

doi: 10.32620/oikit.2019.85.08

УДК 629.735.33

М. С. Топал, В. М. Андрущенко

Корозійні пошкодження алюмінієвих сплавів в конструкціях літака

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

Показані зони корозійних ушкоджень патрульного літака Р-3, знайдені протягом десятиріччя його експлуатації.

Представлені приклади пошкодження конструкцій літаків внаслідок корозії металів в умовах експлуатації. Показано негативний вплив на конструкцію літаків суцільної (поверхневої) корозії, міжкристалічної корозії та корозії відшаровування, корозії під напругою, щілинної корозії і її різновиду - корозії під ізоляцією, ниткоподібної корозії, точкової корозії (пітінгу).

Показано, що суцільна корозія найменше впливає на структуру літака. Вона споживає метал рівномірно і відносно повільно. Міжкристалічна корозія зазвичай особливо неприємний вид корозії. Цей вид корозії може бути важко виявити. Дуже сильна міжкристалічна корозія іноді може призводити до відшаровування поверхні металу. У крайніх випадках краї ураженої області нагадують розділені сторінки змоченою книги, яка розпухла і почала розкриватися

Ще одна з найбільш руйнівних форм корозії - це розтріскування під впливом корозії під напругою

Щілинна корозія є дуже поширеним видом, що зустрічається на літаках. Різновидом щілинної корозії є корозія під ізоляцією. Корозія під ізоляцією є особливо важкою формою локалізованої корозії. Пітінг вважається більш небезпечним, ніж рівномірне корозійне пошкодження, оскільки його важче передбачити і виявити. Ниткоподібна корозія дає появу низки малих черв'яків під поверхнею фарби. Часто їх можна побачити на поверхнях, які були неправильно хімічно оброблені перед фарбуванням.

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. Вважається доцільним 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, час проведення яких залежить від технічного стану літаків. Отримання максимально точної інформації про реально можливі періоди між плановими обслуговуваннями літаків є важливим завданням, яке стоїть перед дослідниками, працюючими в даній сфері діяльності.

Ключові слова: корозія металів, суцільна (поверхнева) корозія, міжкристалічна корозія, корозія відшаровування, корозія під напругою, щілинна корозія, корозією під ізоляцією, ниткоподібна корозія, точкова корозія (пітінг), корозійно-втомні пошкодження.

Корозія конструкцій літаків є однією з найактуальніших проблем сучасності в авіаційній галузі. На рис. 1 показані зони корозійних ушкоджень патрульного літака Р-3, знайдені протягом десятиріччя його експлуатації.

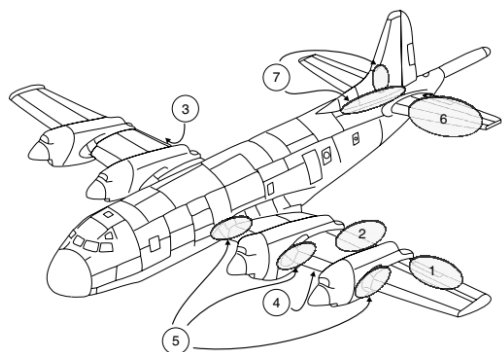


Рис. 1. Корозійні ділянки, знайдені на морському патрульному літаку Р-3 протягом десятиріччя служби:

(1) клеєні панелі елерона, (2) ніша закрилка, (3) опора домкрата основної стойки шасі, (4) внутрішня структура гондоли, (5) обтічник гондоли двигуна, (6) обшивка горизонтальної частини стабілізатора, (7) ділянки кіля

Приклади корозійних ушкоджень авіаційних конструкцій показані на рис. 2 [2], [3].



Рис. 2. Приклади корозійного пошкодження конструкцій літаків

Типи корозії, які зазвичай зустрічаються на літаку, на думку різних авторів, в тому числі включають в себе [4]:

– суцільну (поверхневу) корозію, тобто корозію, яка охоплює всю поверхню металу. Це найбільш поширений вид, і він викликаний просто впливом оточуючого середовища на метал, наприклад, коли фарба стерта з поверхні крила або фюзеляжу;

– міжкристалічну корозію, тобто корозію, що розповсюджується по кордонам кристалітів (зерен) металу. Зазвичай це найгірший результат для сплавів серії 7000 (сплавів зі значною кількістю цинку, таких, які використовуються для лонжеронів крила, стрингерів та інших високоміцних деталей літака). Вона не дуже часто зустрічається, але це особливо неприємний вид корозії. Цей вид корозії може бути важко виявити, і як тільки ви побачите її, може буде вже занадто пізно;

– корозію під напругою, тобто корозію металу при одночасному впливі корозійного середовища і постійних або змінних механічних навантажень. В деталях з високим рівнем навантаження, таких як шасі або колінчаті вали двигуна, цей вид корозії може розвиватися, наприклад, через подряпини поверхні. Відмови колінчатого валу часто викликані невизначеною вчасно корозією цього виду;

– щілинну корозію, тобто посилення корозії в щілинах і зазорах між двома металами, а також в місцях нещільного контакту металу з неметалевим корозійно інертним матеріалом. Це може статися скрізь, де є область, де волога або інші забруднюючі речовини затримуються;

– ниткоподібну корозію, або корозію, що розповсюджується у вигляді ниток, переважно під неметалевими захисними покриттями. Зокрема, на алюмінієвих поверхнях, погано підготовлених для поліуретанових фарб, цей вид корозії проявляється у вигляді дрібних червоподібних ліній корозії під фарбою, які в кінцевому підсумку призводять до утворення бульбашок і відшаровування.

Поверхнева корозія [5] виникає як загальна шорсткість, травлення або виразка поверхні металу, що часто супроводжується порошкоподібним відкладенням продуктів корозії (рис. 3). Поверхнева корозія може бути викликана або безпосередньо хімічною, або електрохімічною атакою. Іноді корозія поширюється під поверхневим покриттям і не може бути розпізнана ні за рахунок шорсткості поверхні, ні порошкоподібного відкладення. Замість цього, більш ретельне обстеження дозволить виявити, що фарба або покриття піднімаються з поверхні в дрібні пухирі, що є результатом тиску основного накопичення продуктів корозії.

Існує багато видів корозії літаків. Найбільш відомий випадок, коли алюміній взаємодіє з водою, створюючи оксид алюмінію [6].



Рис. 3. Приклад поверхневої корозії в конструкції літака

Суцільна корозія (рис. 4) найменше впливає на структуру літака. Вона споживає метал рівномірно і відносно повільно. Проте, якщо протягом тривалого періоду залишати її без нагляду, суцільна корозія може видалити достатньо металу, щоб викликати структурні проблеми [7].

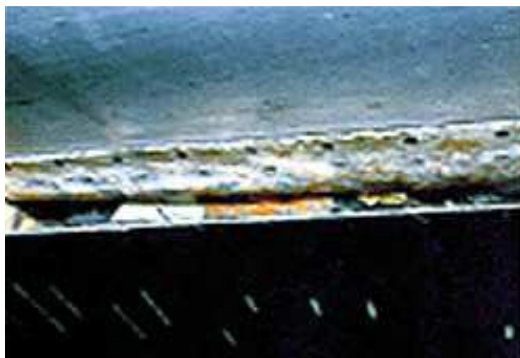


Рис. 4. Приклад суцільної корозії обшивки з матеріалу 2024-T3-Clad

Металеві конструкції схильні, в значній мірі, до електрохімічної корозії [8], яка являє з себе взаємодію металу з корозійним середовищем (розчином електроліту), при якому іонізація атомів металу і відновлення окисної компоненти корозійного середовища протікають не в одному акті і їх швидкості залежать від електродного потенціалу, що виникає при зіткненні металів з електролітом.

На рис. 5 представлений вид поверхні алюмінію при корозії в 0,1 М NaCl (рН 11). Процес супроводжується інтенсивним виділенням водню. На рисунку видно бульбашки виділяемого водню.



Рис. 5. Вид поверхні алюмінію при корозії в 0,1 М NaCl (рН 11)

Електрохімічна корозія відбувається, коли два метали з різними електричними потенціалами електрично з'єднані в присутності електроліту.

Вона відбувається на атомному рівні [6], коли іони протікають між двома сусідніми, хімічно різними матеріалами. Електрохімічна корозія не просто відбувається між металами; сполучення композитів і металів також може призвести до передачі іонів.

Міжкристалічна корозія (рис. 6) [9]. Цей вид корозії є атакою вздовж меж зерен сплаву і зазвичай виникає через відсутність однорідності в структурі сплаву. Алюмінієві сплави і деякі нержавіючі сталі особливо чутливі до цієї форми електрохімічної атаки. Відсутність однорідності обумовлена змінами, що відбуваються в сплаві при нагріванні та охолодженні в процесі виробництва матеріалу.

Міжкристалічна корозія може існувати без видимих поверхневих доказів.

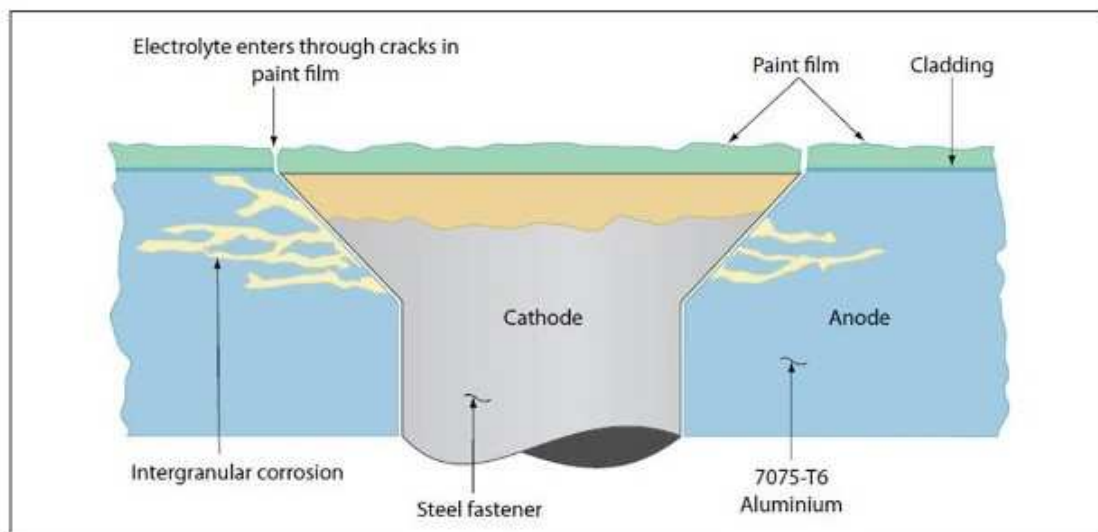


Рис. 6. Приклад розвитку міжкристалічної корозії в авіаційних конструкціях

Багато з алюмінієвих сплавів піддаються міжкристалічній корозії через наявність анодних до алюмінію фаз, що знаходяться на кордонах зерен, або через збіднені зони міді, що прилягають до них [10]. Зовнішній вигляд деталі, враженої міжкристалічною корозією, показаний на рис. 7.

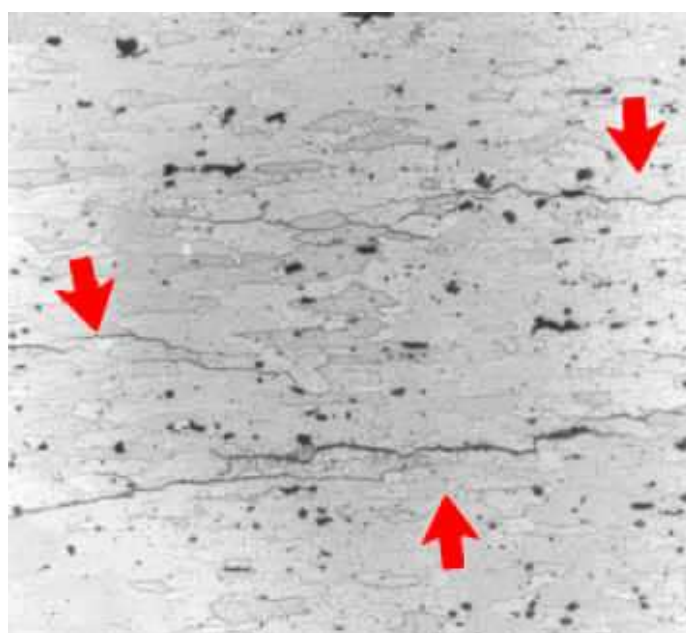


Рис. 7. Зовнішній вигляд враженої міжкристалічною корозією конструкції літака, виготовленої з алюмінієвого сплаву марки 7075-T6

Розвиток міжкристалічної корозії відбувається по кордонах зерен. В разі закінчення одного із зерен зона розвитку міжкристалічної корозії може змінювати напрямку розвитку. На рис. 8 показана зона враження деталі із алюмінієвого сплаву 7075-T651

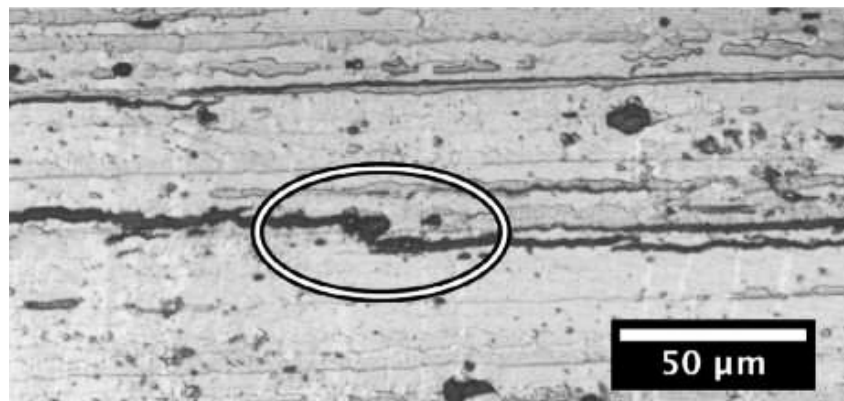


Рис. 8. Різниця між корозією, що повертає і продовжується прямо. Можна бачити, що корозія наближається до переходу по кордону зерен (виділення в центрі зображення) зліва, повертається праворуч на стику зерен і продовжується по кордону іншого зерна алюмінієвого сплаву 7075-T651 [11]

Дуже сильна міжкристалічна корозія іноді може призводити до відшарування поверхні металу. Це - підняття або лущення металу на поверхні внаслідок розшарування меж зерен, викликаного тиском залишкового продукту корозії (рис. 9). Цей вид корозії важко виявити на початковій стадії.

Продукти корозії, що накопичуються уздовж кордонів зерен, чинять тиск між зернами, і в результаті виникає ефект підйому або листівки. Алюмінієві сплави, які були екструдовані або оброблені іншим чином, з мікроструктурою подовжених сплюснутих зерен, особливо схильні до цього пошкодження. Пошкодження часто починається з торцевих зерен, що зустрічаються в оброблених крайках, отворах або канавках, і може згодом проходити через всю ділянку.

У цій конкретній формі міжкристалічної корозії сила розширення нерозчинних продуктів корозії має тенденцію роздавлювати зерна і призводить до корозії відшарування, іноді відомої як пластинчаста або шарова корозія. У крайніх випадках краї ураженої області схожі на лист і нагадують розділені сторінки змоченою книги, яка розпухла і почала розкриватися [12].



Рис. 9. Відшарування поверхні металу в результаті дії міжкристалічної корозії [9]

Корозія відшаровування відбувається в декількох площинах, що викликає поділ листового металу на зернову структуру рис. 10 [7].

Корозія відшаровування призводить до втрати можливості сприймати навантаження. Найбільш ефективним способом боротьби з цим видом корозії є використання матеріалів, які мають зернову структуру, котра не піддається відшаровуванню.

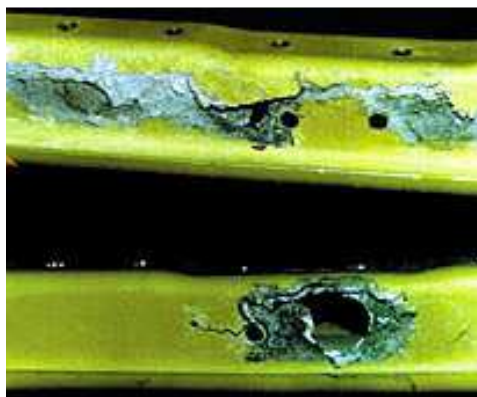


Рис. 10. Корозія відшаровування стрингерів (матеріал 7075-T6) фюзеляжу

Ще одна з найбільш руйнівних форм корозії - це розтріскування під впливом корозії під напругою [7]. Вона відбувається швидко і виходить за межі зерен алюмінієвих сплавів (рис. 11). Корозія під напругою призводить до втрати можливості сприймати навантаження. Найбільш ефективним способом боротьби з цим видом корозії є використання матеріалів, які не сприйнятливі до корозії під напругою при проектних рівнях напруги.

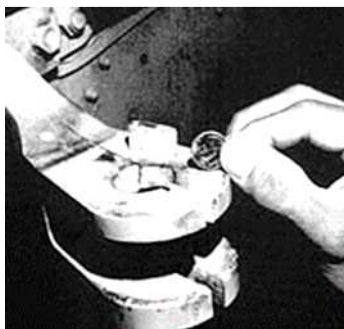


Рис. 11. Корозійне розтріскування поковки сплава 7079-T6

Щілинна корозія – є посилення корозії в щілинах і зазорах між двома металами, а також в місцях нещільного контакту металу з неметалевим корозійно інертним матеріалом [13].

Щілинна корозія є дуже поширеним видом, що зустрічається на літаках і яка відбувається, як варіант, коли вода потрапляє між двома поверхнями, наприклад, під вільною фарбою, в межах розширеної лінії її зв'язку з елементом конструкції або в незакритому від зовнішнього впливу шві.

Різновидом щілинної корозії є корозія під ізоляцією [14]. Корозія під ізоляцією є особливо важкою формою локалізованої корозії.

Проникнення води є ключовою проблемою в цьому випадку. Особливу увагу слід приділяти в процесі проектування, щоб не сприяти корозії, дозволяючи воді проникати в систему безпосередньо або опосередковано за допомогою капілярної дії. Волога може бути зовнішньою або може бути присутня в самому ізоляційному матеріалі.

Для обладнання, яке працює при високих температурах, вода, що потрапляє в ізоляційний матеріал і дифундує всередину, врешті-решт досягне області висихання, наприклад на гарячій металевій стінці обладнання. Поруч з цим гарячим обладнанням висушується область - зона, в якій пори ізоляції заповнені насиченим розчином солі. Коли відбувається вимикання обладнання або зміна процесу і падає температура металеві стінки, зона насиченого сольового розчину переміщується в металеву стінку.

При повторному нагріванні стінка обладнання буде тимчасово стикатися з насиченим розчином, і почнеться корозійне розтріскування. Цикли сушіння / змочування при пов'язаних з корозією під ізоляцією проблемах є сильним прискорювачем корозійного пошкодження, оскільки вони провокують формування все більш агресивних осередків, що може призвести до найгірших проблем корозії, наприклад, розтріскування під корозійним напруженням і передчасних катастрофічних збоїв обладнання.

Механізм корозії під ізоляцією передбачає три вимоги:

1. Наявність кисню.
2. Висока температура.
3. Концентрація розчинених речовин.

Як правило, з підвищенням температури кількість кисню, розчиненого в розчині, зменшується з досягненням температури кипіння, що призводить до зниження швидкості корозії. Однак на поверхні, покритій ізоляцією, створюється ефект припарки.

Під ізоляцією, яка по суті робить її закритою системою, утримується вологість, яка сприяє більш ефективному розвитку корозійних ушкоджень.

Часто несподіванкою є те, що при наявності ізоляції корозійний стан конструкції під ізоляцією є більш важким, ніж в разі прямого контакту конструкції з атмосферою.

Щілинна корозія може перерости в місцеву корозію металів у вигляді окремих точкових уражень (пітінга) [7] рис. 12 або відшаровування.



Рис. 12. Вигляд поковки із матеріалу 7075-T73, враженої пітінговою корозією

Пітінг вважається більш небезпечним, ніж рівномірне корозійне пошкодження, оскільки його важче передбачити і виявити. Продукти корозії часто покривають окремі точкові ураження (ями), які утворюються внаслідок дії пітінга.

Невелика вузька яма з мінімальними загальними втратами металу може привести до виходу з ладу всієї інженерної системи [15].

Пітінг ініціюється:

1. Локалізованим хімічним або механічним пошкодженням захисної оксидної плівки. Фактори, які можуть викликати розпад захисної плівки, є кислотність, низька концентрація розчиненого кисню (які мають тенденцію робити захисну плівку оксиду менш стабільною) і висока концентрація хлориду (як у морській воді).

2. Локалізованим пошкодженням або поганим нанесенням захисного покриття.

3. Наявністю нерівномірностей в структурі металу компонента, наприклад неметалевих включень.

Теоретично, локальний осередок, що призводить до ініціювання ями, може бути викликаний аномальною анодною ділянкою, оточеною нормальною поверхнею, яка діє як катод, або наявністю аномальної катодної ділянки, оточеної нормальною поверхнею, в якій буде утворена яма.

Крім локалізованої втрати товщини, корозійні ями також можуть бути шкідливими, діючи як концентратори напруги. В основі корозійних ям може виникнути втомленість і корозійне розтріскування.

Пітінгова корозія, яка, є майже загальним знаменником всіх типів локалізованої корозійної атаки, може приймати різні форми [15].

В результаті точкової корозії можуть утворюватися ями без покриття або з напівпроникною мембраною з продуктів корозії

Ями можуть бути або напівсферичними, або чашоподібними. У деяких випадках вони мають плоску стінку, що розкриває кристалічну структуру металу, або можуть мати абсолютно неправильну форму. Пітінгова корозія виникає, коли окремі області матеріалу піддаються швидкому впливу, в той час як більша частина прилеглої поверхні залишається практично незачепленою. На рис. 13 та рис. 14 наведені загальні форми ям, розділені на дві групи [16]. Це корито подібні та бокові ями.

В табл. 1 приведені результати обстеження інцидентів і подій з літаками і вертольотами, викликаних корозією, де інцидентом було будь-яке пошкодження літака і / або травми пасажирів і членів екіпажу, а нещасним випадком - загибель літака і / або смертельні травми пасажирів і членів екіпажу. Дані взяті з веб-сайтів NTSB і FAA, які включають їх бази даних про всі авіаційні події та нещасні випадки з 1983 року. Встановлено, що в інцидентах і нещасних випадках, виявлених у зв'язку з корозією, біля восьми відсотків від загальної кількості інцидентів і нещасних випадків вказали на причину несправності у вигляді точкової корозії (табл. 1).

• **Корито**

○ *вузький, глибокий*



○ *дрібний, широкий*



○ *еліптичний*



○ *вертикальна структурна атака*



Рис. 13. Вірогідні форми корозійних ям при пітинговій корозії (типа корито)

• **Бокові ями**

○ *підповерхні*



○ *підрізні*



○ *горизонтальна структурна атака*



Рис. 14. Вірогідні форми корозійних ям при пітинговій корозії (бокові ями)

Таблиця 1. Випадки точкової корозії літаків і вертольотів [17]

Літак	Знаходження відмови	Причина	Серйозність інциденту	Місце	Рік	Інформація від
1	2	3	4	5	6	7
Bell Helicopter	Фюзеляж, лонжерон	Втома, корозія і язви мають місце	Серйозний	AR, США	1997	NTSB
DC-6	Двигун, шатун	Корозійна яма	Фатальний	AK, США	1996	NTSB
Piper PA-23	Двигун, циліндр	Корозійна яма	Фатальний	AL, США	1996	NTSB
Boeing 75	Контроль руля	Корозійна яма	Істотне пошкодження літака	WI, США	1996	NTSB
Embraer 120	Лопать пропелера	Корозійна яма	Смертельно і серйозно, втрата літака	GA, США	1995	NTSB
Gulfstream GA-681	Гідравлічна лінія	Корозійна яма	Втрата літака, без травм	AZ, США	1994	NTSB
L-1011	Двигун, диск компресора	Корозійна яма	Втрата літака, без травм	AK, США	1994	NTSB
Embraer 120	Лопать пропелера	Корозійна яма	Пошкодження літака, травми відсутні	Канада	1994	NTSB
Embraer 120	Лопать пропелера	Корозійна яма	Пошкодження літака, травми відсутні	Бразилія	1994	NTSB
F / A-18	Відкидна петля (TEF), підвісна петля	Корозійна яма, втома	Втрата ТЕФ	Австралія	1993	AMRL
Mooney M-20	Двигун, салон	Корозія, неправильний підхід	Невеликі травми	Техас, США	1993	NTSB
Aero Commander 680	Нижній лонжерон	Корозійна яма	Фатальний	Швеція	1990	Шведський СAA

Проведені дослідження вказують на велику небезпеку пітингової корозії для працездатності літаків.

Ниткоподібна корозія [5] дає появу низки малих черв'яків під поверхню фарби. Часто його можна побачити на поверхнях (рис. 15), які були неправильно хімічно оброблені перед фарбуванням.



Рис. 15. Пример ниткоподобной коррозии в конструкциях самолетов

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 [18]. Таким чином отримання максимально точної інформації про реально можливі періоди між плановими обслуговуваннями літаків є важливим завданням, яке стоїть перед дослідниками, працюючими в даній сфері діяльності.

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. Цей норматив був встановлений ще при проектуванні літаків покоління Ту-134. В наш час при переході до проектування конструкцій з ушкодженнями, що допускаються, ця умова є "консервативною" [19].

Тому розробка методик оцінки втомної довговічності елементів конструкції при наявності корозійних ушкоджень, використовуючи, як необхідний засіб, результати аналізу напружено-деформованого стану в зоні корозійних дефектів, які найчастіше зустрічаються в конструкціях літаків при їх експлуатації, дозволить уточнити допустимі параметри корозійного пошкодження і час між плановими обслуговуваннями літаків.

Найбільше інформації про вплив корозії на втомну довговічність конструкцій можуть надати їх втомні випробування при наявності корозійних ушкоджень.

Список литературы (Reference)

1. SERIES IN CORROSION, R. Winston Revie, Series Editor, Corrosion Inspection and Monitoring · Pierre R. Roberge. Royal Military College of Canada Ontario, Canada, 2007. WILEY - INTERSCIENCE. A John Wiley & Sons, Inc., Publication. Printed in the United States of America
2. E-resource. URL: <http://www.aviation-safety-bureau.com/aircraft-corrosion.html>
3. E-resource. URL: <https://www.aopa.org/go-fly/aircraft-and-ownership/maintenance-and-inspections/aircraft-corrosion>
4. E-resource. URL: <https://www.aopa.org/go-fly/aircraft-and-ownership/maintenance-and-inspections/aircraft-corrosion>
5. E-resource. URL: <http://www.dviaviation.com/aircraft-corrosion.html>
6. E-resource. URL: <https://www.aviationpros.com/home/article/10381745/spotting-treating-and-preventing-corrosion>
7. E-resource.
URL: http://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_07/corrosn.html
8. М. Р. Еникеев, И. М. Губайдуллин, М. А. Малеева. Информационно-вычислительная аналитическая система для оценки и прогнозирования коррозионных процессов на поверхности стали и алюминия, *Системы и средства информ.*, 2017, том 27, выпуск 3, 155–170.
(M. R. Yenikeev, I. M. Gubaydullin, M. A. Maleyeva. Informatsionno-vychislitel'naya analiticheskaya sistema dlya otsenki i prognozirovaniya korrozionnykh protsessov na poverkhnosti stali i alyuminiya, *Sistemy i sredstva inform.*, 2017, tom 27, vypusk 3, 155–170).
9. E-resource. URL: <http://www.dviaviation.com/aircraft-corrosion.html>
10. E-resource.
URL: <https://corrosion-doctors.org/Forms-intergranular/intergranular.htm>
11. Science journal homepage: www.elsevier.com. Modelling the effects of intergranular corrosion around a fastener hole in 7075-T651/Timothy J/ Harrison, Bruce R. Crawford, Milan Brandt, Graham Clark. School of Aerospace, Mechanical and Manufacturing Engineering, RMIT University, Melbourne, Australia. Defence Science and Technology Organisation, Melbourne, Australia. Article history: Received 6 October 2013.
12. E-resource.
URL: <http://www.corrosion-doctors.org/Forms-exfoliation/exfoliation.htm>
13. ГОСТ 5272-68. КОРРОЗИЯ МЕТАЛЛОВ. ТЕРМИНЫ
(GOST 5272-68. KORROZIYA METALLOV. TERMINY)
14. E-resource. URL: <http://www.corrosion-doctors.org/Forms-crevice/CUI.htm>
15. E-resource. URL: <https://corrosion-doctors.org/Forms-pitting/Pitting.htm>
16. E-resource. URL: <https://corrosion-doctors.org/Forms-pitting/shapes.htm>
17. E-resource. URL: <https://www.corrosion-doctors.org/Journal-2000/No3/No3-table-1.htm>
18. E-resource.
URL: <http://www.corrosion-doctors.org/Aircraft/Introduction.htm>
19. Лапаев А.В. Расчетно – Экспериментальная оценка влияния коррозионных поражений на характеристики несущей способности элементов конструкции планера воздушных судов. Московский государственный технический университет гражданской авиации. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва, 2004 - 207 с.
(Lapayev A.V. Raschetno – Eksperimental'naya otsenka vliyaniya korrozionnykh porazhenii na kharakteristiki nesushchey sposobnosti elementov konstruktsii planera vozdushnykh sudov. Moskovs'kiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet grazhdanskoj aviatsii. Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Moskva, 2004 - 207 s.).

Надійшла до редакції 10.06.2019, розглянута на редколегії 12.06.2019

Коррозионные повреждения алюминиевых сплавов в конструкции самолета

Показаны зоны коррозионных повреждений патрульного самолета Р-3, найденные в течение десятилетия его эксплуатации.

Представлены примеры повреждения конструкций самолетов в результате коррозии металлов в условиях эксплуатации. Показано негативное влияние на конструкцию самолетов сплошной (поверхностной) коррозии, межкристаллитной коррозии и расслаивающей коррозии, коррозии под напряжением, щелевой коррозии и ее разновидности - коррозии под изоляцией, нитевидной коррозии, точечной коррозии (питтинга).

Показано, что сплошная коррозия меньше влияет на структуру самолета. Она потребляет металл равномерно и относительно медленно.

Межкристаллитная коррозия обычно особенно неприятный вид коррозии. Этот вид коррозии трудно обнаружить. Очень сильная межкристаллитная коррозия иногда может приводить к отслоению поверхности металла. В крайних случаях края пораженной области напоминают разделенные страницы смоченной книги, которая распухла и начала раскрываться.

Еще одна из самых разрушительных форм коррозии - это растрескивание под воздействием коррозии под напряжением

Щелевая коррозия является очень распространенным видом, встречающимся на самолетах. Разновидностью щелевой коррозии является коррозия под изоляцией. Коррозия под изоляцией является особенно тяжелой формой локализованной коррозии.

Питтинг считается более опасным, чем равномерное коррозионное повреждение, поскольку его труднее предсказать и обнаружить.

Нитевидная коррозия дает появление ряда малых червей под поверхностью краски. Часто их можно увидеть на поверхностях, которые были неправильно химически обработаны перед покраской.

Нынешний подход к борьбе с коррозией заключается в том, чтобы удалить ее, как только она найдена, отремонтировать корродировавшую структуру или заменить компонент. Это дорого с точки зрения увеличения времени обслуживания и снижения доступности самолетов к использованию. Представляется целесообразным лечение коррозии соединениями для предотвращения коррозии и оставлением ее на месте, пока не будет упрощен доступ к пострадавшим от коррозии районам во время планового обслуживания, время проведения которых зависит от технического состояния самолетов.

Получение максимально точной информации о реально возможных периодах между плановыми обслуживаниями самолетов является важной задачей, которая стоит перед исследователями, работающими в данной сфере деятельности.

Ключевые слова: коррозия металлов, сплошная (поверхностная) коррозия, межкристаллитная коррозия, расслаивающая коррозия, коррозия под напряжением, щелевая коррозия, коррозией под изоляцией, нитевидная коррозия, точечная коррозия (питтинг), коррозионно-усталостные повреждения

Corrosion damage to aluminum alloys in airplane design

The zones of corrosive damage to the patrol aircraft R-3, found during the decade of its operation, are shown.

Examples of damage to aircraft structures due to corrosion of metals under operating conditions are presented. The negative impact on the design of the aircraft general (surface) corrosion, intergranular corrosion and exfoliation corrosion, stress corrosion cracking, crevice corrosion and its type - corrosion under insulation, filiform corrosion, pitting corrosion.

It is shown that general corrosion affects the structure of the aircraft less. It consumes metal evenly and relatively slowly.

Intergranular corrosion is usually a particularly unpleasant form of corrosion. This type of corrosion can be difficult to detect. Very strong intergranular corrosion can sometimes lead to detachment of the metal surface. In extreme cases, the edges of the affected area resemble divided pages of a dampened book that is swollen and beginning to open.

Another one of the most damaging forms of corrosion is stress corrosion cracking.

Crevice corrosion is a very common type found on airplanes. A variation of crevice corrosion is corrosion under insulation. Corrosion under insulation is a particularly severe form of localized corrosion.

Pitting corrosion is considered more dangerous than uniform corrosion damage, because it is harder to predict and detect.

Filiform corrosion, gives rise to a number of small worms under the paint surface. Often they can be seen on surfaces that have been improperly chemically treated before painting.

The current approach to dealing with corrosion is to remove it, once it is found, repair the corroded structure or replace the component. This is expensive in terms of increasing maintenance time and reducing the availability of aircraft. It is advisable to treat compounds with corrosion in order to prevent corrosion and leave it in place until access to the areas affected by corrosion during scheduled maintenance, the duration of which depends on the technical condition of the aircraft, is simplified.

Obtaining the most accurate information about the actually possible periods between the scheduled maintenance of aircraft is an important task that is faced by researchers working in this field of activity.

Key words: metal corrosion, general (surface) corrosion, Intergranular corrosion, exfoliation corrosion, stress corrosion cracking, crevice corrosion, corrosion under insulation, filiform corrosion, pitting corrosion, corrosion fatigue damage

Відомості про авторів

Топал Микола Савович – доцент кафедри проектування літаків та вертольотів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна, ORSID: 0000-0002-4901-8653.

Андрющенко Володимир Михайлович – старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування літаків та вертольотів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», Україна, ORSID: 0000-0003-1013-3803.