

Е.В. Аболихина, С.М. Чернега

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СПЛАВА Д16Т

В настоящей работе рассматривается коррозионное состояние внутренней поверхности обшивок нижних панелей из сплава Д16Т стареющего парка самолетов малой и средней дальности. Используются данные технических осмотров самолетов, собранные за период более 40 лет эксплуатации в различных регионах и климатических зонах. Анализируются причины появления коррозии, ее виды, зоны расположения очагов коррозии и определяется скорость развития коррозии по глубине материала в зависимости от зон базирования.

*Ключевые слова: питтинговая коррозия, щелевая коррозия, расслаивающая коррозия, скорость развития коррозии
Рис. 3. Лит. 2.*

О.В. Аболіхіна, С.М. Чернега

КОРОЗІЙНА СТІЙКІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ СПЛАВУ Д16Т

У даній роботі розглядається корозійний стан внутрішньої поверхні обшивок нижніх панелей зі сплаву Д16Т старіючого парку літаків малої і середньої дальності. У роботі розглянуто корозійний стан зовнішньої поверхні обшивань верхніх панелей крил старіючого парку літаків, що експлуатувались у різних регіонах і кліматичних зонах протягом 20 – 40 років. Аналізуються причини появи корозії, її види, визначена швидкість розвитку корозії у матеріалі залежно від зон базування літаків.

Ключові слова: виразкова корозія, щілинна корозія, розшаровуюча корозія, швидкість розвитку корозії

E. Abolihina, S. Chernega

THE CORROSION RESISTANCE OF STRUCTURES D16T

In this paper we consider the state of corrosion of the lower inner surface of the sheathing panels D16T aging fleet airplanes of small and medium-range missiles. Uses data technical inspections of aircraft, collected over more than 40 years of operation in different regions and climatic zones. Analyzes the reasons of corrosion and its species, location of areas of corrosion centers and the rate of corrosion is determined by the depth of the material depending on the zone-based aircraft.

Keywords: pitting, crevice corrosion, exfoliation corrosion, the rate of corrosion

Коррозионное повреждение элементов конструкции самолетов, срок эксплуатации которых составляет 20 и более лет, является дефектом, обнаруживаемым при выполнении периодического технического обслуживания самолетов как в эксплуатации, так и на базах технического обслуживания при выполнении базовых форм или капитальных ремонтов.

Особый интерес в этом плане представляет коррозионное состояние труднодоступных для осмотров зон конструкции планера и, в частности, кессонов крыльев самолетов, изготовленных из алюминиевого сплава Д16Т, где образование коррозионных повреждений происходит в закрытых полостях и имеет свои специфические особенности. Поэтому важно знать причины образования коррозии в закрытых зонах, способы ее прогнозирования и обнаружения, а также скорость развития коррозионных повреждений. Коррозионное повреждение должно быть обнаружено своевременно, до того момента, когда его удаление потребует ремонта или снизит остаточную прочность силовой конструкции планера самолета ниже допустимого уровня.

Осмотр внутренних элементов конструкции крыла на предмет отсутствия коррозии производится после демонтажа съемных панелей центропланов или средней части крыла (СЧК). Демонтаж панелей является трудоемкой и дорогостоящей процедурой. Любые демонтажно-монтажные работы могут приносить дополнительные повреждения – царапины, нарушения покрытий, повреждение крепежа и анкерных гаек, смятие и скручивание мягких топливных баков. Поэтому, если с точки зрения своевременного выявления коррозии, панели необходимо демонтировать как можно чаще, то для эффективности эксплуатации самолета это желательно делать как можно реже.

Согласно требованиям МОС [1], закрытые зоны конструкции планера должны осматриваться с периодичностью не реже 1 раза в течение 8-10 лет, а внутренние элементы конструкции в местах возможного накопления влаги – один раз в 2 – 4 года. Кессоны крыльев самолетов относятся к таким зонам.

Действительно, при сроке службы самолета 40-50 лет и периодичности демонтажа съемных панелей 2-4 года, кессон центроплана придется вскрывать не менее 10-12 раз. Необходимо оптимизировать этот процесс, усовершенствовать методы и способы неразрушающего контроля, позволяющие своевременно сигнализировать о наличии очагов коррозии внутри кессонов без

демонтажа панелей. Важно также найти индикаторы наличия коррозии внутри кессонов центропланов.

В данной работе выполнен анализ материалов о коррозионном состоянии обшивок из сплава Д16Т крыльев самолетов малой и средней дальности выпуска 1960 – 1975 г.г., эксплуатация которых проходила с различной интенсивностью в различных климатических зонах. Материалы собраны за период 1980 – 2012 г.г. Суммарный объем информации, используемый в данной работе, охватывает данные по более 1100 самолетам.

Возможные причины образования коррозии внутри кессонов и ее виды:

В процессе эксплуатации в кессоне центроплана происходят следующие физико-химические процессы, оказывающие влияние на возникновение и развитие коррозии:

- при взлете, в процессе набора высоты самолетом, из-за разности давлений - атмосферного и внутри центроплана – происходит отсасывание воздуха, находящегося в центроплане между баками и конструкцией, через дренажные отверстия. За 1-2 часа полета конструкция крыла остывает (на $H=5000\text{м}$, $t \approx -50^\circ\text{C}$);

- при посадке, во время снижения самолета, наблюдается обратная картина – выравнивание давлений происходит путем всасывания теплого воздуха ($t \approx 20-30^\circ\text{C}$) через дренажные отверстия. При соприкосновении теплого воздуха с холодными стенками лонжеронов, нервюр, топливных баков, образуется конденсат, который стекает на поверхность нижних панелей. Часть конденсата выходит через дренажные отверстия, часть – остается;

- при стоянке температура конструкции и окружающей среды выравнивается, и оставшийся конденсат, испаряясь, повышает влажность воздуха внутри кессона;

- химический состав конденсата соответствует окружающей среде.

При эксплуатации самолета, хотя процесс образования конденсата повторяется, происходит также регулярная вентиляция воздушного пространства внутри кессона. При длительном простое самолета вентиляция отсутствует, однако, в кессоне центроплана присутствует конденсат, оставшийся после последнего полета, либо, образовавшийся из-за перепада температур «день-ночь».

То., основными причинами возникновения коррозии внутри кессонов центроплана можно считать:

- неполное стекание из кессонов конденсата из-за ограниченного количества дренажных отверстий и наличия некоторого установочного угла наклона крыла на фюзеляж;

- скопление влаги и агрессивных продуктов под пенопластовыми бобышками при нарушении клевого соединения или установке их с зазорами от стрингеров и лонжеронов;

- отсутствие анодной пленки и ЛКП по дренажным отверстиям вследствие того, что разделка отверстий производилась после анодирования панелей;

- засорение пылью и грязью дренажных отверстий;

- отсутствие анодной пленки и ЛКП по отверстиям крепления бортугольников мотогондолы двигателей в зонах нервюр 5 и 6;

- склонность к расслаивающей коррозии пресованных панелей из сплава Д16Т и др.

- старение и разрушение защитных гальванических и лакокрасочных покрытий.

Внутри кессона центроплана начальные очаги коррозии в большинстве случаев возникают в виде питтингов, которые, с течением времени, сопровождаются язвенным коррозионным поражением различной глубины, переходящим затем в расслаивающую коррозию. Питтинговая коррозия обычно возникает в местах повреждения защитных покрытий (ЛКП, анодной пленки) в результате воздействия конденсата, атмосферных осадков и сред, содержащих большое количество кислых газов, и др.

Под пенопластовыми бобышками, плотно примыкающими к обшивке, и под усиливающими накладками обнаруживаются повреждения, возникшие в результате щелевой коррозии. Представляющая собой существенно локализованный процесс коррозии в щелях, трещинах и других дефектах малого объема, где корродирующий металл взаимодействует с неподвижным раствором, щелевая коррозия требует довольно длительного инкубационного периода - многих месяцев. Однажды начавшись, процесс ускоряется и, если коррозию не выявить вовремя, может представлять серьезную опасность. Обнаружить щелевую коррозию на начальных стадиях при визуальных осмотрах конструкции планера достаточно сложно. По характеру распространения щелевая коррозия происходит по границам волокон и по границам зерен материала.

Внешним признаком расслаивающей коррозии является наличие на поверхности деталей неровностей в виде бугров и трещин, идущих от торцов и отверстий, вспучивание и отслоение ЛКП и самого металла под покрытием. Расслаивающая коррозия возникает, в основном, в деталях, изготовленных из штампованных, кованных или прессованных полуфабрикатов алюминиевых сплавов Д16Т, В95Т, АК6Т1.

Расслаивающая коррозия представляет собой особый вид подповерхностной коррозии, которая развивается преимущественно вдоль волокон материала (параллельно вектору деформации, создаваемой в процессе формообразования полуфабриката) и сопровождается образованием трещин в этом направлении. Причинами появления расслоений являются - определенное структурное состояние, ориентировка в направлении деформации интерметаллидных фаз и кристаллов твердого раствора, высокая концентрация легирующих элементов или примесей и неравномерное их распределение, наличие внутренних напряжений, а также определенное физико-химическое состояние поверхности, зависящее от природы коррозионной среды [2].

Причинами появления коррозии внутри СЧК могут быть вредные примеси в топливе и наличие конденсата. В конденсате могут присутствовать разного вида сернистые соединения, вымытые из топлива. А при заражении топливохранилищ грибами, могут содержаться коррозионно-активные продукты жизнедеятельности и гибели грибковой микрофлоры. В случае отслоения герметика агрессивная влага может длительное время находиться в контакте с обшивкой и др.

Проведенные фрактографические и металлографические исследования характера коррозионных повреждений нижних панелей СЧК показали, что они имели характер питтинговой или язвенной коррозии. Глубина язв составляла от нескольких микрон до сквозных величин. На поверхности обшивок также наблюдались отдельные каверны, достигающие нескольких миллиметров в диаметре (рис. 1).

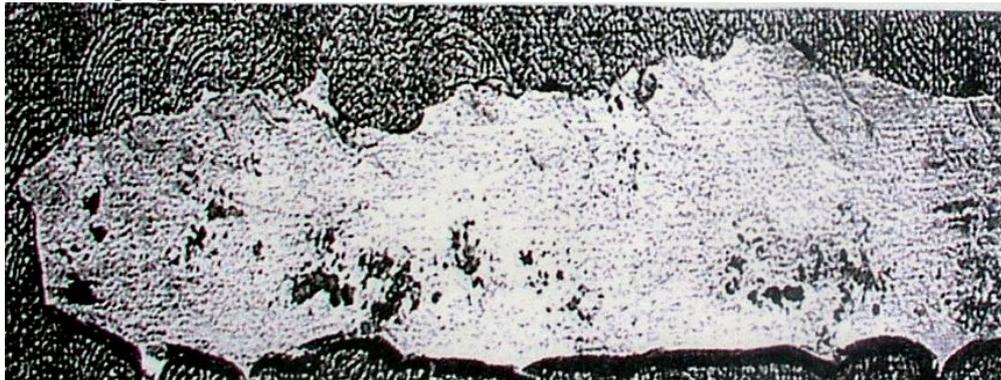


Рис. 1. Вид участка обшивки нижней панели СЧК, поврежденного коррозией.

Изучение материала обшивок проводилось на нетравленных микрошлифах, изготовленных по дефектам в долевом и поперечном направлениях. Установлено, что начальные участки повреждений представляли собой микрорастворы границ зерен, очевидно, обусловленные взаимодействием металла (в местах нарушения защитного покрытия) с продуктами жизнедеятельности микроорганизмов, находящихся в топливе (рис. 2). Характер исследованных повреждений свидетельствует о том, что они образовались в результате биологической коррозии. Дальнейшее развитие повреждений происходило по механизму межкристаллитной и расслаивающей коррозии.

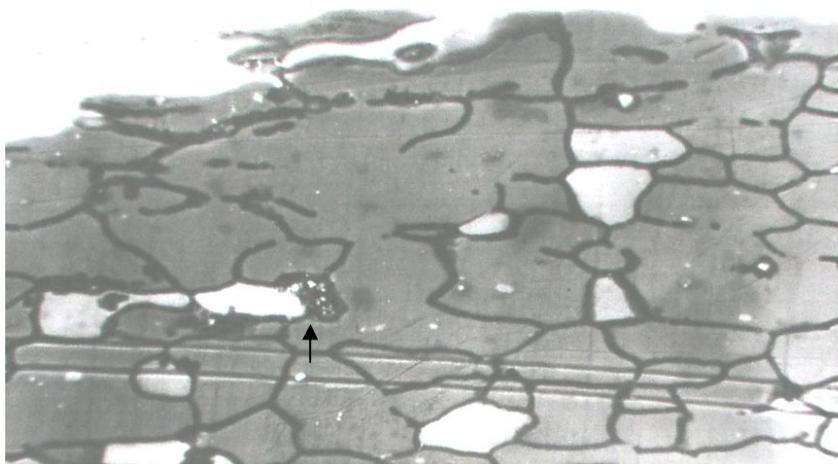


Рис. 2. Микрорастворы границ зерен (нетравленый микрошлиф) обшивки нижней панели СЧК, поврежденной коррозией

Характеристика статистической информации и методика ее обработки. Срок службы самолетов с начала эксплуатации составлял в среднем 20 - 45 лет. Периодичность технических осмотров между соседними ремонтами - 5 - 16 лет. В работе были использованы данные по результатам осмотров внутреннего состояния 1100 самолетов, из которых на 126 самолетах была обнаружена коррозия обшивок внутри кессонов центроплана и на 32 самолетах была обнаружена коррозия обшивок внутри СЧК. Как отмечалось выше, обшивки центроплана и СЧК изготовлены из естественно состаренного алюминиевого сплава Д16Т системы Al-Cu-Mg.

За интервал времени, в течение которого возникла коррозия, принимали срок службы между смежными т.е. предыдущим и последующим вскрытиями кессонов. Следует отметить, что данная методика охватывает период роста повреждений, однако, невозможно учесть в полной мере период их накопления. Кроме того, при определении скорости развития коррозии не учитывались данные по самолетам, внутри кессонов которых повреждений не обнаружено. Таким образом, в работе произведена оценка скорости роста повреждений без учета периода их накопления, т.е. при наличии имеющихся способствующих факторов: микродефектов и микротрещин в защитных покрытиях либо в результате изменения влажности атмосферы при вскрытиях кессонов.

Зоны образования коррозии внутри кессонов крыла. Внутри кессонов центропланов коррозия возникает на нижних и на верхних панелях, на поясах и балках лонжеронов, на элементах силового набора (стрингеры и нервюры). Для самолетов малой и средней дальности наибольшую повреждаемость коррозией имеют нижние панели центроплана. Нижние панели выходят на первое место и по размерам повреждений (площади и глубине коррозии). Необходимо отметить, что под повреждаемостью нижних панелей подразумевается наличие очагов коррозии непосредственно на полотне панели или ее стрингерах либо одновременно и на панелях и на стрингерах. Максимальное их количество наблюдается между 2 и 5 нервюрами центроплана (НЦ) (рис. 3). В этих зонах дефекты выявляются почти на каждом пораженном коррозией самолете. Коррозия сосредотачивается, в основном, под пенопластовыми бобышками контейнеров топливных баков, у дренажных отверстий, у I и II лонжеронов центроплана. Эти зоны доступны для выполнения ультразвукового контроля (УЗК) с целью выявления утонений нижних панелей центроплана вследствие образования коррозии внутри кессонов.

В зоне же между 2 НЦ лев. – 2 НЦ прав. очагов коррозии относительно мало. Это можно объяснить как отсутствием топливных баков в этой зоне, так и наличием некоторого температурного градиента в результате контакта с фюзеляжем, обогреваемым в пассажирских машинах.

На основании полученных данных разработана карта ультразвукового контроля (УЗК) толщины нижних панелей центроплана самолетов, которая позволяет надежно обнаруживать наличие очагов коррозии на их внутренней поверхности. Это позволяет эксплуатировать стареющие самолеты и их модификации без демонтажа панелей независимо от зоны базирования в течение не менее 10 лет после предыдущего осмотра.

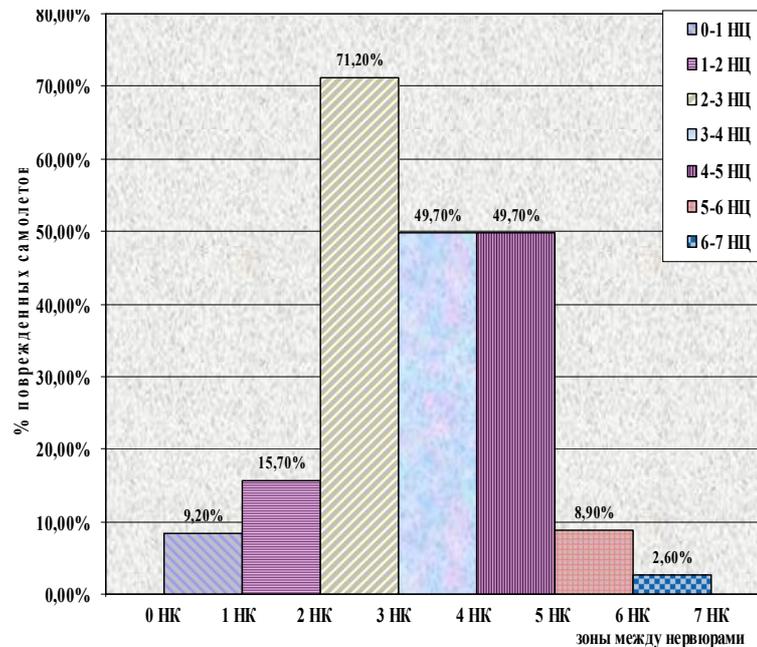


Рис. 3. Повреждаемость коррозией внутренней поверхности нижних панелей центропланов самолетов малой и средней дальности

Максимальное количество дефектов на внутренней поверхности нижних панелей СЧК по размаху крыла сосредоточено между стр. 4-6. Вдоль хорды крыла наибольшее количество коррозионных поражений сосредоточено между 7а и 8а НК.

На ГП «Пнтонов» разработаны Рекомендации по обнаружению и устранению коррозионных поражений, усилению противокоррозионной защиты элементов конструкции планера самолетов, как в эксплуатации, так и на капитальных ремонтах [3].

Необходимо отметить, что за весь период эксплуатации рассматриваемых самолетов не было обнаружено коррозионных повреждений силовых элементов внутри кессонов, понижающих остаточную прочность ниже допустимого уровня. Не было также обнаружено случаев образования усталостных трещин от внутренних очагов коррозии кессонов.

Разработанная карта ультразвукового контроля толщины нижних панелей центропланов, позволяет надежно обнаруживать наличие коррозии внутри центропланов самолетов.

Возможные повреждения биологической (язвенной) коррозией нижних панелей СЧК надежно обнаруживаются по отпотеванию топлива на внешней поверхности нижних панелей.

Повреждаемость коррозией обшивок нижних панелей крыла в различных условиях эксплуатации оценка скорости развития коррозионных повреждений. Все места базирования самолетов были сгруппированы по макроклиматическим районам и зонам воздействия агрессивных атмосфер:

- с умеренным климатом (средние температуры $+40^{\circ}\text{C}$ – -40°C) – Украина, центральная часть России, Белоруссия, Молдавия ...;
- с резко выраженным континентальным холодным климатом (средние минимальные температуры могут быть ниже -40°C с большими перепадами в течение суток, наличие ветров, инея, обледенения, мелкой снежной пыли) – Якутск, Сургут, Тюмень ...;
- с морским климатом (содержание в атмосфере сернистого газа, хлоридов) – Прибалтика, Дальний восток, Крым, Архангельск ...;
- с влажным тропическим климатом (характерно одновременное действие высокой относительной влажности воздуха и таких факторов, как высокие температуры, интенсивные осадки и конденсация влаги, воздействие биологических факторов, интенсивная солнечная радиация) – Куба, Вьетнам, Сомали ...;
- промышленные зоны (расположены, в основном, в зонах умеренного климата) – г. Москва, г. Киев, г. Тула, г. Ижевск ...;
- со смешанным климатом (включая эксплуатацию самолетов в условиях умеренного и тропического климата либо эксплуатацию в промышленной зоне и в условиях влажных тропиков ...) – Башкирия – Судан, Британия – Камбоджа

Если коррозия возникла, то с течением времени эксплуатации или по мере увеличения налета, скорость ее развития увеличивается. В качестве критерия скорости развития коррозионного повреждения было принято изменение максимальной глубины повреждения в очаге. Скорость развития коррозии для каждой климатической зоны определялась как функция глубины h коррозионного поражения от времени T , являющегося периодом между смежными осмотрами кессонов (с демонтажем съемных панелей центроплана). Графически данные статистики представлялись в виде массива в координатах «Глубина коррозионного повреждения – срок службы между смежными осмотрами». Для простоты интерпретации массив полученных данных был аппроксимирован прямой линией, по которой проводилась приближенная оценка средней скорости развития коррозии на внутренней поверхности обшивок центропланов.

Интенсивность эксплуатации анализируемых групп самолетов не имела существенных отличий. Наиболее низкие значения глубины повреждений зафиксированы на самолетах, эксплуатирующихся в регионах с умеренным климатом.

Результаты обработки данных свидетельствуют, что скорости развития коррозии в обшивках из алюминиевого сплава Д16Т составляют:

– умеренный климат –	~0,12 мм/год;
– резко-континентальный климат –	~0,23 мм/год;
– промышленные зоны –	~0,33 мм/год;
– морской климат –	~0,34 мм/год;
– смешанные условия эксплуатации –	~0,28 мм/год;
– влажные тропики –	~0,40 мм/год;

На самом деле такая оценка является приближенной по нескольким причинам:

1. Аппроксимирующая прямая (кривая 1 порядка) имеет низкий коэффициент корреляции.
2. Срок эксплуатации самолетов является одним из основных факторов, влияющих на скорость развития коррозии, однако не учтено влияние других, не менее важных факторов, таких, как налет самолета и интенсивность полетов

Выводы:

1. За весь период эксплуатации самолетов малой и средней дальности на конструктивных элементах внутри кессонов центропланов не обнаружено очагов коррозии, понижающих остаточную прочность ниже требуемого уровня, что свидетельствует об эффективности мероприятий, направленных на обеспечение безопасности эксплуатации стареющего парка этих самолетов.
2. Наиболее подверженными коррозии по двум факторам - по количеству очагов и их размерам (площадь и глубина), являются нижние панели кессонов центроплана, которые могут служить индикатором возможного наличия коррозии и на других внутренних элементах конструкции.
3. За весь период эксплуатации самолетов малой и средней дальности не было обнаружено случаев образования усталостных трещин от внутренних очагов коррозии элементов конструкции кессонов.
4. Разработана карта ультразвукового контроля толщины нижних панелей центроплана, которая позволяет надежно обнаруживать наличие очагов коррозии на их внутренней поверхности. Это позволяет эксплуатировать данные самолеты без демонтажа панелей независимо от зоны базирования в течение не менее 10 лет после предыдущего осмотра.
5. Коррозия внутренней поверхности нижних панелей СЧК может быть своевременно обнаружена по отпотеванию топлива на внешней поверхности панелей.
6. Получены данные о скорости развития коррозии в алюминиевом сплаве Д16Т, из которого изготовлены нижние панели центропланов, в зависимости от зон базирования самолетов (промышленных и климатических).
7. Полученные данные о скорости развития коррозии могут использоваться для определения необходимой периодичности осмотров кессонов с демонтажем панелей самолетов малой и средней дальности

1. Методы Определения Соответствия к АП 25.571 «Обеспечение безопасности конструкции по условиям прочности при длительной эксплуатации», 1996 г.
2. Обнаружение, устранение коррозии, восстановление и усиление противокоррозионной защиты элементов конструкции планера изделий Ан-24, Ан-24Т, Ан-26, Ан-30, Ан-32 в эксплуатации и при капитальном ремонте. Производственная инструкция ОПИ 472-87 (второе издание) – 1987.

Стаття надійшла до редакції 27.04.2013.

© Е.В. Аболихина, С.М. Чернега