



ВЫЯВЛЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН В ЗОНЕ ОТВЕРСТИЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ КОНТРОЛЕ САМОЛЕТОВ ФИРМЫ «БОИНГ»

В. Н. УЧАНИН, канд. техн. наук (Физ.-мех. ин-т им. Г. В. Карпенко НАН Украины, г. Львов),
С. В. СЕМОЧКИН, А. О. ЛОГИНОВ, инженеры (Авиакомпания «Международные авиалинии Украины», г. Киев)

Представлен опыт эксплуатационного контроля самолетов с помощью отечественных вихрековых преобразователей и дефектоскопов, разработанных в результате анализа требований фирмы «Боинг», в частности: высокочастотные преобразователи локального типа для выявления поверхностных дефектов в зоне заклепок, на боковой стенке отверстий и в зоне зенковок; кольцевой низкочастотный преобразователь для выявления подповерхностных дефектов под обшивкой толщиной 1,8 мм; низкочастотный преобразователь скользящего типа для выявления поперечных подповерхностных трещин в зоне заклепок в третьем и четвертом слоях пятислойного узла.

The experience of operational aircraft inspection with eddy current probe and flaw detectors developed as the result of Boeing requirements analyzing is presented. Particularly next probes were developed: high frequency local type eddy current probes for detection for surface flaws in rivet zone, on the hole side wall and on the countersink zone; low frequency ring probe for detection of the subsurface flaws under 1,8 mm thickness plating; low frequency slide probe for detection of the subsurface flaws in rivet zone in 3-d and 4-th layers of the 5-layer unit.

Для выполнения регулярных рейсов авиакомпании «Международные авиалинии Украины» уже более 18 лет использует самолеты фирмы «Боинг» различных модификаций. Контроль узлов самолетов проводится в соответствии с эксплуатационными бюллетенями этой фирмы. При этом особое внимание уделяется зоне отверстий для установки заклепок, которые относятся к критическим зонам, так как являются конструктивными концентраторами напряжений. Во многих случаях предполагается контроль без удаления заклепок, что требует более сложной интерпретации результатов контроля, поскольку необходимо отделить сигнал от трещины от сигнала самой заклепки, которая по существу тоже является нарушением сплошности материала.

Требования к средствам НК, стандартным образцам (СО) и порядок их применения изложены в соответствующем руководстве по НК самолета «Боинг 737» (NDT Manual). Методики расписаны по отдельным узлам самолета и рекомендуют, как правило, не один прибор, а дают перечень нескольких приборов и вихрековых преобразователей (ВТП) известных западных производителей, которые обеспечивают требования, необходимые для реализации данной методики. Более того, отличительной особенностью методик фирмы «Боинг» является возможность применять средства, которых нет в перечне, но которые должны удовлетворять заданным требованиям по диапазону рабочих частот и чувствительности к дефектам при контроле конкретных узлов. При этом в каждой методике указаны годографы сигналов от де-

фектов и влияния мешающих факторов в комплексной плоскости, которые необходимо получить на соответствующем СО. Эта особенность методик позволяет их совершенствование путем разработки новых ВТП при условии доказательства их высоких технических характеристик при решении поставленной задачи. Заметим, что в большинство методик НК в регламентах по техническому обслуживанию самолетов российских и украинских производителей «закладывается» применение конкретного прибора. Такой подход исключает возможность применения авиакомпаниями современных средств НК. В этом случае методики НК устаревают вместе с техническим и моральным старением приборов, хотя заложенные в них процедуры контроля не изменяются.

В настоящей работе представлен опыт эффективной реализации методик контроля фирмы «Боинг» с помощью новых отечественных ВТП. При этом все новые ВТП трансформаторного типа были адаптированы к вихрековым дефектоскопам ELOTIP 65.1 и ELOTEST M2 немецкой фирмы «Rohmann». Кроме того, для выявления поверхностных дефектов использовали автогенераторный высокочастотный дефектоскоп типа Леотест ВД 3.03Н [1–4], который включен в государственный реестр средств измерительной техники Украины. В соответствии с техническими регламентами прибор используется для выполнения контроля узлов самолетов ДП «Антонов» и авиационных двигателей ЗМКБ «Прогресс» и ОАО «Мотор-Січ» [2–4]. В последние годы дефектоскопы Леотест ВД 3.03Н существенно модернизированы в рамках существующих технических условий [1]. В частности, усовершенство-

ваны схема колебательной системы автогенератора, схема управления рабочей частотой и блок регенерации колебаний, что позволило поднять чувствительность и производительность дефектоскопов, а также расширить функциональные возможности приборов за счет обеспечения возможности подключения ВТП с разным импедансом [5–7].

Выявление поверхностных дефектов с помощью высокочастотных ВТП локального типа. Высокочастотные ВТП применяются для выявления поверхностных усталостных трещин на алюминиевой обшивке фюзеляжа, крыла и оперения самолета, а также на алюминиевых силовых конструктивных элементах. При этом разработано несколько конструкций ВТП, которые благодаря различной форме упрощают доступ ВТП в зону контроля. Разработаны, в частности, специальные ВТП для выявления дефектов на боковой стенке отверстий разного диаметра, а также для выявления поверхностных трещин на конической поверхности зенковки отверстия под заклепку. Кроме того, разработаны варианты экранированных

ВТП. Наличие экрана в виде ферритового кольца позволяет расширить контролируемую зону в области края отверстия, ферромагнитных болтов и т. д. В высокочастотных ВТП локального типа использованы ферритовые сердечники диаметром 1,1 мм, что позволяет выявлять поверхностные трещины длиной более 1,5...2,0 мм на рабочей частоте 0,3...2,0 МГц. Положительным свойством разработанных ВТП является их универсальность, так как они могут использоваться как с дефектоскопом Леотест ВД 3.03Н, так и с прибором ELOTEST M2.

Чувствительность разработанных высокочастотных ВТП проверяли на СО типа 126, NDT 1048, 188А американской фирмы «NDT engineering corporation», изготовленных из алюминиевого сплава 2024 с дефектами глубиной 0,38...0,51 мм, а также на СО типа СОП 5-1, СОП 5-2, СОП 5-3 с дефектами длиной 2 и глубиной 0,2 мм (для алюминиевых сплавов) и 0,5 мм (для титановых сплавов). Проверку ВТП для контроля отверстий проводили с помощью СО типа NDT 1016 с двумя угловыми дефектами типа трещина (рис. 1): де-

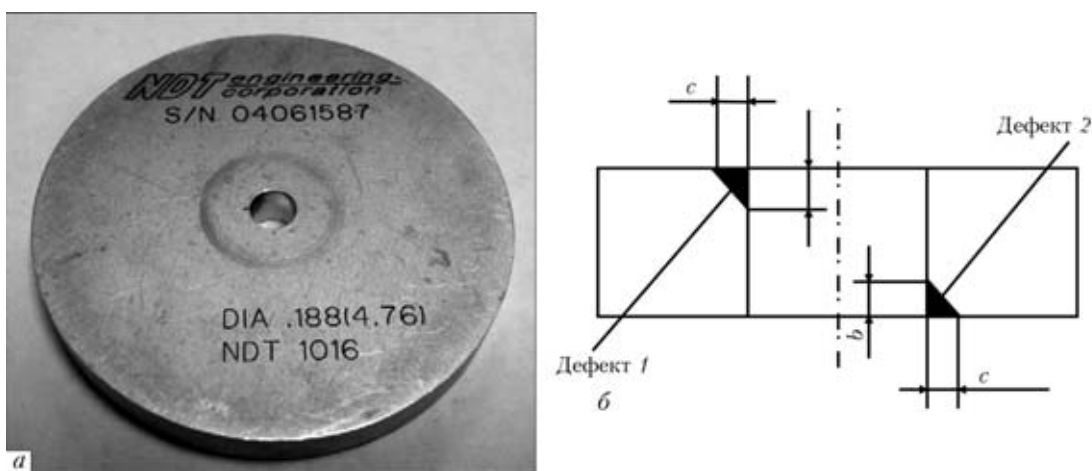


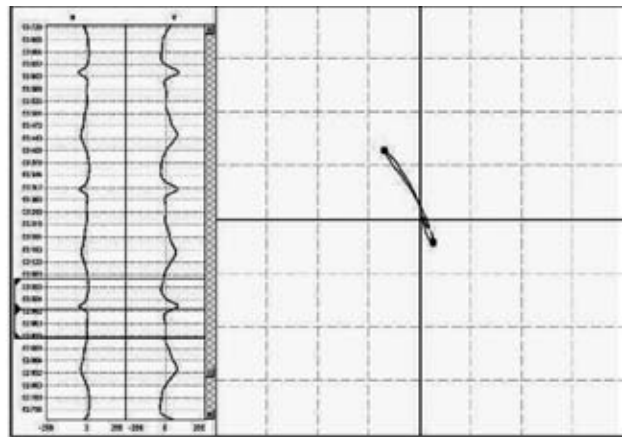
Рис. 1. Внешний вид (а) и схематическое изображение (б) СО для проверки чувствительности к угловым трещинам в отверстиях



Рис. 2. Выявление дефектов на боковой стенке отверстий (а) и в зоне потайных заклепок на крыле самолета (б) с помощью дефектоскопа Леотест ВД 3.03

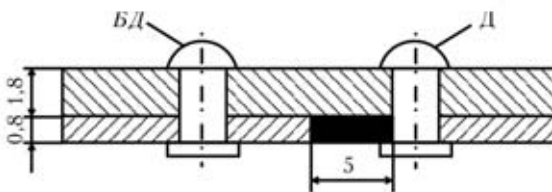


a

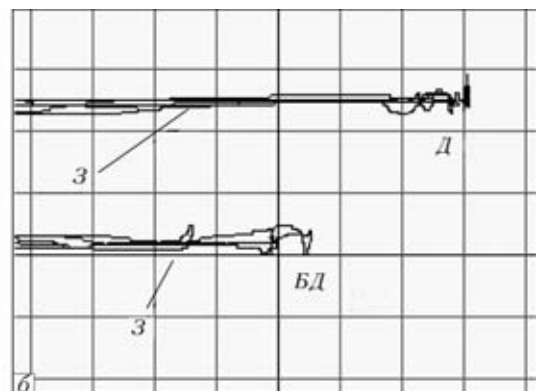


б

Рис. 3. Роторный сканер для контроля отверстий дефектоскопа ВД 3-81 (а) и сигнал, полученный в динамическом режиме от дефекта СО длиной и глубиной 0,51 мм (б)



a



б

Рис. 4. Схематическое изображение СО (а) для имитации заклепок в зоне заднего гермошпангоута и полученные сигналы (б)

фект 1 длиной c и глубиной b 0,51 мм и дефект 2 соответственно 0,76 мм (рис. 1).

Выявление дефектов на боковой стенке отверстий или в зоне заклепок без их удаления (рис. 2) выполняют в статическом режиме (как альтернатива роторным ВТП) с помощью дефектоскопов типа Rohmann или автогенераторного дефектоскопа типа Леотест ВД 3.03. Контроль с помощью отечественного дефектоскопа типа Леотест ВД 3.03 более производителен, так как может осуществляться по оригинальной звуковой сигнализации без наблюдения за индикатором дефектоскопа.

Более производительным является контроль зоны отверстий в динамическом режиме с применением роторных ВТП. В этом случае применяются приборы фирмы «Rohmann», снабженные специальными роторными сканерами. Испытания показали, что для контроля отверстий может применяться отечественный дефектоскоп типа ВД 3-81 (Эддикон), который также снабжен роторным сканером (рис. 3, а) и имеет необходимые параметры фильтров [8]. На рис. 3, б показаны сигналы от наименьшего дефекта СО (Дефект 1 на рис. 1), которые подтверждают высокую чувствительность контроля отверстий с помощью дефектоскопа ВД 3-81.

Выявление дефектов двухслойных узлов в зоне заклепок с помощью низкочастотного ВТП кольцевого типа. Специальный кольцевой ВТП типа АРК 2/8 разработан для проведения контроля заднего гермошпангоута в зоне его крепления к Y-хорде по внутреннему ряду заклепок выше стрингеров 15L–15R. ВТП обеспечивает выявление трещин длиной более 5 мм во втором слое двухслойной конструкции из алюминиевого сплава (толщины слоев 1,8 и 0,8 мм) в зоне заклепок с диаметром головки 8 мм. Для настройки кольцевого ВТП используется СО из двух пластин



Рис. 5. Установка кольцевого ВТП на заклепку в зоне заднего гермошпангоута

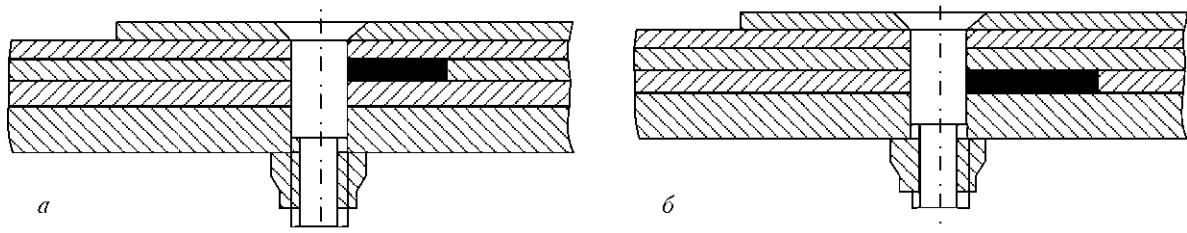


Рис. 6. Расположение трещин в зоне потайных заклепок в СО, который имитирует пятислойный узел: а — дефект 1, третий слой; б — дефект 2, четвертый слой

соответствующей толщины (рис. 4, а). Образец имеет заклепку без дефекта (БД) для проведения балансировки дефектоскопа и с дефектом (Д), выполненным электроэрозионным методом с раскрытием 0,1 мм длиной 5 мм, что соответствует необходимой чувствительности контроля. Сигналы ВТП исследовали на рабочей частоте 6 кГц. При настройке дефектоскопа вертикальное усиление K_y установлено на 12 дБ больше горизонтального K_x , что позволяет лучше выделить сигналы от дефекта при установке ВТП на заклепку (рис. 5). Сигналы от дефекта соответствуют переходу сигнала из точки балансировки БД в точку Д. Годографы сигналов от изменений зазора 3 для бездефектной и дефектной заклепок ориентированы в горизонтальном направлении.

Разработанный ВТП типа ARK 2/8 отличается от стандартных кольцевых ВТП значительно меньшей высотой (9,5 мм для ARK 2/8 против 25 мм для кольцевого ВТП фирмы «Rohmann»). Это позволяет устанавливать его на заклепки в труднодоступных зонах гермошпангоута, контроль которых другими ВТП невозможен и ранее не выполнялся [3, 9–11].

Выявление внутренних дефектов в пятислойных узлах с помощью скользящего ВТП. Наиболее сложной является задача выявления трещин в зоне заклепок потайного типа без их удаления. Такая задача возникает при контроле мно-

гослойной обшивки в районе дверного проема самолета в зоне вырезов под узлы навески двери. Сложность заключается в том, что необходимо выявлять трещины, которые могут зарождаться и развиваться от заклепок, на глубине от 3,6 до 6,1 мм в различных слоях пятислойного неразъемного узла общей толщины 13,68 мм (рис. 6). Трещины развиваются перпендикулярно направлению заклепочного шва, при этом влияние самих заклепок надо исключить.

Для решения задачи разработан вариант скользящего ВТП абсолютного типа, который работает в диапазоне рабочих частот 0,5...4 кГц [10]. Несмотря на абсолютную схему построения ВТП, он достаточно хорошо скомпенсирован, что позволяет получить хорошее усиление во всем диапазоне частот. Отметим, что ВТП такого типа не обеспечивают отстройку от влияния зазора, поэтому исключение влияния зазора при интерпретации сигналов необходимо обеспечить за счет анализа особенностей этих сигналов в комплексной плоскости. Исследования проводили на СО типа NDT 3049 американской фирмы «NDT engineering corporation» на рабочей частоте 500 Гц. На рис. 7 представлены сигналы от дефекта типа трещина длиной 11,43 мм, которые начинаются от заклепки, на глубине 3,6 мм в четвертом слое образца (Дефект 1), а также сигналы от трещины длиной 16,5 мм на глубине 6,1 мм в четвертом слое образца (Дефект 2). Для оценки возможности избирательной интерпретации сигналов на рис. 7 представлены также сигналы от бездефектной заклепки и влияния изменений зазора. Сигналы от бездефектной заклепки разворотом комплексной плоскости ориентированы в горизонтальном направлении, сигналы влияния зазора ориентированы вниз от точки баланса.

Анализ полученных сигналов показывает возможность четкого выделения сигналов от дефектов типа трещин в зоне заклепок на глубине до 6 мм от сигналов бездефектной заклепки и от изменений зазора между ВТП и контролируемой поверхностью.

Проведенные испытания показали, что представленные методики контроля узлов самолетов «Боинг» могут быть успешно реализованы при подключении разработанных низкочастотных

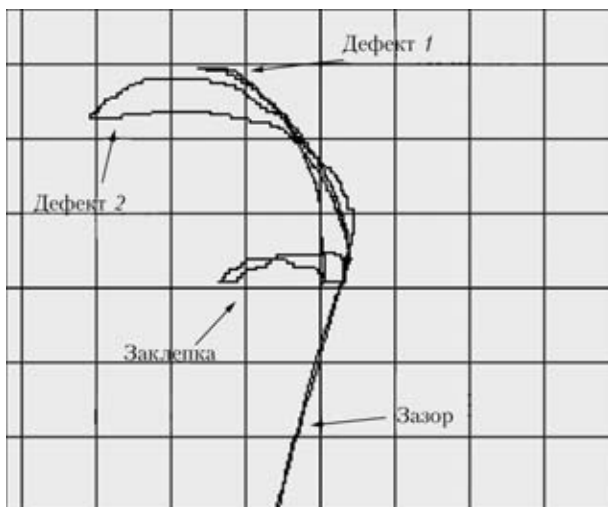


Рис. 7. Интерпретация сигналов ВТП при контроле пятислойного узла в зоне заклепок



ВТП к отечественному универсальному дефектоскопу типа ВД 3-81 (Эддикон) [8].

Выводы

В результате анализа требований фирмы «Боинг» разработаны и эффективно используются для эксплуатационного контроля узлов самолетов следующие ВТП:

– высокочастотные ВТП локального типа для выявления поверхностных дефектов в зоне заклепок, на боковой стенке отверстий и в зоне зенковок;

– кольцевой низкочастотный ВТП (Ring probe) для выявления подповерхностных дефектов под обшивкой толщиной 1,8 мм;

– низкочастотный ВТП скользящего типа (Slide probe) для выявления поперечных подповерхностных трещин в зоне заклепок в третьем и четвертом слоях пятислойного узла.

Разработка новых ВТП частично выполнена в рамках программы НАН Украины «Ресурс».

1. *ТУ У 33.2-30162879-001*. Дефектоскопи вихрострумові ВД 3.01Н, ВД 3.02Н, ВД 3.03Н. — 2008.
2. *Учанин В. Н., Дереча В. Я.* Вихретоковый метод выявления поверхностных дефектов узлов авиационной техники в условиях эксплуатации // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2006. — № 4. — С. 20–28.
3. *Механіка руйнування і міцність матеріалів*. — Т. 9: Міцність і довговічність авіаційних матеріалів та елементів конструкцій / О. П. Осташ, В. М. Федірко, В. М. Учанін та ін. — Львів: Сполом, 2007. — 1068 с.

4. *Учанин В. Н., Александров С. А., Цыганов В. Ю.* Вихретоковая дефектоскопия деталей авиационных двигателей в условиях эксплуатации и ремонта // Вісник двигунобудування. — 2009. — №2. — С. 151–155.
5. *Пат. 39207 України, МПК G 01 N 27/00*. Вихрострумовий дефектоскоп / В. М. Учанін, В. В. Черленевський (Україна). — № u 2008 11903; Заявл. 07.10.2008; Опубл. 10.02.2009. — Бюл. № 3. — 4 с.
6. *Пат. 39217 України, МПК G 01 N 27/00*. Вихрострумовий автогенераторний дефектоскоп / В. М. Учанін, В. В. Черленевський (Україна). — № u 2008 12095; Заявл. 13.10.2008; Опубл. 10.02.2009. — Бюл. № 3. — 4 с.
7. *Пат. 42132 України, МПК G 01 N 27/00*. Пристрій для вихрострумового контролю / В. М. Учанін, В. В. Черленевський (Україна). — № u 2009 00355; Заявл. 19.01.2009; Опубл. 25.06.2009. — Бюл. № 12. — 4 с.
8. *New Hand-Held Eddy Current Flaw Detector / A. Dshaganjan, V. Uchanin, A. Opanasenko, G. Lutcenko // 18th World conf. on Nondestructive Testing, 16–20 April 2012, Durban, South Africa.*
9. *Учанин В. Н.* Вихретоковые методы выявления дефектов в зоне заклепок многослойных авиационных конструкций // Техн. диагностика и неразруш. контроль. — 2006. — № 3. — С. 3–12.
10. *Семочкин С. В., Учанин В. Н.* Опыт вихретокового контроля элементов конструкции самолетов фирмы «Боинг» в условиях эксплуатации // Матер. 14-ї Міжнар. наук.-техн. конф. «Електромагнітні та акустичні методи неруйнівного контролю матеріалів та виробів ЛЕОТЕСТ-2009». — Львів: ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАН України. — 2009. — С. 71–72.
11. *Учанин В. Н., Семочкин С. В.* Разработка и исследование вихретоковых преобразователей для контроля узлов самолетов фирмы «Боинг» в условиях эксплуатации // Праці 6-ї Нац. наук.-техн. конф. «Неруйнівний контроль і технічна діагностика». — Київ: ІЕЗ ім. С. О. Патона, 2009. — С. 347–350.

Поступила в редакцию
16.03.2012



Двадцатая ежегодная международная конференция и выставка

«Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики»

1–5 октября 2012, Ялта

Организаторы
УИЦ «НАУКА. ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИЯ», Украинское общество НК и ТД, Российское общество НК и ТД, Белорусская ассоциация НК и ТД, Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ, Днепропетровский нац. ун-т, НПП «Машиностроение»

Тематика конференции и выставки
• Общие вопросы неразрушающего контроля (НК) и технической диагностики (ТД) • Теоретические вопросы взаимодействия физических полей с веществом контролируемых объектов • ТД и мониторинг состояния производственных объектов • Контроль напряженного состояния конструкций, изделий и сварных соединений • Опыт и перспективы НК на предприятиях горно-металлургического комплекса • НК и ТД в нефтегазовой отрасли и энергетике • Контроль и диагностика строительных конструкций • Вибрационные методы диагностики • Вопросы обучения, аттестации и сертификации специалистов, подразделений НК и ТД • Разработка и гармонизация стандартов в области НК и ТД • Метрологическое обеспечение средств НК • Состояние и развитие НК и ТД в Украине • Заседание Правления УО НКТД

В работе выставки предполагается участие представителей фирм: НПП «Машиностроение», НПП «Ультракон», НПП «Диагностические приборы», НПП «ИНТРОН-СЭТ», НПП «Ультракон-сервис», МЧТПП «Онико», Фирмы «GE Inspection Technologies», SEIFERT, «Krautkrämer», «Интек», НПП «КонТест», ППЦ «Диагностика и контроль», «Кром», «Шерл», «Сперанца-Украина», ЗАО НИИ МНПО «Спектр», ЗАО «Константа», Микроакустика, Панатест (Россия), АО «VOTUM»-АО «Интроскоп» (Молдова) и др.

Информационная поддержка
Журналы: «Техническая диагностика и неразрушающий контроль», «Сварщик», «В мире неразрушающего контроля», сборник ВАК Украины «Системные технологии», бюллетень УО НКТД «НК-Информ», Сайт УО НКТД: www.usndt.com.ua, сайт НПП «Машиностроение»: www.ndt.in.ua

Оргкомитет
02094, г. Киев, ул. Минина, 3, к. 47
тел./факс: (+38 044) 5733040
e-mail: office@conference.kiev.ua,
www.conference.kiev.ua