



ВИХРЕТОКОВЫЙ МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ УЗЛОВ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В. Н. УЧАНИН, В. Я. ДЕРЕЧА

Рассмотрены основные требования к вихретоковым портативным дефектоскопам для выявления поверхностных дефектов в авиационных конструкциях. Представлено портативный дефектоскоп автогенераторного типа, показаны его основные преимущества при контроле узлов авиационной техники. Рассмотрены методические особенности вихретокового контроля элементов авиационных конструкций и типовые примеры его применения.

Main requirements to portable eddy-current defectoscopes for surface imperfection detection in aviation constructions are examined. A portable defectoscope of autogenic type is presented, and its basic advantages for testing aircraft equipment units are demonstrated. Methodical peculiarities of eddy-current testing of aircraft structural components and standard examples of its application are considered.

Широкое применение методов и способов неразрушающего контроля (НК) узлов авиационной техники является одним из важнейших элементов обеспечения ее надежной эксплуатации [1–3]. Основная задача НК относительно авиационной техники (АТ) состоит в своевременном выявлении дефектов, в частности: технологических, возникающих в процессе производства АТ; эксплуатационных (усталостных, коррозионных), возникающих в процессе эксплуатации АТ.

При анализе результатов НК на всех этапах производства, испытаний или эксплуатации АТ важно определение причин появления дефектов с целью разработки способов по обеспечению бездефектного производства и безаварийной эксплуатации АТ. Таким образом, НК является неотъемлемым звеном для обеспечения качества АТ при ее проектировании, изготовлении, испытаниях, доводке и эксплуатации.

Опыт эксплуатации авиационной техники показывает, что их надежность базируется на основе подходов, учитывающих объективное наличие дефектов при условии широкого применения методов НК. К наиболее значимым современным концепциям, базирующимся на НК, можно отнести [2, 3]:

концепцию опасного разрушения, согласно которой признана допустимость образования трещин силовых элементов конструкций до окончания установленного ресурса при условии выявления и отбраковки поврежденных узлов и деталей;

концепцию допустимого повреждения, которая практикуется с 70-х годов прошлого столетия и не исключает наличия дефектов материала авиационных узлов в момент выхода их в эксплуатацию при условии выявления дефектов методами НК в докритической стадии развития.

При реализации современных концепций эксплуатации АТ доминирующее значение имеет вихретоковый метод, благодаря многим преимуществам в сравнении с другими методами НК [4–10]. Это единственный метод, который может быть эффективно использован для выявления скрытых дефектов в многослойных авиационных конструкциях, в частности, в зоне заклепок [9, 10]. Но наиболее традиционным и эффективным является использование вихретокового метода для выявления поверхностных трещин в зонах концентрации напряжений при продлении ресурса при эксплуатации АТ [4–8].

Основные требования к вихретоковым дефектоскопам для контроля авиационной техники. К вихретоковым дефектоскопам (ВД), применяемым в авиации, предъявляется ряд специфических требований [4, 11–12]. Необходимо обеспечить высокую чувствительность к коротким и мелким дефектам типа усталостная трещина; высокую локальность контроля, необходимую для контроля деталей с криволинейной поверхностью, например, в зоне галтельных переходов, в зоне заклепок или на внутренней стороне отверстий. Необходимо также обеспечить отстройку от изменений зазора между вихретоковым преобразователем (ВТП) и контролируемой поверхностью, так как контроль при эксплуатации часто проводится через слой защитного покрытия. Очень важно также снизить влияние края для того, чтобы выявлять трещины в зоне заклепок и болтовых соединений. ВД должен обеспечивать работу в полевых и аэродромных условиях (например, на крыле самолета или на стремянке), быть легким, защищенным от пыли и влаги, иметь автономное питание, простую индикацию результатов (звуковую и световую), а также обеспечиваться комп-



лектом износостойких ВТП для контроля труднодоступных мест (отверстий, пазов, резьб и т. п.)

В авиационной промышленности широко используются переносные статические ВД автогенераторного типа [4, 5]. Общее для этих приборов — это включение обмотки ВТП параметрического типа в качестве элемента колебательного контура автогенератора. Такой ВТП — простейший из возможных вариантов исполнения ВТП, так как имеет одну обмотку. Это дает возможность изготовить его небольших размеров, что обеспечивает высокую локальность контроля, а также возможность контроля зоны отверстий и галтельных переходов. В СНГ приборы такого класса появились еще в середине 50-х годов. Необходимость была вызвана освоением производства тяжелых самолетов и мощных авиационных двигателей. Наиболее успешно применялись автогенераторные ВД типа ПРОБА-5, ВДЦ и ТВД-А [4, 5]. Сейчас они уже сняты с производства, но до настоящего времени используются на многих авиапредприятиях при проведении регламентных работ для продолжения ресурса авиационной техники, хотя уже и не удовлетворяют современным требованиям и морально устарели. Для их замены в Центре «Леотест-Медиум» при Физико-механическом институте НАН Украины по техническим заданиям АНТК «АН-ТОНОВ» разработаны несколько модификаций ВД типа ЛЕОТЕСТ (ВД 3.01, ВД 3.02, ВД 3.03, ВД 4.01, ВД 4.02, ВД 4.03) [11,12]. За счет применения современной элементной базы существенно снижено энергопотребление и габариты ВД, что особенно важно при работе в аэродромных условиях. ВД аттестуются и поверяются органами Госпотребстандарта Украины.

Вихретоковые дефектоскопы типа ЛЕОТЕСТ ВД. Преимуществом применения автогенераторной схемы включения ВТП есть возможность использования наиболее простых ВТП параметрического типа (рис. 1), которые состоят из одной обмотки, размещенной на ферритовом сердечнике (на рис. 1 не показано). Комплексное сопротивление обмотки ВТП при этом определяется не только его собственными параметрами, но и интенсивностью возбуждаемых вихревых токов. При наличии дефектов происходит перераспределение вихревых токов, что приводит к изменениям комплексного сопротивления обмотки ВТП, которое в свою очередь обуславливает изменение режима работы генератора, в контур которого включен ВТП, регистрируемое схемой индикации дефектоскопа.

Реализованный в дефектоскопах типа ЛЕОТЕСТ метод предусматривает полное разделение сигнала от дефекта и зазора на основе применения

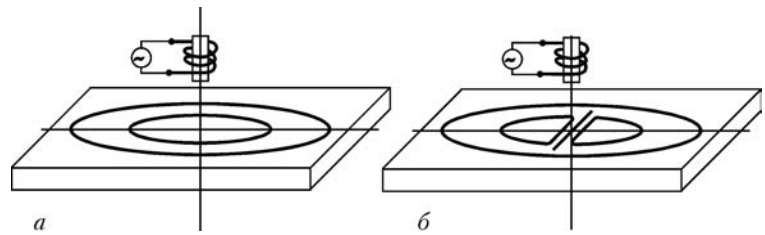


Рис. 1. Схемы принципа действия автогенераторных вихретоковых дефектоскопов: а — образец с дефектом; б — образец без дефекта

двухконтурных автогенераторов, а также высокую чувствительность к изменениям комплексного сопротивления ВТП на основе использования режима прерывистой генерации автогенератора [4, 11, 12]. Разработано несколько модификаций прибора с одинаковыми метрологическими характеристиками, но с различными массой, габаритами и сервисными особенностями. Дефектоскопы комплектуют ВТП «карандашного» типа, специальными ВТП для контроля резьбовых соединений, контроля кромок лопаток и труднодоступных мест, в частности, для выявления дефектов на внутренних поверхностях отверстий, в том числе после удаления заклепок в условиях ремонта АТ. Разработаны также экранированные ВТП, с помощью которых можно обеспечить контроль зоны заклепочных и болтовых соединений. Рабочие частоты контроля от 3 до 5 МГц в зависимости от удельной электропроводности материала объекта контроля (ОК). Приборы позволяют выявлять дефекты через слой лакокрасочного покрытия толщиной 0,5...0,8 мм. С помощью специальной методики можно обеспечить отстройку от влияния края изделия и обеспечить контроль краевых зон, например, в зоне заклепок. Внешний вид дефектоскопа ЛЕОТЕСТ ВД 3.01- 3.03 с «карандашным» и Г-образным ВТП представлен на рис. 2.

Разделение влияния трещины и зазора основано на особенностях годографа внесенного импе-



Рис. 2. Внешний вид дефектоскопов ЛЕОТЕСТ ВД 3.01- 3.03 с «карандашным» (подключен к прибору) и Г-образным (слева) датчиками

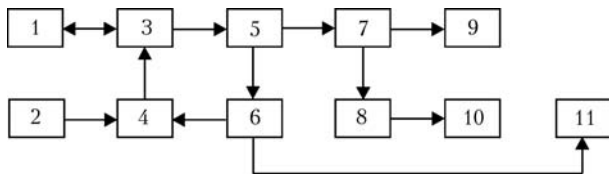


Рис. 3. Функциональная схема автогенераторного дефектоскопа

данса ВТП на высоких частотах в так называемой заэкстремальной области. Известно, что на невысоких частотах (т. е. в доэкстремальной области) линии зазора и дефекта близки по направлению [4, 11, 12]. Если обеспечить выбор рабочей точки годографа по экстремуму, то увеличение зазора уменьшает составляющие внесенного импеданса, а дефект типа трещина дает обратный эффект и увеличивает реальную составляющую импеданса. Таким образом, дефект ухудшает добротность рабочего контура автогенератора, а увеличение зазора наоборот улучшает добротность контура. В нашем случае для материалов с разной электропроводностью при применении ВТП с обмоткой диаметром 1,2 мм (диаметр ферритового сердечника) такой эффект достигается выбором рабочей частоты в диапазоне 3...5 МГц. Такой диаметр ВТП позволяет обеспечить высокую чувствительность к коротким трещинам длиной 1...2 мм, что требуется при контроле авиационных конструкций.

Функциональная схема ВД (рис. 3) состоит из ВТОП 1 в виде выносной катушки индуктивности, которая включена в контур автогенератора 3. Автогенератор 3 подключен к стабилизированному источнику питания 2 через источник тока 4, который управляется при помощи цепи обратной связи, состоящей из предварительного усилителя 5 и формирователя 6. Напряжение с предварительного усилителя 5 через инвертор 7 подается на стрелочный прибор 9 (дефектоскопы ЛЕОТЕСТ ВД 3.01-ВД 3.03), а через усилитель звуковой частоты 8 на звуковой индикатор 10 (наушники). Для большей эффективности индикации выявленного дефекта в схему введен светодиодный индикатор 11.

Автогенератор выполнен по двухконтурной схеме с емкостной обратной связью. Такие автогенераторы более гибкие в выборе необходимого режима, который задается выбором расстраивания рабочего и опорного контуров и коэффициента связи между ними (задается емкостью связи). Важное отличие двухконтурных автогенераторов от одноконтурных — это зависимость коэффициента обратной связи от частоты. Это качество двухконтурных генераторов используется для уменьшения влияния зазора. Автогенератор работает в режиме прерывистой генерации, который достигается, если постоянная времени цепи автосмещения генератора намного больше постоянной времени рабочего колебательного контура [4].

При этом переходные процессы в контуре протекают быстрее, и генератор генерирует пакеты импульсов, частота прохождения которых зависит от отношения постоянных времени. Поскольку постоянная времени рабочего контура будет зависеть от внесенного сопротивления, то о дефектах можно судить по изменению частоты прохождения импульсов. Частоту прохождения импульсов устанавливают в звуковом диапазоне, что позволяет контролировать состояние автогенератора с помощью головных телефонов. По характерным звуковым сигналам можно не только регистрировать наличие дефектов, но и контролировать правильность установки ВТП на контролируемое изделие, в частности, величину зазора и перекосы.

Технические характеристики дефектоскопов

1. *Порог чувствительности:* выявление на образце из алюминиевого сплава искусственного поверхностного дефекта типа трещина длиной 2 мм, раскрытием 0,1 мм и глубиной 0,2 мм (ВД 3.01, ВД 4.01, ВД 3.03, ВД 4.03); выявление на образце из титановых сплавов и аустенитных сталей искусственного поверхностного дефекта длиной 2 мм, раскрытием 0,1 мм и глубиной 0,5 мм (ВД 3.02, ВД 4.02, ВД 3.03, ВД 4.03); выявление на образце из ферромагнитных сталей искусственного поверхностного дефекта длиной 2 мм, раскрытием 0,1 мм и глубиной 0,5 мм (ВД 3.03 и ВД 4.03).

2. *Питание:* от автономной вмонтированной аккумуляторной батареи напряжением 9 В; от цепи переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц с помощью выносного блока, который одновременно служит зарядным устройством.

3. *Сигнализация о наличии дефекта:* осуществляется звуковым и светодиодным индикаторами; приборы типа ВД 3.01 — ВД 3.03 имеют дополнительно стрелочную индикацию.

4. *Потребляемая мощность, ВА:* не более 0,03.

5. *Габаритные размеры:* 60×160×1405 мм (ВД 3.01 — ВД 3.03); 35×90×110 мм (ВД 4.01 — 4.03).

6. *Масса:* не более 0,5 кг (ВД 4.01 — 4.03) и не более 1,0 кг (ВД 3.01 — 3.03).

Дефектоскопы типа ЛЕОТЕСТ применяются для контроля авиационных конструкций в эксплуатации, в частности, проведения работ по продлению продолжения ресурса самолетов АН-12, АН-24, АН-26, АН-30. Приборы применяются для контроля обшивки фюзеляжа и крыла, силовых панелей крыла и центроплана, барабанов колес, лопаток и дисков двигателей, воздушных винтов и т. п. (рис. 4). При этом была подтверждена их высокая чувствительность и возможность реализации на их базе типовых методик ВТ контроля узлов авиатехники. Это позволило ввести методики по применению этих дефектоскопов в регламент по техническому обслуживанию самолетов АНТК «АНТОНОВ» [11, 12].



Дефектоскопы применяют также для НК в процессе создания новой авиационной техники на этапе летных, ресурсных статических и усталостных испытаний опытных образцов. Важно, что в отличие от других приборов, дефектоскопы типа ЛЕОТЕСТ ВД эффективны для выявления дефектов на узлах из титановых сплавов. Это дает возможность планировать введение вихретокового контроля титановых деталей, в частности, деталей шасси (кронштейны, рычаги, траверсы и т. п.) самолетов АН-72.

Кроме того, дефектоскопы применяют для контроля элементов авиационных двигателей ЗКМБ «ПРОГРЕСС» им. акад. Ивченко, ОАО «МОТОРСИЧ», для контроля авиационных узлов самолетов и вертолетов разного типа в условиях авиационных заводов.

Вихретоковые дефектоскопы типа ЛЕОТЕСТ применяют не только для решения авиационных задач. Они применяются для выявления трещин в лопатках из аустенитных сталей газоперекачивающих агрегатов и тепловых электростанций, в зоне сварных швов ферромагнитных сталей, для контроля валов нефтеперекачивающих насосов в соответствии с отраслевым стандартом [13], при контроле деталей агрегатов компрессорных станций [14] и др.

Особенности применения автогенераторных дефектоскопов для контроля авиационной техники. Общие особенности применения статических дефектоскопов для контроля авиационных конструкций регламентируются производственной инструкцией ВИАМ (Всесоюзный институт авиационных материалов, сейчас Всероссийский институт авиационных материалов, Москва) [8]. Контролю подлежат детали, изготовленные из сплавов на основе алюминия, значения удельной электропроводности которых находятся в диапазоне от 10 до 37 МСм/м. Поверхность контролируемого изделия в зоне контроля должна быть очищена от грязи, масла и лакокрасочного покрытия, если его толщина превышает 200 мкм. Шероховатость поверхности не должна превышать 12,5 мкм. Радиус кривизны в зоне контроля должен быть не менее 6 мм. С поверхности в зонах контроля должны быть удалены поверхностные дефекты (раковины, риски, вмятины, забоины, коррозионные повреждения).

Вихретоковый контроль выполняется:

в соответствии с техническими требованиями чертежа детали;

в соответствии с другими документами (листок запроса, служебная записка и т. п.), когда подозревают дефект или для подтверждения дефектов, выявленных другими методами;

в соответствии с «Регламентом технического обслуживания самолетов»;



Рис. 4. Контроль обшивки фюзеляжа в зоне откидной рампы самолета АН-12 с помощью дефектоскопа ЛЕОТЕСТ ВД.3.01

в соответствии с картами неразрушающего контроля (КНК), включенными в перечень работ по исследованию технического состояния самолетов;

в соответствии с КНК, включенными в перечень работ при выполнении ремонтов и доработок самолетов.

Технологический процесс контроля включает следующие операции: подготовку ОК к контролю; выделение на поверхности ОК зон контроля; выбор типа ВТП и схем сканирования для каждой из зон контроля;

проверку работоспособности дефектоскопа и ВТП;

настройку дефектоскопа;

контроль ОК по зонам;

расшифровка результатов контроля;

оформление результатов контроля.

Подготовка ОК к контролю состоит в проверке соответствия ОК требованиям, изложенным выше и сопроводительной документации.

На поверхности ОК выделяют отдельные зоны контроля: торцы ребер жесткости, лапок, полок; радиусные (галтельные) переходы; днища проточек, колодцев, пазов; стенки колодцев, пазов; стенки сквозных и глухих отверстий; краевые зоны; участки с одинаковой кривизной; участки, прилегающие к ферромагнитным элементам; участки сопряжения материалов с разной электропроводностью; участки с разной толщиной лакокрасочного покрытия.

В зависимости от геометрических характеристик зон контроля и доступа к ним происходит выбор типов ВТП, конструкция которых рассчитана на применение их для контроля соответствующих зон. Проверка работоспособности дефектоскопа проводится в соответствии с руководством по эксплуатации дефектоскопа и включает следующие операции:

контроль целостности электрической цепи ВТП;

контроль соответствия питания дефектоскопа номинальному напряжению;

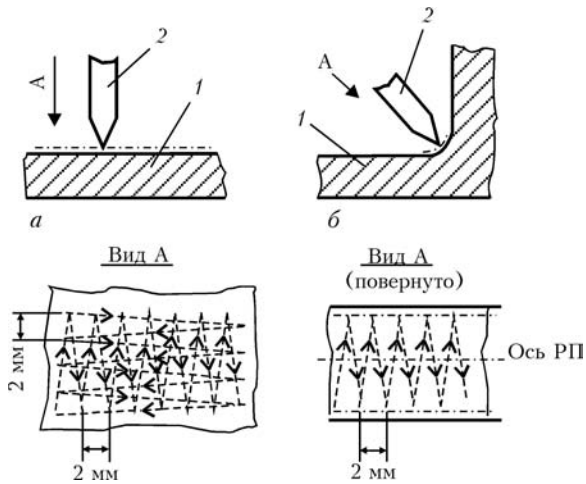


Рис. 5. Схемы сканирования: а — участков плоских поверхностей; б — радиусных переходов (РП): 1 — объект контроля; 2 — ВСП

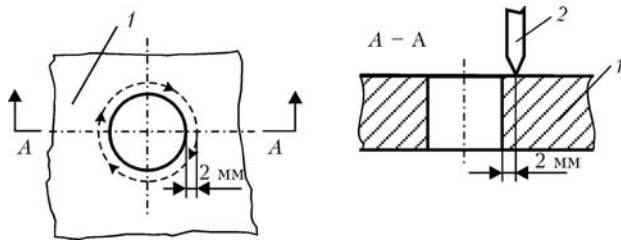


Рис. 6. Схема сканирования краевой зоны отверстий: 1 — объект контроля; 2 — ВСП

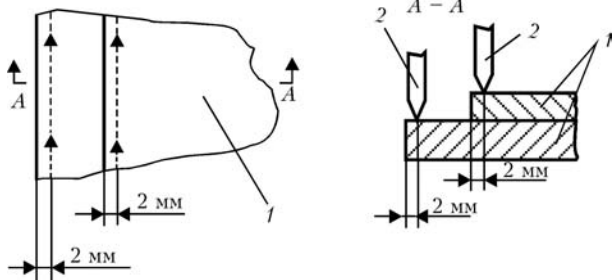


Рис. 7. Схема сканирования стыка обшивок: 1 — объект контроля; 2 — ВСП

настройка дефектоскопа на бездефектном участке стандартного образца;

перемещение ВСП в зону искусственного дефекта;

контроль срабатывания всех систем сигнализации дефектоскопа при прохождении ВСП над искусственным дефектом;

контроль возвращения всех систем сигнализации в начальное состояние при перемещении ВСП на бездефектный участок.

Проверка работоспособности в указанной последовательности выполняется со всеми ВСП, которые будут применены при контроле, а в случае любой неисправности дефектоскоп к работе не допускается. Настройку дефектоскопа необходимо проводить перед контролем каждой зоны ОК; при

переходе к контролю деталей, которые изготовлены из материала с другой удельной электрической проводимостью, при смене типа ВСП. Настройку дефектоскопа следует проводить, установив ВСП на ОК по нормали к поверхности зоны контроля с усилием, приблизительно равным массе преобразователя. Наклон оси катушки индуктивности ВСП дефектоскопа относительно нормали к поверхности допускается не более $\pm 10^\circ$. После осуществления настройки дефектоскопа на бездефектном участке проводят проверку, выполняя перемещение ВСП в границах зоны контроля по произвольному треугольнику со сторонами в несколько миллиметров. Если показания индикатора имели незначительные плавные отклонения, то настройка была проведена на бездефектном участке. Перед контролем радиусного (галтельного) перехода (РП), настройку необходимо проводить, установив ВСП на расстоянии 1,0...1,5 мм от оси перехода. Для проверки правильности настройки необходимо установить ВСП в месте, симметричном ранее выбранному. Если показания индикатора имели незначительные плавные отклонения, то настройка была проведена на бездефектном участке. Перед контролем стенки отверстия такую проверку проводят путем вращения ВСП вокруг своей оси на $20...30^\circ$ в обе стороны относительно начальной ориентации. Если показания индикатора не изменились, то настройка была проведена на бездефектном участке. В дальнейшем контроль осуществляется путем перемещения (сканирования) ВСП по всей зоне контроля в соответствии с избранной схемой сканирования. При проведении контроля ось катушки ВСП должна быть перпендикулярна поверхности зоны контроля в каждой точке траектории сканирования, а усилие прижима ВСП равно его массе. Скорость перемещения ВСП при вихретоковом контроле не должна превышать 50 мм/с. При контроле участков плоских поверхностей ОК сканирование осуществляется путем зигзагообразного перемещения ВСП в двух взаимно перпендикулярных направлениях с шагом 2 мм (см. рис. 5, а). В случае контроля радиусных переходов — зигзагообразного перемещения ВСП в направлении, перпендикулярном оси перехода (см. рис. 5, б).

При проведении вихретокового контроля краевых зон (край детали, отверстий, пазов, колодцев; места сопряжения с другими деталями, изготовленными из немагнитных материалов — заклепка, стык обшивок и др.) перемещение ВСП осуществляется вдоль края (линии соединения) на расстоянии 2 мм от него до оси катушки ВСП. Ниже приведены схемы сканирования при контроле краевой зоны отверстий (рис. 6), зоны стыка обшивок (рис. 7) и зоны заклепок (рис. 8). Контроль зоны вокруг отверстий, заклепок, болтов выполняется

путем перемещения ВТП вокруг таких элементов по замкнутой траектории (рис. 6, 8).

В случае сопряжения зоны контроля ОК с деталями, изготовленными из ферромагнитных материалов (болты, втулки, обоймы подшипников, накладки и др.), расстояние от линии сопряжения до оси катушки ВТП должно составлять 4 мм (рис. 9).

Контроль стенок отверстий следует проводить специальными внутренними ВТП, диаметр рабочей части которых должен быть практически равным диаметру контролируемого отверстия. Минимальная высота стенок контролируемого отверстия (толщина ОК в зоне отверстия) должна быть не меньше 4 мм.

Контроль стенки цилиндрического отверстия после операции настройки следует проводить в следующей последовательности:

- повернуть ВТП вокруг его оси по часовой стрелке на угол 380...400°;
- переместить ВТП по высоте (глубине) контролируемого отверстия на шаг сканирования;
- повернуть ВТП вокруг его оси против часовой стрелке на угол 380...400°;
- переместить ВТП на шаг сканирования, последовательно повторяя перечисленные операции.

Шаг сканирования должен быть равным 2 мм. Наличие дефектов определяется по показаниям индикатора и систем сигнализации дефектоскопа. Если при сканировании произошло срабатывание систем сигнализации дефектоскопа, то необходимо проверить настройку и, при необходимости, откорректировать ее, а затем переместить ВТП над предполагаемым дефектом в направлении, перпендикулярном границе области срабатывания систем сигнализации. Если все системы сигнализации дефектоскопа стабильно срабатывают при каждом перемещении ВТП над предполагаемым дефектом, обнаруженный дефект необходимо классифицировать. Когда при перемещении ВТП вдоль и зигзагообразно поперек направления развития выявленного дефекта точки поверхности, в которых срабатывает система сигнализации, создают некоторую линию, то такой дефект классифицируют как трещину. При перемещении ВТП над трещиной скачкообразно изменяются показания стрелочного индикатора с дальнейшим возвратом к исходным значениям, а в системе сигнализации дефектоскопа проходит короткий импульс, который приводит к кратковременному ее срабатыванию. При перемещении ВТП вдоль трещины наблюдается длительное срабатывание систем сигнализации, а отклонение показаний индикатора может плавно меняться.

Когда в контролируемой зоне существуют участки локального изменения удельной электрической проводимости материала, вызванной коррозийным поражением, нарушением сплошности

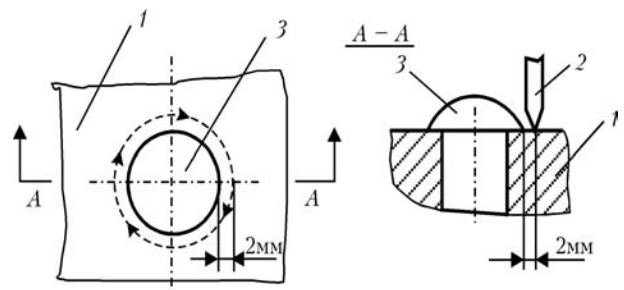


Рис. 8. Схема сканирования зоны заклепки: 1 — объект контроля; 2 — ВТП; 3 — заклепка

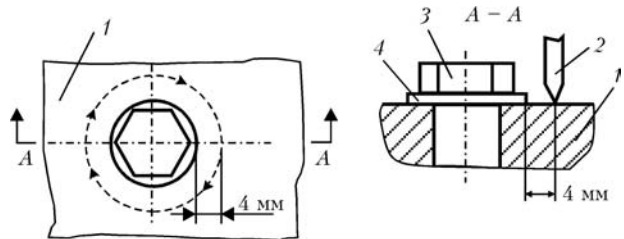


Рис. 9. Схема сканирования зоны стального болта: 1 — объект контроля; 2 — ВТП; 3 — стальной болт; 4 — стальная шайба

или толщины плакированного слоя, локальным перегревом материала или наличием пористости, также происходит срабатывание систем сигнализации и изменение показаний индикатора дефектоскопа в границах зоны дефекта. Плавное изменение показаний индикатора и тона звуковой сигнализации без срабатывания систем сигнализации дефектоскопа не является признаком дефекта и может свидетельствовать о наличии зон структурной или магнитной неоднородности, изменения толщины стенок, конфигурации детали, толщины покрытия и т. п. Характер дефекта и причины его возникновения при необходимости могут определяться другими методами исследования материалов (металлография, фрактография и др.).

После выявления и классификации дефекта необходимо определить его геометрические размеры (длину трещины, границы локального изменения электропроводности). Для этого устанавливают ВТП в положение, при котором системы сигнализации дефектоскопа начинают стабильно срабатывать, и, перемещая его зигзагообразно поперек и вдоль дефекта, фиксируют граничные положения ВТП, при которых системы сигнализации перестают срабатывать. Для более точного определения границ дефекта, выявленного под слоем покрытия, его необходимо удалить, а настройку и контроль проводить на участке без покрытия.

Методика вихретокового контроля в зоне отверстий (заклепок и болтов) с определением длины трещин представлена схематично на рис. 10.

Методика определения условной длины и координаты размещения трещины реализуется в следующем порядке (рис. 10):

- 1) устанавливают ВТП в зоне контроля на расстоянии $2,5 \pm 0,5$ мм от края отверстия, кромки из-

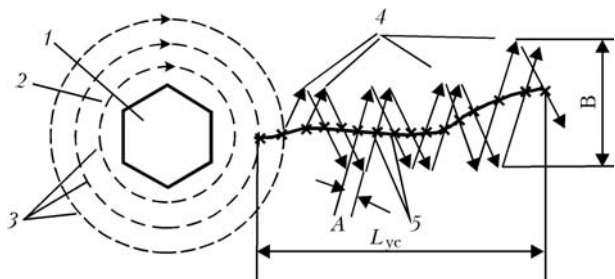


Рис. 10. Схема определения направления и длины трещины: 1 — головка болта; 2 — неконтролируемая зона; 3 — круговые маршруты перемещения датчика; 4 — зигзагообразные маршруты перемещения датчика; 5 — точки срабатывания сигнализации дефектоскопа; L_{yc} — условная длина трещины

деля или головки заклепки, изготовленных из алюминиевых сплавов, и на расстоянии $4 \pm 0,5$ мм от стальных изделий (кромки, головок болтов, шайб, гаек);

2) перемещают ВТП по круговым (полукруговым) маршрутам зоны контроля (расстояние между линиями круговых маршрутов не более $2,5 \pm 0,5$ мм);

3) отмечают на круговых (полукруговых) линиях маршрута перемещения ВТП точки срабатывания сигнализации дефектоскопа;

4) проводят через выявленные две точки трещины прямую линию (эта линия и будет начальным направлением размещения трещины);

5) от второй точки, выявленной на круговом маршруте, переходят на зигзагообразный маршрут и перемещают ВТП в направлении продолжения начальной линии трещины; при этом отмечают на пути перемещения ВТП новые точки срабатывания дефектоскопа в зоне контроля; повторяют проход ВТП зигзагообразного маршрута со сдвигом A (рис. 10) не более 1,5 мм; при допустимом шаге выступов зигзагообразного маршрута $3 \pm 0,5$ мм ширина маршрута B должна быть 25 ± 15 мм в зависимости от формы контролируемой поверхности;

6) перемещения ВТП по зигзагообразному маршруту продолжают до тех пор, пока не прекратится срабатывание сигнализации дефектоскопа на маршруте перемещения ВТП;

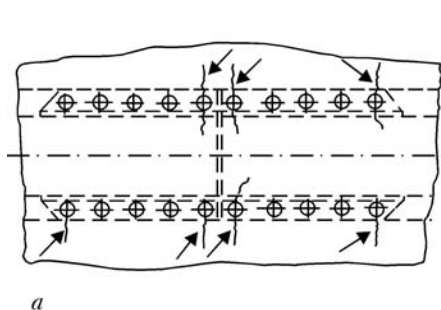
7) соединяют с помощью мела или карандаша начальную линию трещины со всеми последующими точками срабатывания сигнализации наличия трещины; полученная таким образом линия будет определять место расположения выявленной трещины в зоне контроля;

8) замеряют с помощью линейки условную длину трещины между начальной и конечной точками трещины;

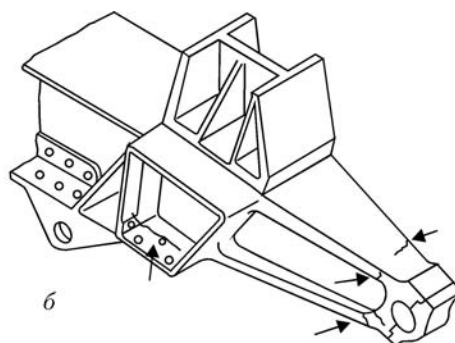
9) составляют эскиз трещины, указывают ее длину и координаты размещения на элементе конструкции. При этом базой координатного отсчета принимали лонжерон, нервюру, шпангоут, стрингер и др. элементы и узлы конструкции.

Результаты контроля оформляют в установленном на предприятии порядке свидетельством, записью в технологический паспорт детали и журнал учета работ. В свидетельстве и журнале учета работ указывают: наименование объекта контроля; марку материала объекта контроля; название технологической документации, в соответствии с которой проводился контроль; результаты контроля (выявленные дефекты, их размещение и т. п., при необходимости — эскиз); дату проведения контроля и фамилию работника, который его проводил.

Характерные примеры авиационных узлов, подлежащих контролю вихретоковым методом. Приведем примеры узлов авиационных конструкций, контролируемых высокочастотными статическими вихретоковыми дефектоскопами на наличие поверхностных трещин с использованием представленных выше методических рекомендаций. Показаны места расположения типовых дефектов, выявляемых вихретоковым методом. Подобные эскизы типовых узлов и возможные дефекты определяются в перечне мест концентрации напряжений в элементах конструкций самолета, который утверждается генеральным конструктором. Подобные перечни определяют места, требующие повышенного внимания при проведении контроля на этапе капитальных ремонтов (рис. 11). Места наиболее вероятного размещения дефектов показаны стрелками.



а



б

Рис. 11. Типовое расположение дефектов, выявляемых в узле стыковки стрингеров (а) и в кронштейне подвески головной шасси ноги (б)

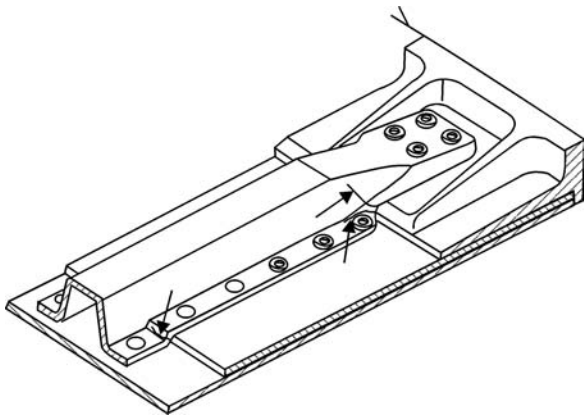


Рис. 12. Типовое расположение дефектов, выявляемых в головке стрингера на нижней панели СЧК

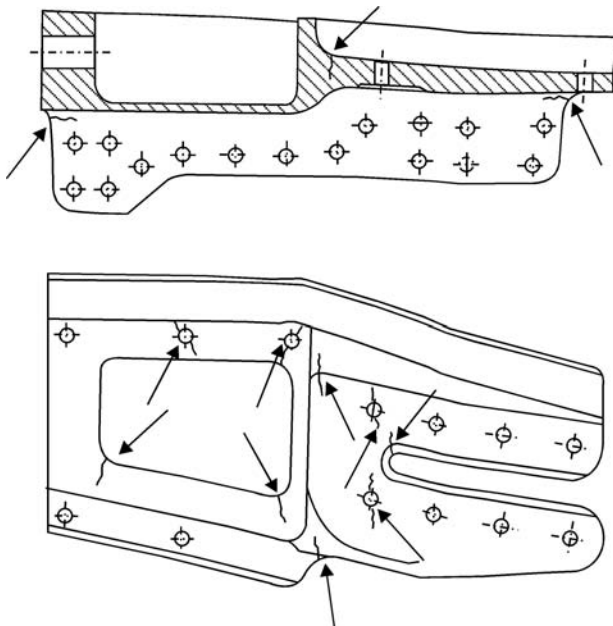


Рис. 13. Типовое расположение дефектов в стыковочных поясах лонжеронов

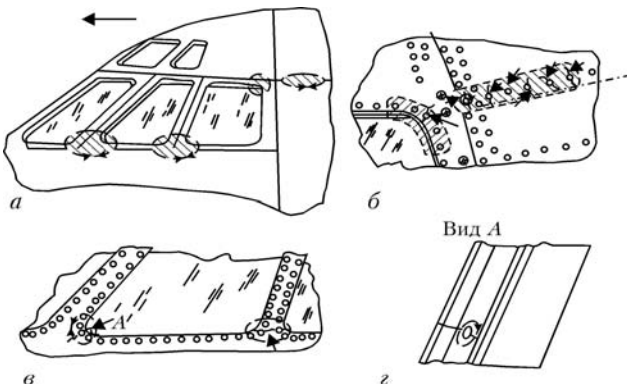


Рис. 14. Схема типичного размещения трещин наружной окантовки обшивки фонаря пилота около углов вырезов окон кабины, выявляемых вихретоковым методом

Ниже представлено характерное расположение дефектов (показано стрелками), которые выявляются вихретоковым методом в головке стрингера на нижней панели средней части крыла (СЧК)

(рис. 12) и в стыковочных фитингах поясов лонжеронов (рис. 13).

На рис. 14 показано: *а* — характерное расположение дефектов наружной обшивки фонаря пилота около углов вырезов окон кабины самолета Ту-154 (стрелкой показано направление полета самолета); *б* — увеличенный вид извне фюзеляжа на типовой трещине в окантовке фонаря и обшивке по стрингеру; *в* — увеличенный вид типовых трещин в окантовке фонаря, выявляемых извне фюзеляжа; *г* — вид по стрелке *А* (рис. 14, *в*) на трещине в торцевой части окантовки, выявляемые при открытой форточке фонаря изнутри кабины пилота. На представленных рисунках штриховыми кривыми со стрелками выделены и заштрихованы зоны контроля.

Выводы

Вихретоковый контроль имеет исключительно большое значение при внедрения современных концепций безопасной эксплуатации авиационных конструкций.

Рассмотрены основные требования к вихретоковым портативным дефектоскопам для выявления поверхностных дефектов в авиационных конструкциях.

Представлено портативный дефектоскоп автогенераторного типа, показаны его основные преимущества при контроле узлов авиационной техники.

Рассмотрены методические особенности вихретокового контроля элементов авиационных конструкций и типовые примеры его применения.

1. Schmidt H.-J., Schmidt-Brandecker B., Tober G. Design of modern aircraft structure and the role of NDI // *Insight*. — 2000. — 42, № 3. — P. 141–147.
2. Ball D. L. The Role of Nondestructive Testing in Aircraft Damage Tolerance // *Materials Evaluation*. — 2003. — № 7. — P. 814–818.
3. Лопаткин В. И. Новые формы реализации прогрессивных концепций обеспечения надежности авиаконструкций // *Пробл. безопасности полетов*. — 1988. — № 9. — С. 15–42.
4. Дорофеев А. Л., Казаманов Ю. Г. Электромагнитная дефектоскопия. — М.: Машиностроение, 1980. — 232 с.
5. *Неразрушающий контроль металлов и изделий*: Справ. / П. И. Беда, Б. И. Выборнов, Ю. А. Глазков и др. // Под ред. Г. С. Самойловича. — М.: Машиностроение, 1976. — 456 с.
6. Беда П. И., Сапунов В. М. Опыт вихретокового контроля крепежных отверстий в конструкциях авиационной техники // *Дефектоскопия*. — 2000. — № 4. — С. 3–9.
7. *Nondestructive Testing Handbook*. Vol.4: Electromagnetic Testing (Eddy current, flux leakage and Microwave Nondestructive Testing). Second edition. Edited by R.C. McMaster and P. McIntire. — USA: American Society for NDT, 1986. — 677 p.
8. Производственная инструкция ПИ 1.2.174–81 «Выявление поверхностных дефектов в металлических материалах с помощью электромагнитных высокочастотных статических дефектоскопов». Утверждено ВИАМ и ГосНИИЭРАТГА 15.05.81 / Минавиапром СССР. — М.: ОНТИ ВИАМ, 1981. — 39 с.



9. Учанин В. Н. Вихретоковый метод обнаружения скрытых дефектов усталостного и коррозионного происхождения. — Киев: О-во «Знання» УССР, 1988. — 20 с.
10. Учанин В. Н., Цирг В. Н. Опыт применения низкочастотных вихретоковых дефектоскопов для выявления скрытых дефектов усталостного и коррозионного происхождения // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 1989. — № 4. — С. 71–75.
11. Учанин В. Н., Черленевский В. В. Вихретоковый дефектоскоп для обнаружения поверхностных трещин // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів: Зб. наук. праць. — Львів: Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенка НАНУ. — 1999. — С. 108–110.
12. Учанин В. Н., Дереча В. Я. Вихретоковые статические дефектоскопы для обнаружения поверхностных дефектов в узлах авиационной техники // Мат. 4-ї Нац. наук.-техн. конф. і виставки «Неруйнівний контроль та технічна діагностика» (НКТД-2003). — Київ, 2003. — С. 358–361.
13. ГСТУ В.2.3-0001201.02-2000. Експлуатація, технічне обслуговування і ремонт обладнання і споруд нафтоперекачувальних станцій. — Ч. 2. Дефектоскопія валів нафтоперекачувальних насосів // В. А. Корнійчук, Б. І. Стоян, В. І. Дуля, С. О. Смолка, В. М. Учанін. — Київ: Держнафтогазпром України. — 54 с.
14. Берник З. А., Учанін В. М. Комплексна дефектоскопія деталей газоперекачуючих агрегатів довготривалої експлуатації // Методи і прилади контролю якості. — 2005. — № 13. — С. 13–18.

Фіз.-мех. ін-т ім. Г. В. Карпенко НАНУ,
Центр «Леотест-Медіум», Львів,
АНТК «АНТОНОВ», Київ

Поступила в редакцію
21.02.06

НОВОСТИ ИЗ ИНТЕРНЕТА

ЗАО «НТНК» Новые технологии. Неразрушающий контроль.

Серия двухпроводных датчиков РТХ600 с выходным сигналом 4...20 мА применяется для работы в сложных эксплуатационных условиях на производстве, в исследовательских лабораториях, в составе испытательных стендов. Серия включает в себя все достоинства предыдущих аналогов и имеет более высокие характеристики стабильности и точности измерений, а также гибкую конструкцию для обеспечения совместимости со стандартным производственным оборудованием. Компанией Dgisk была специально разработана кремниевая технология изготовления миниатюрных кремниевых мембранных чувствительных элементов с улучшенными рабочими характеристиками. Чувствительный элемент установлен на изолирующей стеклянной подложке, которая соединена с металлическим основанием. Это обеспечивает исключительную защиту от воздействия перепадов температур и от механических повреждений.

Чувствительный элемент защищен разделительной мембраной, изготовленной из сплава Hastelloy. Корпус датчика и входной штуцер изготовлены из нержавеющей стали 316 (материалы соответствуют стандарту NACE и совместимы с окисляющими газами). Уменьшенный внутренний объем и улучшенный дизайн данной серии датчиков давления обеспечивает наибольшую стабильность измерений и работу датчика при различных температурах.

Встроенная электроника обеспечивает работу в широком диапазоне питающих напряжений, регулирование усилительных каскадов для установки требуемого значения нуля и верхнего предела измерения, смену полярности и защиту от электромагнитного излучения. Высокая степень защиты от неблагоприятных электрических воздействий в сочетании с поверхностным монтажом и объединением всех электрических компонент в одном корпусе обеспечивает целостность датчика при воздействии ударов и вибраций наряду с воздействием окружающей среды по стандартам IP50-IP68 в зависимости от выбранного типа электрического соединителя. Для полного соответствия рабочим условиям эксплуатации датчики калибруются по конечным значениям реальной характеристики с учетом нелинейности, вариации и воспроизводимости. Температурные диапазоны определены в границах, при которых выходной сигнал соответствует сигналу при комнатной температуре.

Каждый датчик давления калибруется по давлению температуры и в виде базового модуля хранится на складе. Непосредственно перед отправкой базовый модуль калибруется на необходимый диапазон давления и монтируется с соответствующим электрическим соединением. При необходимости установки промежуточных диапазонов базовый модуль выбирается таким образом, чтобы он соответствовал требуемым диапазонам температур после непосредственной настройки его на заданный диапазон давления.

Датчики оснащаются входным штуцером с внутренней резьбой G1/4. Предлагается также большой выбор переходных адаптеров, изготовленных из нержавеющей стали, которые устанавливаются на датчик со специальной прокладкой (по требованию).

Съемные электрические соединители и переходники позволяют пользователю легко изменить конфигурацию датчика или просто заменить, например, когда необходимо расположить датчик другим образом или заменить на другой диапазон измерения (датчики, используемые для измерения давления в трубопроводах и в погруженном состоянии не имеют съемных соединителей).

<http://www.www.ntnk.ru>