

I. N. Kartsan, V. S. Ponomarev, E. S. Zhukova, S. V. Litoshik

ASTRONOMICAL SOURCES OF PRIMARY NAVIGATION INFORMATION FOR AUTONOMOUS DEFINITION OF THE OBJECT MOTION

Analyzed astronomical sources of primary navigation information for autonomous determination of the motion of objects.

Keywords: antiaircraft distance of a star, compression of a terrestrial spheroid, an intensity vector.

© Карцан И. Н., Пономарев В. С., Жукова Е. С., Литошик С. В., 2011

УДК 629.7.017.1

А. В. Кацура, В. А. Лавренов, А. А. Рябин

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Использование этих методов на различных этапах эксплуатации обеспечивает достоверность оценки технического состояния летательных аппаратов (ЛА).

Ключевые слова: техническая диагностика, неразрушающий контроль, коррозионное поражение.

Применение методов неразрушающего контроля для исходного материала, заготовок, полуфабрикатов и готовых деталей на этапах производства авиационной техники способствует выпуску продукции высокого качества. Использование методов неразрушающего контроля на различных этапах эксплуатации при выполнении периодических и целевых технических осмотров обеспечивает предотвращение лётных происшествий, полную выработку назначенных и межремонтных ресурсов и их обоснованное увеличение при сохранении заложенного уровня надёжности, повышение достоверности оценки технического и коррозионного состояния высоконагруженных элементов конструкции.

Контроль технического состояния выполняется для получения информации о фактическом состоянии летательного аппарата.

Внезапный отказ, обусловленный повреждением или усталостным разрушением элемента, обычно легко выявляется при визуальном контроле.

Коррозия считается актуальной проблемой эксплуатации. В связи с этим по требованиям ИКАО – программы по сохранению целостности конструкции ЛА – обязательно включают программы по предупреждению и контролю уровня коррозии. В частности, программа коррозионной защиты содержит описание методов обнаружения, удаления и предупреждения коррозии. Основным средством обнаружения повреждения вследствие коррозии является визуальный осмотр, для недоступных зон применяются методы неразрушающего контроля [1].

Коррозионные поражения элементов, возникающие в процессе эксплуатации, требуют своевременного обнаружения и устранения. Неудаленные очаги коррозии

при дальнейшей эксплуатации развиваются, как правило, без торможения во времени.

Своевременное обнаружение коррозионных поражений при визуальных и инструментальных осмотрах зависит от возможности доступа к осматриваемой зоне и величины (относительного размера) поражения.

Схемы и рисунки элементов конструкции, которые необходимо контролировать по коррозионному состоянию при выполнении технического обслуживания, методы удаления очагов коррозии и восстановления защитных покрытий приведены разработчиком ЛА в руководстве по защите от коррозии летательного аппарата в эксплуатации.

Коррозионные поражения элементов, находящихся в легкодоступных местах, также выявляются при визуальных осмотрах.

Для осмотра труднодоступных зон необходимо использовать переносные лампы, поворотные зеркала, перископические дефектоскопы, эндоскопы и другие инструменты.

При осмотре силовых элементов конструкции с целью контроля коррозионного состояния необходимо через определенные периоды времени применять инструментальные методы неразрушающего контроля.

Для обеспечения полного использования возможностей методов неразрушающего контроля должны выполняться следующие условия:

1) в процессе разработки летательного аппарата и эксплуатационно-технической документации должно быть предусмотрено применение методов неразрушающего контроля для проверки технического состояния частей и узлов ЛА;

2) при проектировании летательного аппарата необходимо предусмотреть контролепригодность конструк-

ции и возможность доступа к контролируемым зонам, соответствующего используемым методам контроля;

3) конструкция летательного аппарата должна быть приспособлена (адаптирована) к существующим методам и средствам неразрушающего контроля. Если возможность применения этих методов не обеспечена (а также невозможны другие виды контроля состояния или осмотры, освидетельствования), конструкцию необходимо модифицировать или нужно подобрать (разработать) новый метод исследования состояния ЛА и аппаратуру для обследования конструкции;

4) определены зоны, представляющие наибольшую опасность, на основе анализа напряжений, результатов статических и динамических испытаний или на основе систематизации данных по отказам подобных конструкций.

Методы обнаружения дефектов материала и выявления признаков разрушения деталей и элементов конструкции. Наиболее распространены в условиях производства, эксплуатации и ремонта авиационной техники оптические радиационные, магнитные, капиллярные, вихревые и акустические методы контроля [2].

Из оптических методов наиболее широко распространён оптико-визуальный метод с использованием луп, жёстких и гибких эндоскопов и других приборов.

Оптико-визуальный метод предназначен для обнаружения различных поверхностных дефектов материала деталей и, при наличии каналов для доступа приборов к контролируемым объектам, скрытых дефектов агрегатов, для контроля закрытых участков, труднодоступных мест самолетных и двигательных конструкций с применением оптических приборов. Этот метод позволяет обнаружить большие раскрытые трещины, механический износ, поверхностную коррозию, пробоины, обрывы, остаточную деформацию, нарушение сплошности защитных покрытий.

Для контроля удаленных объектов, расположенных на расстоянии более 250 мм от глаз наблюдателя, применяют телескопические лупы и бинокли. Детали и элементы конструкций, недоступные прямому наблюдению, осматривают с применением гибких телескопических приборов – эндоскопов, сконструированных на основе волоконной оптики.

Рентгеновский метод обеспечивает выявление дефектов, протяженность которых составляет 1...2 % толщины просвечиваемого объекта, наименьшая ширина раскрытия трещин – 0,1 мм в конструкциях до 40 мм, при толщине, большей 40 мм – 2,5 % от просвечиваемой толщины. В полевых, цеховых, ангарных условиях применяются установки РУЛ 120-5, РАЛ 150-3ДФ, РАЛ 200М-6Н. Недостатки метода: громоздкость и сложность аппаратуры, низкая маневренность в цехе и на аэродроме, трудность подходов с рентгеновской трубой к деталям, высокая стоимость поиска дефектов, наличие опасности для людей.

Магнитопорошковый метод, применимый для контроля деталей, выполненных из магнитных сталей (стальные детали), основан на обнаружении с помощью ферромагнитных частиц, выполняющих роль индикаторов, искажения (рассеяния) магнитных полей над дефектами. Проходя по бездефектным зонам, магнитный поток не меняет направления и не выходит за пределы детали. Если на пути магнитного потока встречаются участки с пони-

женной магнитной проницаемостью, то часть магнитного потока выходит за пределы детали, образуя неоднородное магнитное поле рассеяния. Применяется для выявления поверхностных и неглубокозалегающих (на глубине 0,1...0,3 мм) поверхностных дефектов. Выявляются микротрещины с шириной раскрытия 0,001...0,003 мм и более на глубину 0,01...0,05 мм, а также крупные дефекты (непровары, поры и т. п.) площадью 2...3 мм², лежащие на небольшой глубине под поверхностью (1...3 мм). Недостатки метода: необходимость снятия (удаления) защитного покрытия толщиной более 0,03 мм, затруднённая расшифровка результатов, вероятность неполного размагничивания деталей и влияния их на курсовые индикаторы.

Капиллярный метод предназначен для выявления поверхностных дефектов (трещин усталостного и коррозионного происхождения, коррозионных повреждений, оценки полноты удаления коррозионных дефектов) на деталях, предварительно очищенных от лакокрасочных покрытий и продуктов коррозии. Чувствительность метода позволяет обнаружить трещину с шириной раскрытия 0,001 мм, глубиной 0,01 мм и протяжённостью более 0,1 мм.

Капиллярный контроль возможен при условии, что параметр шероховатости Rz зачищенной поверхности не превышает 20 мкм.

Контроль обширных поверхностей с целью выявления коррозионных поражений (проверка полноты удаления коррозии) осуществляется набором дефектоскопических материалов ЦМ-15В (И₂М₂П₂) по ОСТ 1.90282–79.

Выявление локальных коррозионных поражений обеспечивается цветным набором дефектоскопических материалов ЦМ-15В (И₂М₂П₁₃) по ОСТ 1.90243–83.

Сущность контроля капиллярным методом состоит в том, что на очищенную поверхность контролируемой детали наносят окрашенную в красный цвет или люминесцирующую смачивающую жидкость, заполняющую полости имеющихся дефектов. Затем жидкость удаляют с поверхности детали. Оставшаяся в полостях дефектов часть жидкости выступает из них после нанесения проявителя в виде специальной белой проявляющей краски или порошка. Выступающая жидкость окрашивает проявитель и образует хорошо видимый на белом фоне красный или люминесцирующий в ультрафиолетовых лучах индикаторный рисунок – информативный параметр капиллярных методов, который свидетельствует о наличии дефекта, указывает место его расположения, форму и протяжённость на поверхности детали. Достоинства метода: чувствительный, точный, применим для исследования больших зон поверхности деталей за один приём, результаты очень наглядны. Недостатки состоят в том, что необходимо удаление защитного покрытия любой толщины, высокая трудоемкость и длительность процесса – около 1...3 ч, низкая вероятность обнаружения дефектов под оксидными плёнками, в поверхности после механической обработки.

Вихревой метод применяется для неразрушающего контроля деталей из немагнитных материалов, для обнаружения поверхностных или близко расположенных к поверхности дефектов и коррозионных поражений (на глубине около 1 мм), закрытых слоем диэлектрика или

металла, а также для определения полноты устранения коррозии после зачистки механическим способом. Позволяет определять дефекты на глубину 0,15...0,2 мм, длиной 0,6...2,0 мм и шириной раскрытия трещины 0,0005...0,001 мм. Метод основан на возбуждении в материале вихревых токов и оценке их влияния на магнитный поток, создаваемый катушкой индуктивности (преобразователем). Вихретоковый контроль является локальным, и для проверки детали преобразователь необходимо перемещать по всей зоне, подлежащей контролю. Контроль осуществляется высокочастотными статическими дефектоскопами типа ВДУ-20КМ, ВДЛ-20, ВД-1ГА, ППД-2М, ТВД, ВД-22Н («Проба-5»), динамическими модуляционными вихретоковыми дефектоскопами и градиентометрическими дефектоскопами типа «Дуэт-С», «Полёт-ЗС».

Выявление коррозионных повреждений под слоем диэлектрика или металла осуществляется вихретоковыми градиентометрическими дефектоскопами типа «Дуэт-С», «Полёт-ЗС», дефектоскопом Phaseck 2200 (Англия), с помощью многофункционального прибора «Алкопроб» и другими приборами.

Контроль обширных поверхностей целесообразно проводить динамическими модуляционными вихретоковыми дефектоскопами типа ВД-21НД («Проба-3»), обладающими высокой скоростью сканирования. Дефектоскопы обеспечивают выявление коррозионных поражений на плоских или имеющих большой радиус кривизны участках контролируемой поверхности.

Принцип действия градиентометрических дефектоскопов основан на регистрации изменения градиента результирующего электромагнитного поля, вызванного наличием поверхностного или подповерхностного дефекта в зоне взаимодействия вихретокового преобразователя с электропроводящим материалом контролируемой детали. Градиентометрические приборы настраиваются по контрольным образцам, а затем подстраиваются на бездефектном участке контролируемой детали. Рабочая частота выбирается с учётом электропроводности и предполагаемой глубины залегания дефекта. С увеличением электропроводности и глубины залегания дефекта рабочая частота должна выбираться более низкой. Градиентометрические дефектоскопы обеспечивают выявление подповерхностных коррозионных поражений на деталях толщиной от 1 до 3 мм в виде трещин длиной более 3 мм; в виде раковин диаметром не менее 3 мм, если глубина дефекта составляет не менее 30 % от толщины контролируемой детали.

Контролю могут подвергаться как однослойные, так и двухслойные конструкции. При контроле двухслойных конструкций с коррозионным дефектом, расположенным между слоями металла (например, между стрингером и обшивкой), преобразователь перемещается между заклепками в двух взаимно перпендикулярных направлениях, желательнее с двух противоположных сторон, так как на показания приборов существенное влияние оказывает зазор между пластинами. При проведении контроля в двух взаимно перпендикулярных направлениях настройку прибора перед сканированием необходимо проводить в каждом из направлений. Наличие дефекта определяется звуковой, световой или стрелочной индикацией.

Недостатками метода являются сложность определения характера дефекта и его размеров по результатам контроля, отсутствие наглядности результатов измерения, большая трудоёмкость ручного контроля обширных поверхностей, более низкая чувствительность по сравнению с магнитопорошковым и капиллярным методами к поверхностным дефектам по их глубине и протяжённости, ограниченное применение в деталях с резко меняющейся толщиной и при толщинах детали, соизмеримых с глубиной проникновения вихревого тока.

Преимущества метода состоят в отсутствии необходимости зачистки поверхности, возможности обнаружения дефектов на небольших поверхностях в труднодоступных местах конструкции, выявлении микротрещин с шириной раскрытия у выхода на поверхность 0,5 мкм, возможности контроля многослойных неразъемных конструкций.

Самыми распространенными из акустических методов неразрушающего контроля являются ультразвуковой метод, импульсный эхо-метод, акустический импедансный метод [3].

Ультразвуковой метод предназначен для неразрушающего контроля деталей из сталей и сплавов (немагнитных и магнитных материалов), обнаружения дефектов различного происхождения. Главное достоинство метода – возможность определения при одностороннем подходе наличия и размеров внутренних дефектов, находящихся на большой глубине или выходящих на недоступную поверхность. Позволяет контролировать внутренние дефекты на площади 1,0...1,5 мм², поверхностные дефекты глубиной 0,1...0,3 мм, протяжённостью 1,0...2,0 мм и трещины с раскрытием 0,001...0,3 мм. Применяются дефектоскоп типа УД2-12, толщиномер типа УТ93П.

Акустический импедансный метод дефектоскопии в авиации используют при исследовании элементов конструкции, выполненных из композиционных материалов, с целью выявления отслоений обшивки от заполнителя или от элементов каркаса в сотовых конструкциях закрылков, тормозных щитков, спойлеров, сервокомпенсаторов, органов механизации и органов управления самолетов. Метод основан на различии механических импедансов дефектного и бездефектного участков контролируемого изделия. Механическим импедансом Z (или полным механическим сопротивлением) называется отношение приложенной возмущающей силы F к скорости V колебаний частиц среды в точке приложения силы: $Z = F / V$. Механический импеданс многослойной, например сотовой конструкции в зоне приложения к ней преобразователя – дефектоскопа – определяется всеми элементами: обшивкой и сотовым заполнителем, соединёнными клеевым слоем в одну механическую систему. Когда обшивка и сотовый заполнитель соединены между собой, конструкция колеблется как единое целое, а механический импеданс и связанная с ним сила реакции F_p изделия на преобразователь максимальны. При установке преобразователя в зону сотовой конструкции, где имеется отслоение обшивки или непрочной между обшивкой и сотовым заполнителем, амплитуда силы реакции резко уменьшается ($F_{p2} < F_{p1}$). Это обусловлено тем, что жесткость отслоившейся обшивки существенно меньше жесткости всей конструкции.

Для выявления отслоений обшивки от сотового заполнителя используют акустические импедансные дефектоскопы ИАД-3, АД-40И. Применение дефектоскопа АД-40И предпочтительнее, так как конструкция его преобразователей обеспечивает постоянство силы прижатия контактного наконечника к контролируемому изделию и перпендикулярность оси колебательной системы к поверхности обшивки. Это значительно облегчает проведение контроля и анализ его результатов. Кроме того, дефектоскоп АД-40И обеспечен автономным питанием (аккумуляторными батареями).

В настоящий момент при проведении неразрушающего контроля предлагается использовать новые приборы.

1. Портативный дефектоскоп для комплексного контроля – MIZ-21SR – для определения параметров и характеристик коррозионных процессов и процессов коррозии под напряжением в металле, который объединяет вихретоковый и два ультразвуковых прибора (резонансный и велосимметрический), что позволяет определить повреждение структуры в многослойных материалах.

2. Акустические контрольные системы – толщиномеры ультразвуковые (табл. 1) и дефектоскопы ультразвуковые для контроля изделий из металлов и пластмасс (табл. 2).

3. Импедансный экспресс-тестер – ТЭРИ-04. Современная альтернатива простукиванию «молотком» сотовых авиационных конструкций.

4. Томографик УД4-Т – многозначный режим работы, быстрая смена приложений (ультразвуковой дефектоскоп (0,2...10 МГц); ЭМА-толщиномер (0,2...700 мм); резонансный дефектоскоп (0,2...10 МГц)); вихретоковый дефектоскоп (1,0...10 МГц); акустический тензомер (определение затяжки резьбовых деталей); видеоскоп.

Библиографические ссылки

1. Неразрушающий контроль и диагностика : справочник / В. В. Клюев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев [и др.]. 2-е изд., испр. и доп. М. : Машиностроение, 2003.
2. Пивоваров В. А., Машонин О. Ф. Дефектоскопия гражданской авиационной техники. М. : Транспорт, 1997.
3. Ямпольский В. И., Белоконов Н. И., Пилипосян Б. Н. Контроль и диагностирование гражданской авиационной техники. М. : Транспорт, 1990.

Таблица 1

Толщиномеры ультразвуковые

Марка прибора	Температурный диапазон применения, °С	Частота измерения, МГц	Диапазон измерений, мм
А 1207	-30...+50	10	0,8...30
А 1207С	-30...+50	5	10...200
А 1208	-30...+55	2; 10	0,8...300
А 1209	-30...+45	2,5; 5; 10	0,6...300
ЭМА А 1270	-20...+45	2; 5	0,5...100

Таблица 2

Дефектоскопы ультразвуковые для контроля изделий из металлов и пластмасс

Марка прибора	Температурный диапазон применения, °С	Частота измерения, МГц
А 1212 мастер IP65	-20...+45	0,5...15
А 1214 эксперт IP65	-30...+45	0,5...15

A. V. Katsura, V. A. Lavrenov, A. A. Ryabin

USAGE OF NDT (NONDESTRUCTIVE TEST) METHODS FOR DIAGNOSTICS OF CORROSION DAMAGE OF AIRFRAME STRUCTURE

Usage of the proposed methods at different phases of maintenance provides credibility of assessment of aircraft technical condition

Keyword: technical diagnostics, NDT (nondestructive test), corrosive damage.

© Кацура А. В., Лавренов В. А., Рябин А. А., 2011