

КОРОЗИЙНІ ПОШКОДЖЕННЯ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ І ВПЛИВ КОРОЗИЙНОГО СЕРЕДОВИЩА НА ВИД ПОШКОДЖЕНЬ КОНСТРУКЦІЙ ЛІТАКА

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Проектування сучасної авіаційної техніки за принципом припустимості пошкоджень є комплексною науково-технічною проблемою, яка вирішується на основі інтеграції наукових досліджень фахівців авіаційної промисловості та наукових центрів [1].

Серед головних чинників, які призводять до порушення характеристик працездатності або відмов деталей, вузлів і агрегатів авіаційної техніки, є: втома, знос, корозія і фретинг-корозія. Ці чинники залежать як від стану поверхні, так і від її хімічних та фізичних властивостей, змінюючи які поліпшують втомні і корозійні характеристики конструкцій.

Досвід експлуатації авіаційної техніки показує, що повністю виключити корозію авіаційних матеріалів неможливо [1]. Корозія конструкцій літаків була і залишається однією з найактуальніших проблем сучасності в авіаційній галузі.

Виходячи з характерних типів корозійного пошкодження і місця розташування конкретного конструктивного елемента при проектуванні авіаційних конструкцій вибирають матеріал, схему його покриття, вибір конструктивного рішення з урахуванням корозійної поведінки, термінів виконання періодичних оглядів і регламентних робіт [1].

Безпечна експлуатація за умов міцності реалізується на основі принципу припустимості пошкоджень. Припустимість пошкоджень передбачає гарантію безпеки конструкції шляхом встановлення термінів її огляду в експлуатації для виявлення можливих пошкоджень і ремонту або заміни пошкоджених елементів, перш ніж дефекти та пошкодження досягнуть критичних розмірів і призведуть до руйнування конструкції.

Нинішній підхід до боротьби з корозією полягає в тому, щоб видалити її, як тільки вона знайдена, відремонтувати кородовану структуру або замінити компонент. Це є дорогим з точки зору збільшення часу обслуговування та зниження доступності літаків до використання. Лікування корозії сполуками для запобігання корозії і залишенням її на місці, поки не буде спрощений доступ до постраждалих від корозії районів під час планового обслуговування, збільшує доступність літаків. Однак цей підхід вимагає детального вивчення швидкості поширення специфічного типу корозії після обробки, і в даний час ця інформація недоступна [2].

Корозійне середовище істотно впливає на довговічність конструктивних елементів літальних апаратів.

Межа витривалості гладких зразків з неплакованих матеріалів Д16АТ, В95Т і Д1Т, випробуваних в 3-х відсотковому водному розчині NaCl (база випробувань $N = 2 \cdot 10^7$ циклів) знижується від 3 до 5 разів у порівнянні з межею витривалості, отриманою при випробуванні цих зразків на повітрі. Довговічність на рівнях напруги, близьких до межі витривалості в повітрі, знижується в кілька десятків разів.

Корозійне середовище (3-х відсотковий водний розчин NaCl) при $N = 5 \cdot 10^6$ циклів знижує межу витривалості плакованих листових матеріалів Д16АТ, Д16АТВ і В92Т (час спільної дії циклічних навантажень і середовища – 420 годин) на 35-40%, а довговічність на рівнях напружень, близьких до межі витривалості в повітрі, зменшується від 7 до 10 раз.

Специфічні корозійні середовища, такі як конденсаційна рідина гермокабіни фюзеляжу літака і насичений водний розчин суперфосфату, при $N = 5 \cdot 10^6$ циклів знижують межу витривалості сплаву В92Т (час випробування 280 годин) на 45 і 60% відповідно, довговічність – у 15-20 разів [3].

Зараз в експлуатації повітряного транспорту відбраковування елементів конструкції з корозійним ураженням проводиться по геометричним розмірам корозійного дефекту, а саме по глибині, що не повинна перевищувати 10% від товщини виробу [3].

Тому розробка методик оцінки граничного стану елементів конструкції, використовуючи, як необхідний засіб, результати аналізу напружено-деформованого стану в зоні корозійного дефекту, дозволить уточнити допустимі параметри корозійного пошкодження.

Ще більшу інформацію щодо впливу корозії на втомну довговічність конструкцій можуть надати їх втомні випробування при наявності корозійних ушкоджень.

В умовах науково-дослідницької лабораторії найбільш прийнятну інформацію про вплив корозійного середовища та корозійних пошкоджень на втомну довговічність конструкцій літака можуть надати втомні дослідження зразків конструкцій літаків із алюмінієвих сплавів, виготовлених відповідно до ОСТ 1 00872-77 З'ЄДНАННЯ ЗАКЛЕПКОВІ. В тому числі зразків з'єднань пластин з заповненими не завантаженими отворами (рис.1) і трирядного з'єднання пластин внапук (рис. 2).

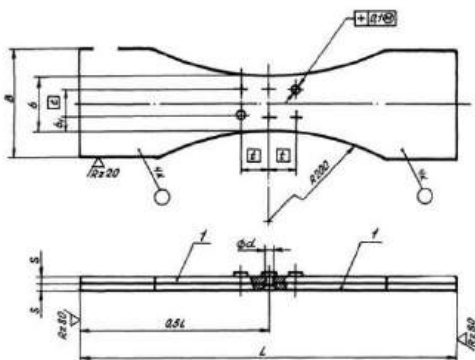


Рисунок 1 – Зразки з'єднань пластин з заповненими не завантаженими отворами

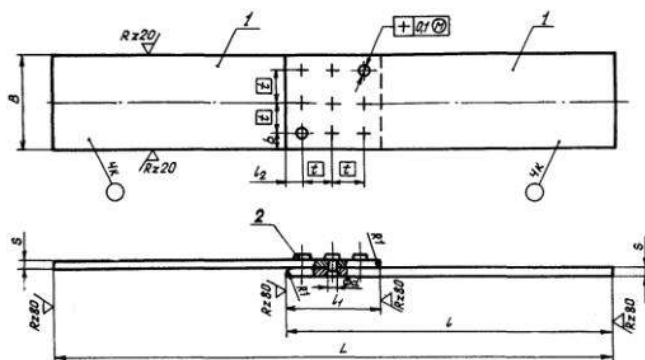


Рисунок 2 – Зразки трирядного з'єднання пластин внапук

Одна з проблем для досліджень – вибір корозійного середовища для дії на зразки, враховуючи, що різні корозійні середовища викликають різні типи і види корозії. Наприклад розглянемо ГОСТ 9.913-90. АЛЮМІНІЙ, МАГНІЙ І ЇХ СПЛАВИ. Методи прискорених корозійних випробувань. ГОСТ поширюється на алюміній, магній та їх сплави без захисних покриттів і встановлює методи прискорених та імітаційних корозійних випробувань для отримання порівняльних даних по корозійній стійкості металів і сплавів. Випробування проводять, імітуючи різні кліматичні зони у штучно створюваних умовах з використанням корозійних середовищ згідно табл. 2.

Таблиця 2 – Методи прискорених корозійних випробувань алюмінієвих сплавів

Методи випробувань	Матеріал	Призначення
Повне занурення в розчин, що містить 3% хлористого натрію і 0,1% перекису водню	Алюміній і його сплави	Імітація впливу морського клімату при періодичному або постійному контакті з морською водою
Вплив нейтрального соляного туману	Алюміній, магній і їх сплави	Імітація впливу тропічного клімату, включаючи морський туман
Змінне занурення в 3%-й розчин хлористого натрію	Алюміній і його сплави	Імітація впливу помірного клімату з впливом і без впливу хлоридів
Вплив вологи при періодичній конденсації, підвищених значеннях відносної вологості і температури	Алюміній, магній і їх сплави	Імітація впливу тропічного клімату, включаючи атмосферні опади

ГОСТ 9.021-74. АЛЮМІНІЙ І СПЛАВИ АЛЮМІНІЄВІ. Методи прискорених іспитів на міжкристалітну корозію. ГОСТ поширюється на алюміній і його сплави без захисних

покриттів і встановлює методи прискорених випробувань на міжкристалітну корозію. При цьому встановлюється, що випробування слід проводити в розчині I, що містить: 3%-й розчин хлористого натрію плюс 1% соляної кислоти (30 г/л хлористого натрію плюс 10 мл/л соляної кислоти щільністю 1,19 г/см³), при температурі розчину 18 - 25 °С.

Допускається проводити випробування і в розчині II, що містить:

1 н. розчин хлористого натрію плюс 0,3% перекису водню (58 г/л хлористого натрію плюс 10 мл/л 33% розчину перекису водню), температура розчину 30 ± 5°С, тривалість випробувань 6 годин.

ГОСТ 9.904-82. СПЛАВИ АЛЮМІНІЄВІ. Метод прискорених випробувань на розшаровуючу корозію. Державний стандарт встановлює метод прискорених випробувань для алюмінієвих сплавів без захисних покриттів.

Розчин для випробування вибирають в залежності від складу сплаву і його термічної обробки відповідно до таблиці 3.

Таблиця 3 – Розчини для випробування на розшаровуючу корозію

Сплави, стан	№ розчину	Зміст компонентів, г/дм ³				
		Калій дихромово-кислий	Кислота соляна	Калій хлористий	Калій азотнокислий	Кислота азотна
Сплави системи Al-Zn-Mg в природному стані старіння	1	20	9	–	–	–
Сплави системи Al-Cu-Mg, Al-Cu-Mg-Fe в штучному стані старіння	2	10	–	225	50	5,5
	3	–	–	225	50	5,5
Всі сплави крім зазначених вище систем і станів при всіх режимах старіння	4	20	13,5	–	–	–

Примітка. У розчині № 2 допускається заміна дихромовокислого калію на суміш: хром (VI) окис - 9 г/дм³ і калій дихромовокислий 1,5 г/дм³.

ГОСТ 9.019-74. ЄДИНА СИСТЕМА ЗАХИСТУ ВІД КОРОЗІЇ І СТАРІННЯ. СПЛАВИ АЛЮМІНІЄВІ І МАГНІЄВІ. Методи прискорених випробувань на корозійне розтріскування. Дія цього державного стандарту поширюється на алюмінієві і магнієві сплави без захисних покриттів і встановлює методи прискорених випробувань на корозійне розтріскування.

Стандарт встановлює два методи випробувань, а саме при заданій деформації та при постійному осьовому розтягуючому навантаженні.

Випробування алюмінієвих сплавів на корозійне розтріскування проводять при періодичному зануренні зразків в 3% розчин хлористого натрію по ГОСТ 4233-77 по циклу: 10 хв. в розчині, 50 хв. на повітрі при температурі навколишнього середовища 18 - 25 °С.

В роботах різних авторів пропонуються розчини різного складу, які, за інформацією авторів, максимально повно вирішують поставлені перед дослідниками задачі.

Для «виращування» в плакованому листі із сплаву Д16АТ корозійного дефекту, який за своєю структурою відповідний експлуатаційному, в роботі [3] використовувався розчин складу 25% - кислота соляна, 25% - натрій хлористий. Корозійний дефект при цьому являє собою пляму діаметром 10 мм, протравлену на глибину від 0.1 мм до 0.4 мм. Зовнішній вигляд штучного коррозійного дефекту показаний на рис. 3.

На рис. 4 представлений знімок шліфа, зроблений при проведенні металографічного дослідження. Металографія проводилась на мікроскопі NU2E.



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд штучного корозійного дефекту

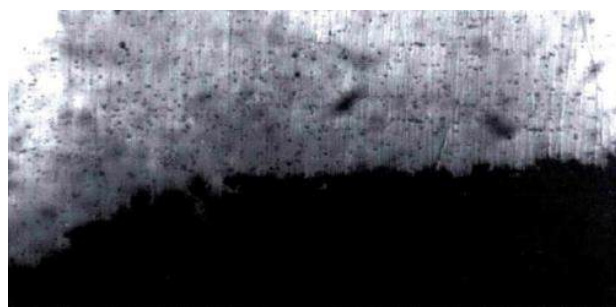


Рисунок 4 – Шліф. Збільшення в 100 раз

В роботі [4] для імітації на алюмінієвих сплавах корозійних поразок різних видів, що відбуваються в натурних умовах, проведені дослідження анодного розчинення алюмінієвих сплавів в різних розчинах. На рис. 5 показаний зовнішній вид зразків із алюмінієвого сплаву 1163 - Т після проведення анодного розчинення в розчинах NaCl, NaCl+Na₂SO₃ та NaCl+Na₂SO₃+NaNO₃

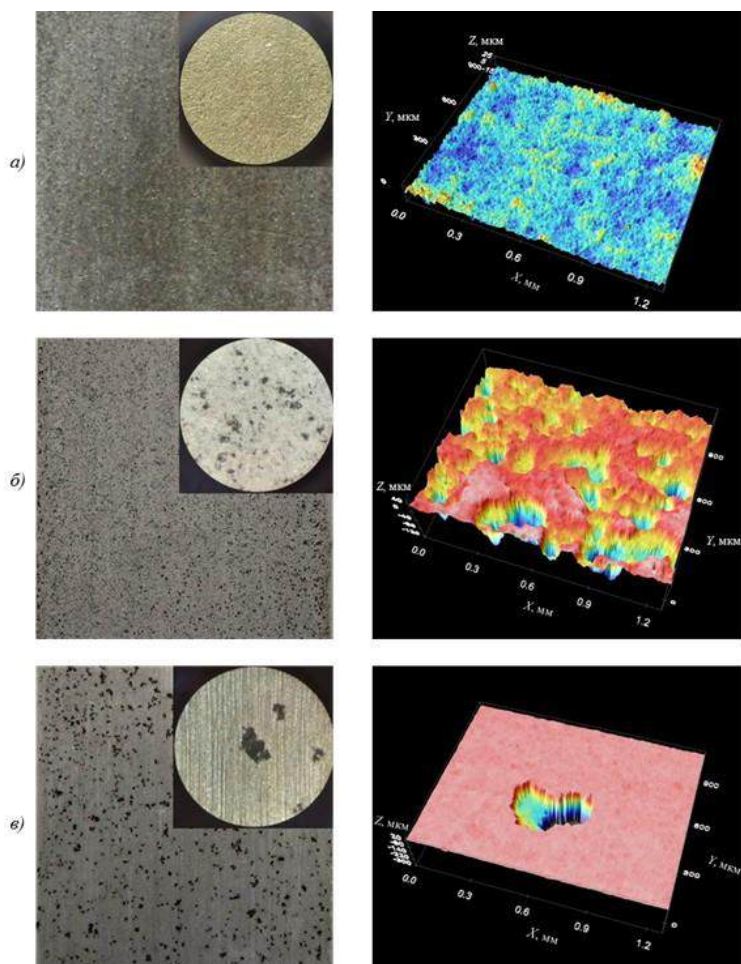


Рисунок 5 – Зовнішній вигляд зразків (збільшення в 7 разів) і 3D-профілометрія алюмінієвого сплаву 1163-Т після проведення анодного розчинення (при щільності струму $i = 4 \cdot 10^{-3} \text{ А/см}^2$ протягом 2 годин) в розчинах: а - NaCl – рівномірне розчинення ($h_{кор} \approx 20 \text{ мкм}$); б – NaCl + Na₂SO₃ – пітингове ураження ($h_{nim} \approx 130 \text{ мкм}$); в – NaCl + Na₂SO₃ + NaNO₃ – пітингове ураження ($h_{nim} \approx 300 \text{ мкм}$); де $h_{кор}$ та h_{nim} – глибина корозійного ураження поверхневою та пітинговою корозією відповідно.

В цій роботі розроблено розчин, що містить нітрат натрію, сульфід натрію і хлорид натрію з добавкою «Екомет», який дозволяє наносити при анодній поляризації корозійні поразки з таким же фактором пітингової корозії, як і при атмосферній корозії. Для нанесення не тільки пітингових, але й міжкристалітних (розшаровуючих) корозійних поразок запропонований

цей же розчин з підвищеним вмістом хлоридів або проведення комплексного анодного розчинення алюмінієвих сплавів спочатку в нітратно-сульфідно-хлоридному розчині, потім в сульфідно-хлоридному.

В роботі [5] наведено склад розчину для проведення дослідження впливу корозії на з'єднання двох листів зі сплаву AA2024-T3 алюмінієвими заклепками (сплав AA5052). Цей склад (еталонне рішення) містить 20 М хлориду, 4 М бікарбонату, 4 М нітриту і 2 М фториду при рН 9.

З'єднання розміщали в спеціальних контейнерах, в яких розчин впливав на них протягом трьох місяців. При цьому застосовувався розчин еталонного рішення і розчин без

бікарбонату і з мінімізацією діоксиду вуглецю (система CO_x). Для мінімізації CO_2 використаний гідроксид натрію через його здатність поглинати CO_2 .

Після впливу корозійних середовищ зразки з'єднань досліджували з використанням мікроскопії поперечного перерізу (рис. 6).

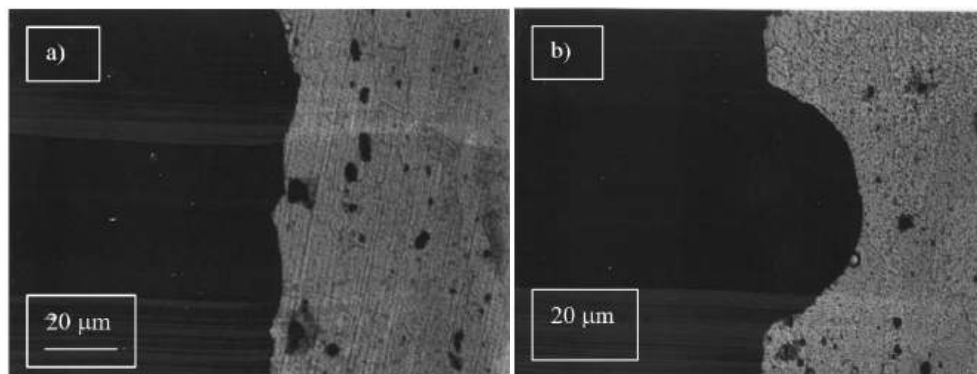


Рисунок 6 – Вид під мікроскопом при збільшенні в 500 разів поперечного перерізу зразків з'єднань двох листів зі сплаву AA2024-T3 після трьох місяців дії а) розчину еталонного рішення і б) розчину системи CO_x

Видно, що зразок з'єднання, який піддавався впливу розчину еталонного рішення, мав топологію корозії, яка була суцільною.

Зразок з'єднання, який піддавався впливу розчину системи CO_x , мав топологію корозії, яка була пітинговою.

В умовах корозійної втоми кілька досліджень показали збільшення швидкості росту втомної тріщини в порівнянні з «базовими» умовами втоми.

МакАдам вперше припустив, що корозії, викликані корозійними ямами, можуть діяти як концентратори напружень, з яких можуть утворюватися тріщини [6].

Також в середовищі NaCl в умовах корозійної втоми спостерігалось зниження втомної довговічності через утворення ямок в вуглецевій сталі і в алюмінієвому сплаві 7075-T6.

Отже, для оцінки втомної довговічності з'єднань авіаційних конструкцій в умовах корозії дуже важливо використовувати їх реалістичні моделі для встановлення взаємозв'язку між корозійними ушкодженнями та втомною довговічністю. При цьому враховуючи матеріали, з яких виготовлені конструкції, корозійне середовище, в якому конструкції працюють та температурні режими їх експлуатації.

Список використаних джерел

1. Концепція створення сучасних реактивних регіональних пасажирських літаків [Текст]: монографія / П. В. Балабуєв, В. О. Богуслаєв, О. Д. Донець та ін. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 254 с.
2. Електронний ресурс. URL: <http://www.corrosion-doctors.org/Aircraft/Introduction.htm>
3. Лапаєв А. В. Расчетно-экспериментальная оценка влияния коррозионных поражений на характеристики несущей способности элементов конструкции планера воздушных судов. Дисс. на соиск. уч. ст. к.т.н. М.: МГТУ ГА. 2004 - 207 с.
4. Разработка раствора для нанесения коррозионных поражений на алюминиевых сплавах в гальваностатическом режиме/А. Е. Кутырев, Д. В. Чесноков, и др. Труды ВИАМ № 9, 2018.
5. Електронний ресурс. URL: <http://www.virginia.edu/cese/research/Lewis%20Abstract.PDF>
6. Електронний ресурс. URL: <https://www.corrosion-doctors.org/Journal-2000/No3/No3-page4.htm>