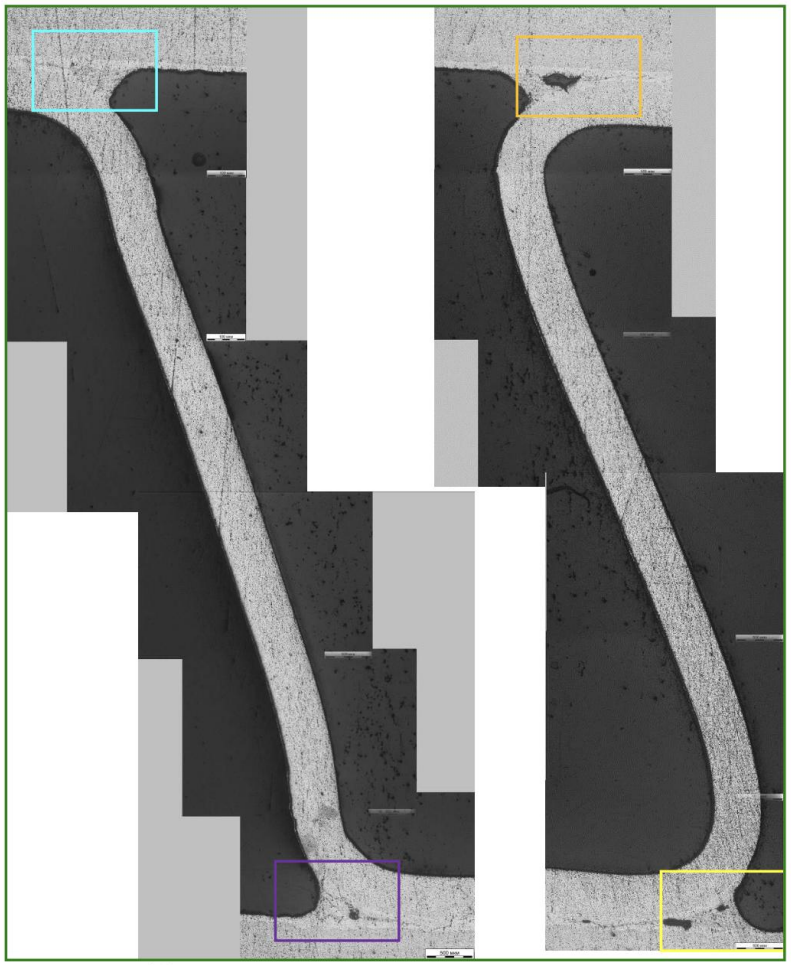
Поверхности разрушения с бороздками, характерные для трещин термической усталости

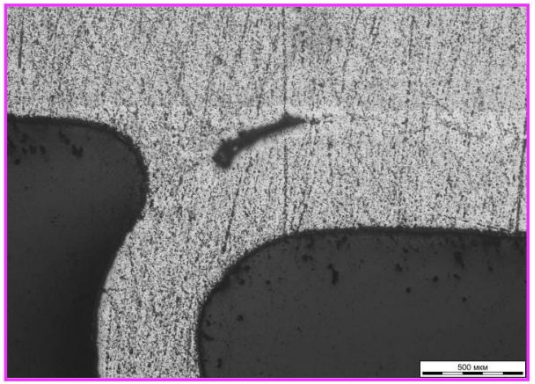


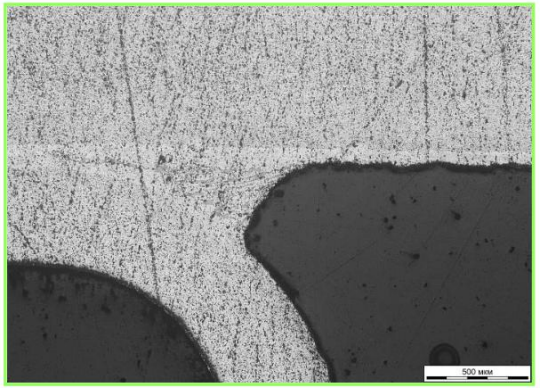
Поверхность исследуемого разрушения



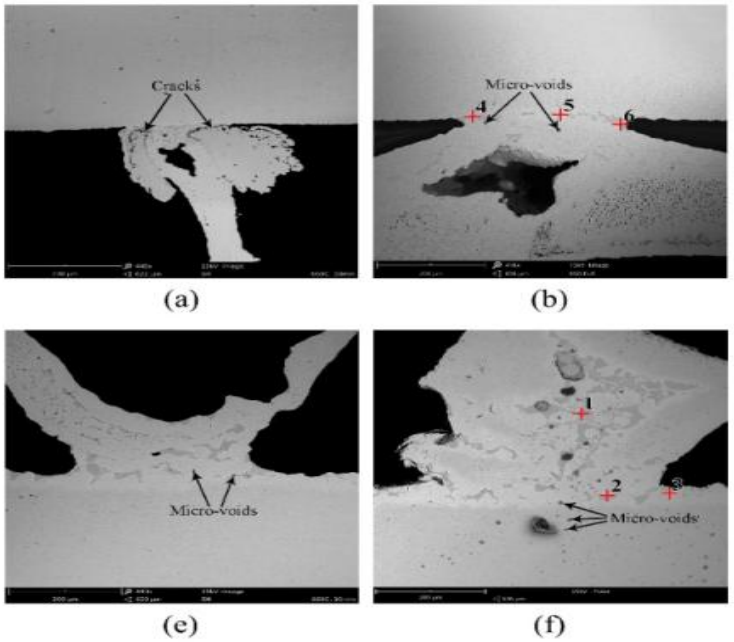
Дефекты паяных соединений





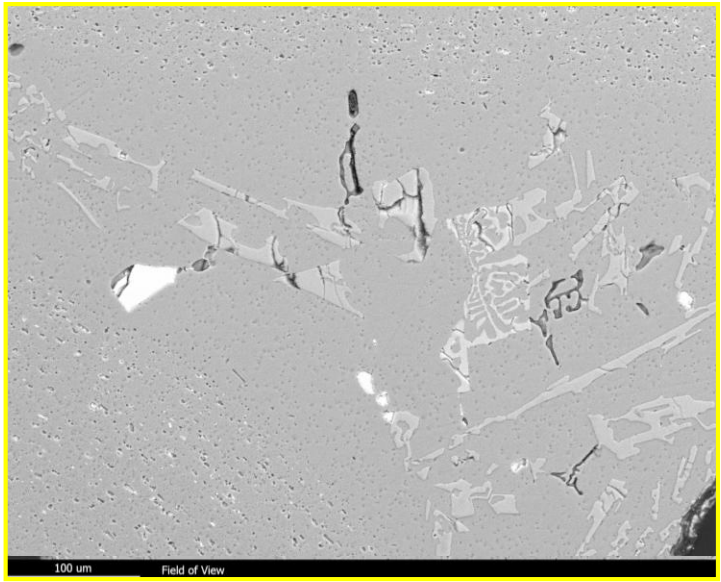


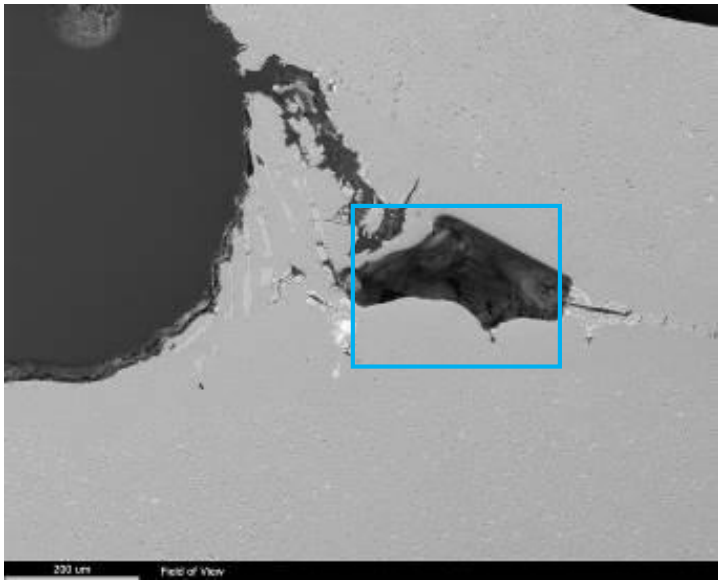
Пример дефектов из литературы

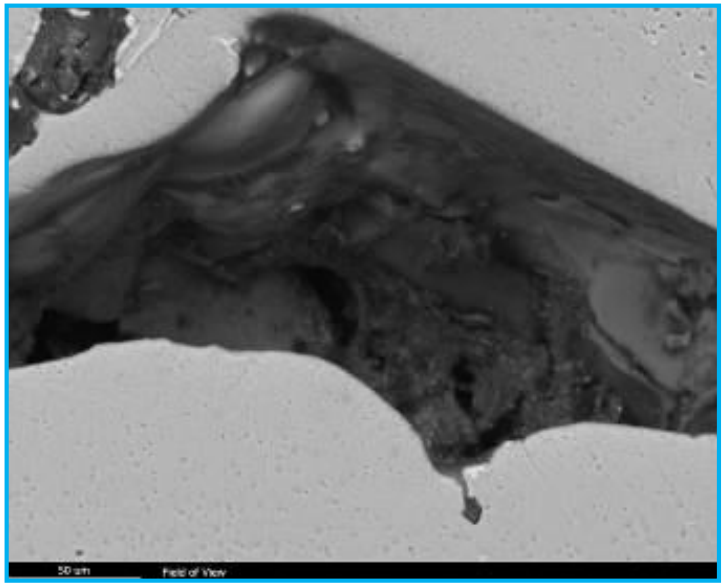


Структура паяных соединений

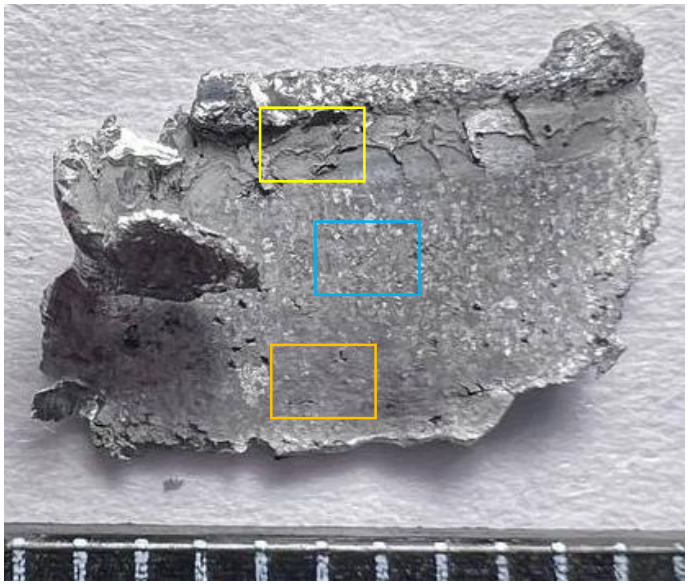


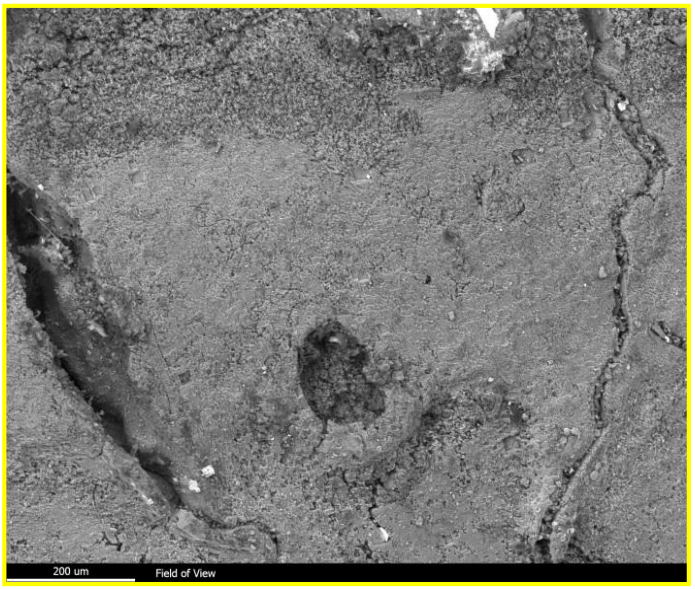


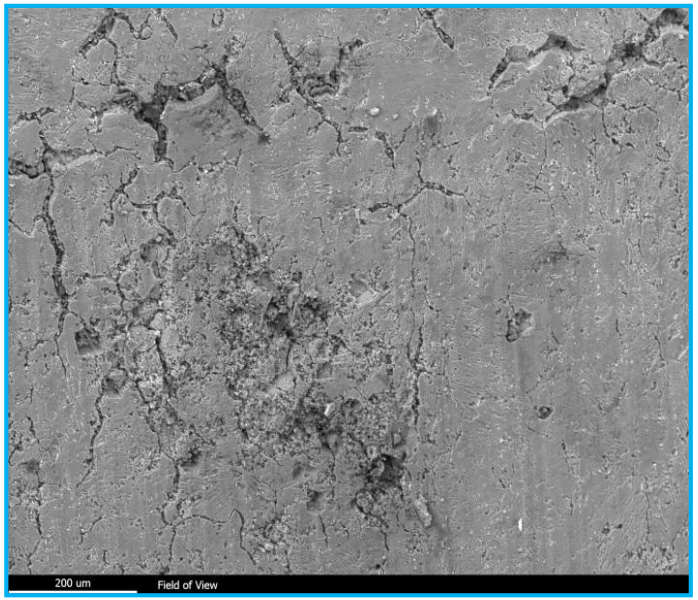


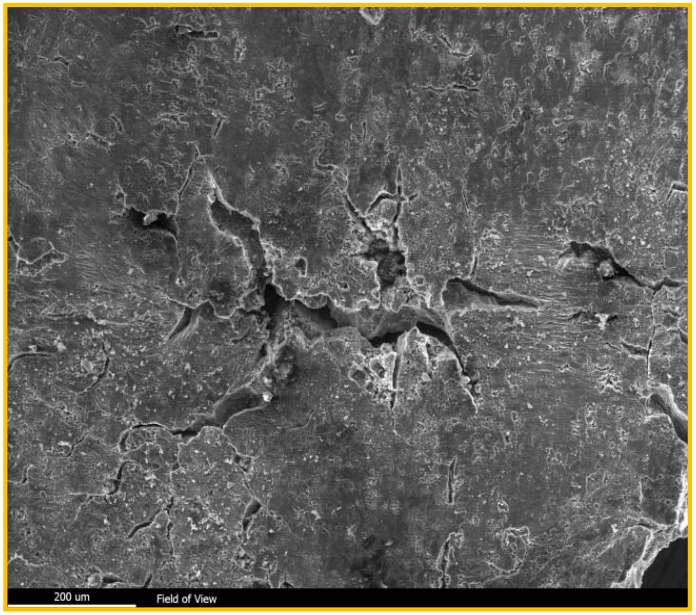


Межкристаллитная гальваническая коррозия

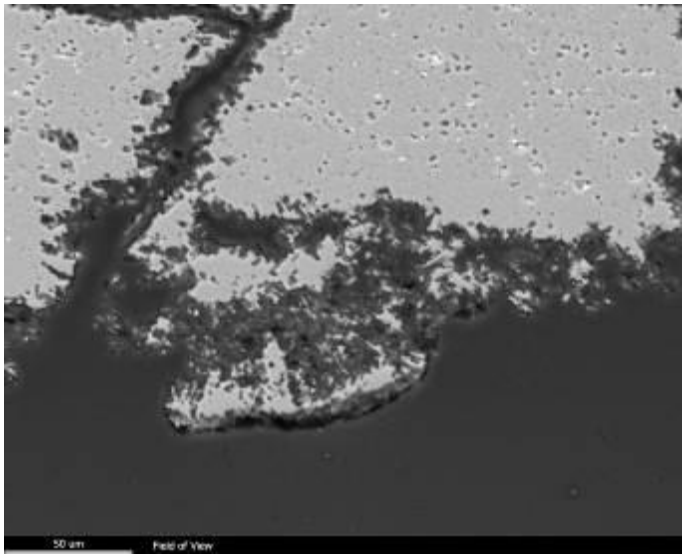




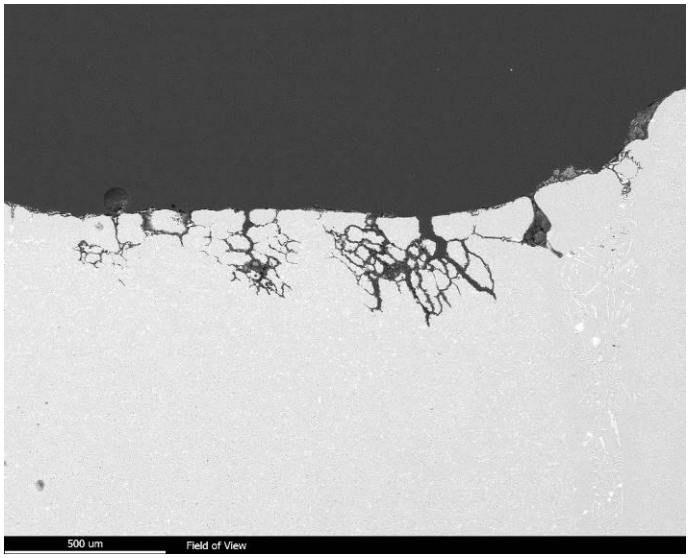


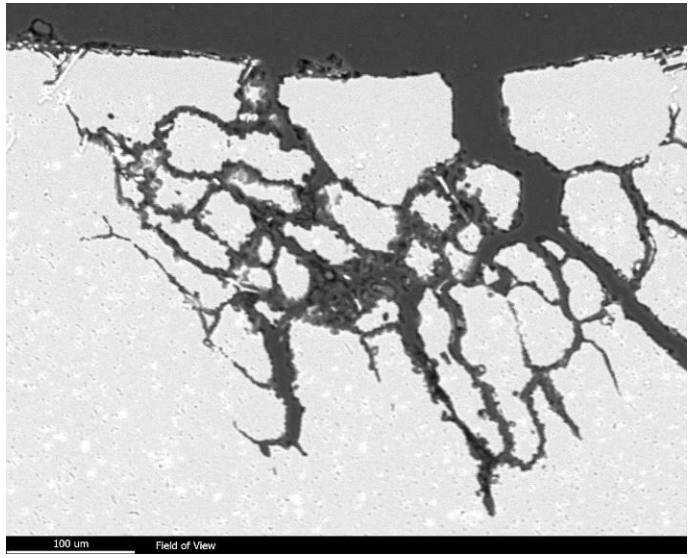


Межкристаллитная гальваническая коррозия

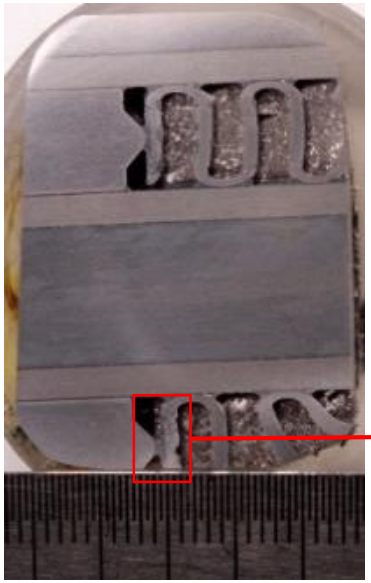


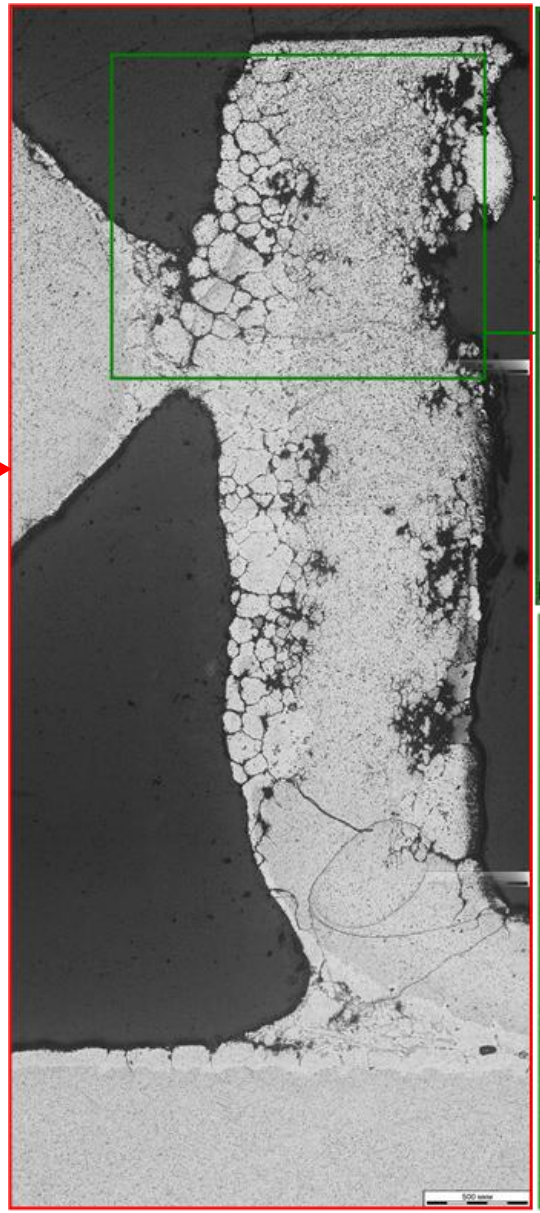


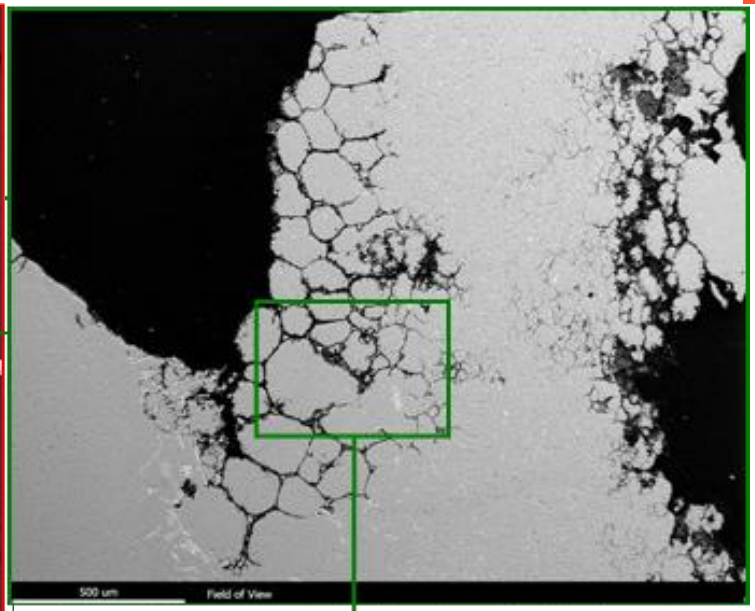


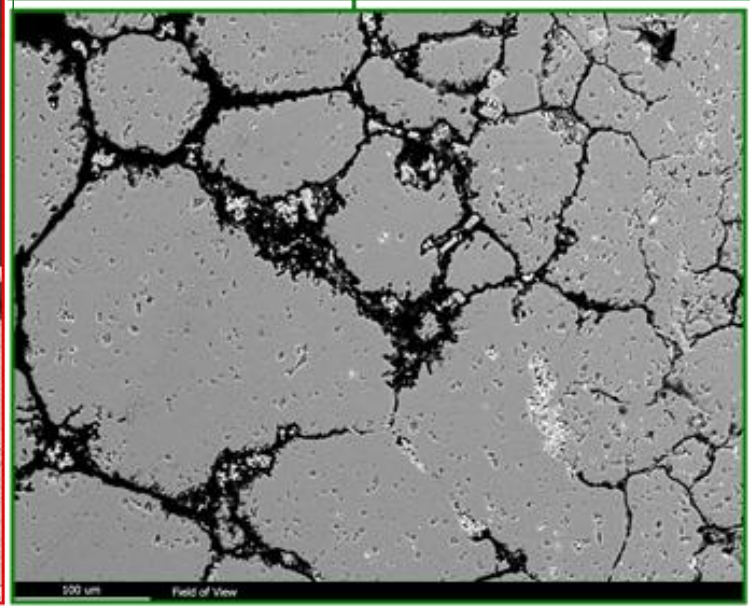


Межкристаллитная гальваническая коррозия



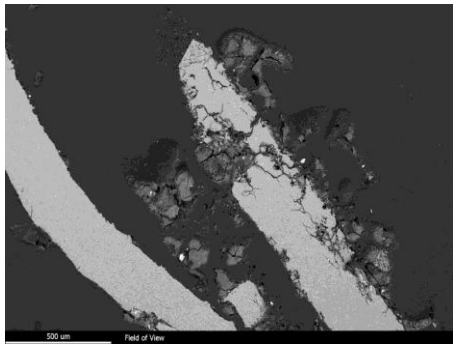


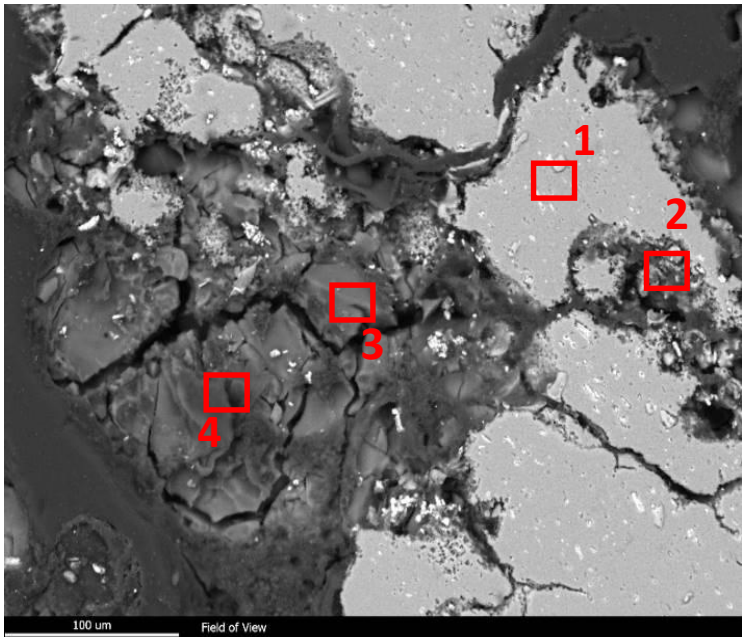


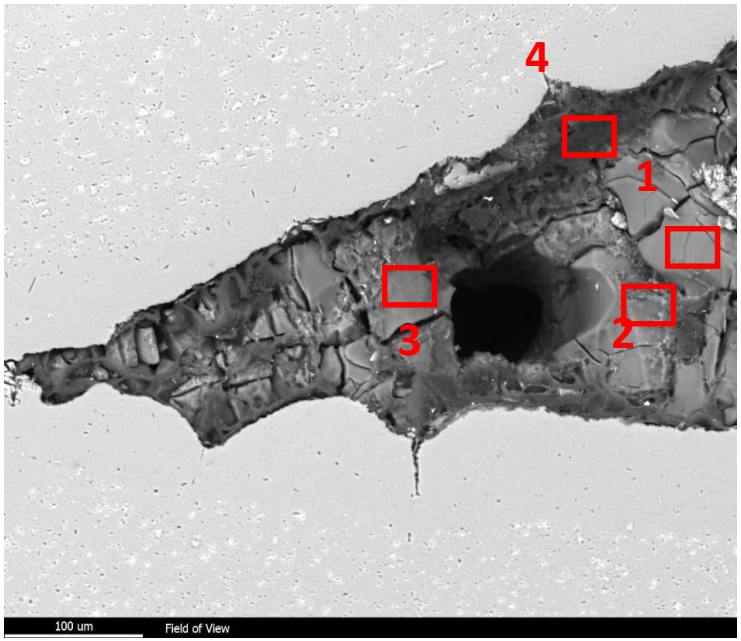


Вид коррозионных поражений ребер теплопередачи и зоны пайки





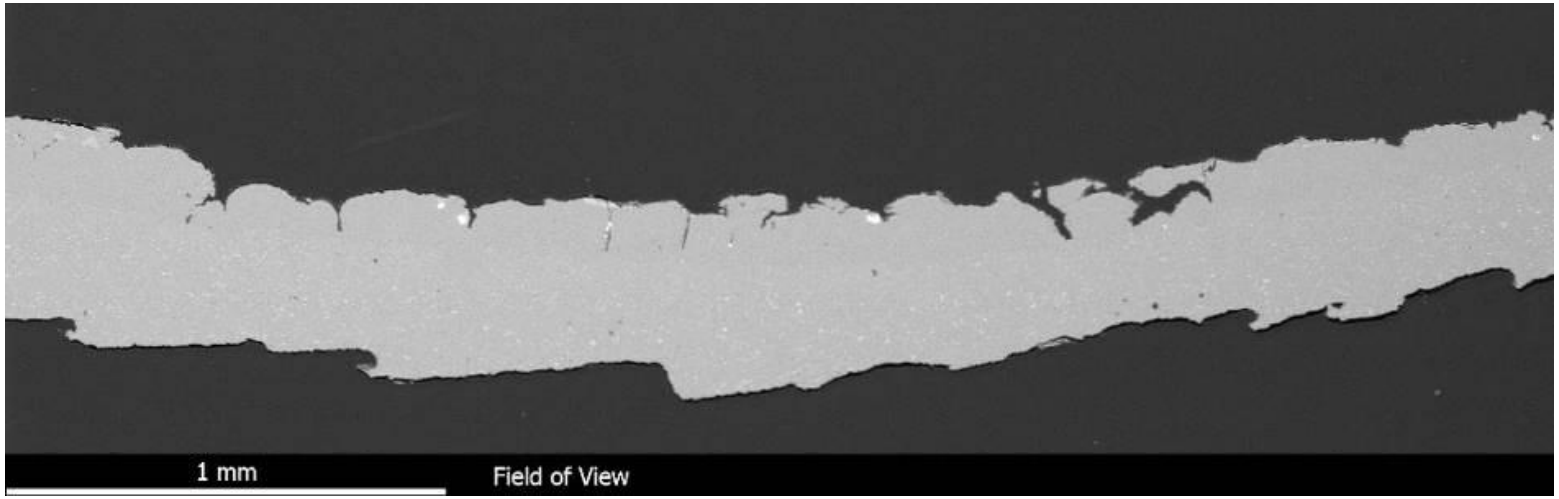


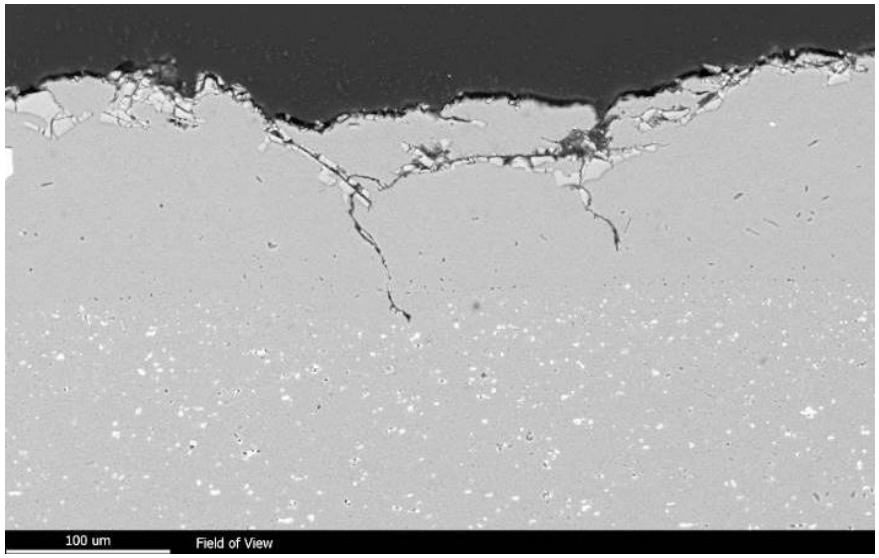


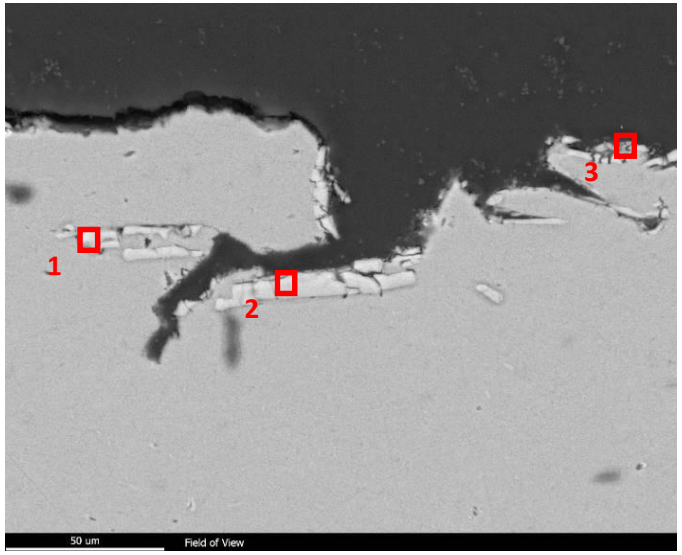
№п/п	C	O	Al	Si	S	Cl	Ca	Fe
1	0	0	28,62	71,38	0	0	0	0
2	42,19	05,21	39,42	1060	0	01,44	03,01	02,63
4	13,91	32,91	38,53	0	01,32	11,66	0	01,67
5	62,54	14,82	10,03	00,26	00,71	09,72	0	00,93

№п/п	C	O	Al	Si	S	Cl	Fe
1	14,81	32,10	40,38	01,97	01,87	08,87	0
2	14,79	36,29	40,42	0	01,40	07,10	0
3	29,17	37,51	28,02	0	00,64	04,67	0
4	55,56	16,83	16,93	01,90	00,88	02,01	05,89

Вид коррозионных поражений ребра теплопередачи







№п/п	C	Al	Si
1	0	11,10	88,90
2	0	03,60	96,40
3	43,59	20,20	36,22

Выводы

Проведенный комплекс металлографических исследований сегментов, вырезанных непосредственно из области разрушения пластинчатого алюминиевого теплообменника показал:

1. Разгерметизация теплообменника произошла в результате развития коррозионно-механического растрескивания посредством множественного расслоения разделительных листов и отслоения ребер теплопередачи по паяным соединениям с выходом трещин наружу;

2. В области с наибольшей деформацией наблюдается потемнение поверхности, образование отложений и продуктов коррозии, содержащих кристаллы соли NaCl. Следовательно, в процессе запуска, эксплуатации и проведения остановов были нарушения по составу рабочей среды;

3. Поверхности ребер теплопередачи и разделительных листов подверглись коррозионному разрушению по механизмам локальной, межкристаллитной и равномерной коррозии;

4. Развитие процессов локальной и равномерной коррозии алюминия спровоцировано нарушением целостности пассивирующей оксидной пленки, которое вызвано наличием в рабочей среде водной фазы, Cl-ионов и кристаллов лимонной кислоты;

5. В паяных соединениях, в результате гальванического эффекта между алюминиевой матрицей и включениями силицидов, формируются локальные коррозионные поражения. Скорость коррозии в данном случае высокая из-за большой разности потенциалов. В вершинах данных поражений под воздействием внутренних напряжений зарождаются трещины. Дальнейшее распространение трещин приводит к расслоению разделительных листов и отделению ребер теплопередачи от листов;

6. Все выявленные механизмы коррозии и множественные коррозионные поражения развились в результате воздействия раствора кислой среды, содержащей соли NaCl, на поверхность алюминиевого сплава. Следовательно, в процессе эксплуатации и проведения остановов были нарушения по составу рабочей среды, допущено попадание влаги и применен промывочный раствор с pH менее 4,5.

Благодарю за внимание!

Чистопольцева
Елена Александровна
Руководитель ДСМ
ООО «ИТ-Сервис», к.т.н.
+7 917 942 9428
chistopolceva@its-samara.com