

**САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЕВА**

**Ф И З И Ч Е С К И Е
М Е Т О Д Ы И С С Л Е Д О В А Н И Я
К О Н С Т Р У К Ц И Й Л А**

Методические указания к лабораторным работам

САМАРА 1992

Составитель И. М. Макаровский

УДК 623.74

Физические методы исследования конструкций ЛА. Метод. указания к лабораторным работам /Самар. аэрокосмич. ун-т; Сост. И. М. Макаровский. Самара, 1992. 60 с.

Содержат четыре лабораторные работы, отражающие современное состояние вопросов неразрушающего контроля металлов и изделий с использованием капиллярного, токовихревого, ультразвукового и магнитопорошкового методов дефектоскопии.

Предназначены для студентов V курса специальности 1303, изучающих курс «Техническая эксплуатация ЛА и двигателей». Составлены на кафедре эксплуатации летательных аппаратов и двигателей.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королева

Рецензент К. П. Крашенинников

КАПИЛЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЛА

Цель работы: ознакомление с назначением и физической сущностью методов капиллярной дефектоскопии; изучение состава дефектоскопических материалов и особенностей применения комплекта «Аэро-12а»; приобретение практических навыков в проведении исследований конструкций средствами капиллярной дефектоскопии.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1.1. Назначение и физическая сущность методов

Назначение. Капиллярные методы дефектоскопии предназначены для выявления мельчайших поверхностных дефектов (нарушений сплошности) деталей, изготовленных из разнообразных непористых материалов (металлы, керамика, пластмассы и т. д.). При контроле надежно выявляются усталостные, шлифовочные и закалочные трещины, растрескивания покрытий, очаги межкристаллической коррозии и другие производственные и эксплуатационные дефекты, имеющие раскрытие более 0,001 мм и глубину более 0,01 мм.

Контроль с использованием средств капиллярной дефектоскопии не требует применения сложной аппаратуры и отличается высокой объективностью результатов. Основным недостатком капиллярных методов является сложность выполнения подготовительных операций, связанных с удалением лакокрасочных покрытий, оксидных пленок, сушки деталей при высокой температуре и т. д.

Капиллярные методы получили широкое распространение в условиях производственных и ремонтных предприятий. В условиях эксплуатации ЛА они применяются главным образом в качестве подтверждающих методов контроля после проверки деталей токовихревым, ультразвуковым и визуально-оптическим методами.

Физическая сущность. Капиллярные методы дефектоскопии основаны на способности хорошо смачивающих и контрастно окрашенных (люминесцирующих) жидкостей проникать в мельчайшие

поры (дефекты) материала под воздействием капиллярных сил и при последующем проявлении выделять их на фоне бездефектных участков за счет создания яркостного или цветового контраста.

В практике используется несколько методов капиллярной дефектоскопии (КД): цветной (ЦКД), люминесцентный (ЛКД), люминесцентно-цветной (ЛЦКД) и др.

Цветной метод (метод красок) основан на применении проникающих жидкостей (индикаторов), которые после проявления образуют цветной (обычно красный) индикаторный рисунок дефекта на белом фоне проявителя. Осмотр деталей производится при обычном дневном свете (ДС).

Люминесцентный метод основан на применении индикаторов, способных люминесцировать под воздействием ультрафиолетового света (УФС). При этом индикаторный рисунок дефекта имеет высокую контрастность на темном фоне проявителя и оказывает сильное возбуждающее воздействие на зрение находящегося в темноте оператора.

Люминесцентно-цветной метод отличается тем, что индикатор способен люминесцировать в УФС и имеет контрастную окраску в ДС, что позволяет использовать данный метод как в цеховых, так и в полевых условиях, обеспечивая две степени чувствительности.

Капиллярные методы применяются при различной комбинации и составах дефектоскопических материалов.

Контроль с применением капиллярных методов состоит из ряда последовательно выполняемых операций (рис. 1):

1. Подготовка исследуемой поверхности (первая очистка).
2. Нанесение индикаторной жидкости (пропитка).

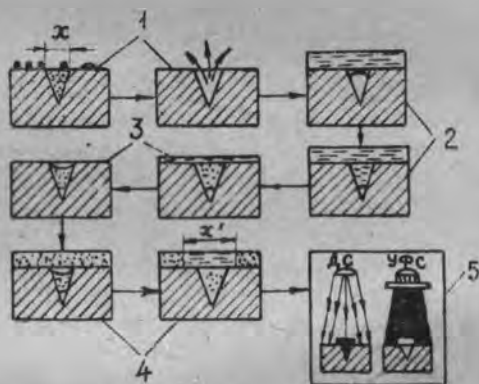


Рис. 1. Последовательность операций контроля деталей с использованием капиллярных методов дефектоскопии

3. Удаление излишков индикаторной жидкости (вторая очистка).

4. Нанесение проявляющего состава (проявление).

5 Осмотр (расшифровка результатов исследования).

Первая очистка производится с целью подготовки исследуемой поверхности и полости дефекта к пропитке. Данная операция обеспечивает хорошую смачиваемость поверхности индикаторной жидкостью и создает благоприятные условия для ее проникновения в полость дефекта. Наличие лакокрасочных покрытий, оксидных пленок, продуктов коррозии, масляных пленок и загрязнений поверхности ухудшает смачиваемость поверхности индикаторной жидкостью и препятствует ее проникновению в полость дефекта. Отрицательное влияние на результаты исследования оказывают также и загрязнения полости дефекта (продукты коррозии, керосин, растворители), а также сжимающие напряжения.

Выбор способа очистки поверхности зависит от физико-химических свойств материала деталей, требуемого уровня чувствительности, свойств дефектоскопических материалов и ряда других факторов. При очистке используются механические, химические, электрохимические, тепловые и другие способы удаления загрязнений. Удаление загрязнений из полости дефекта осуществляется промывкой деталей в легколетучих растворителях с последующей сушкой при температуре 70—90°C в течение 40—60 мин.

Пропитка производится с целью заполнения полости дефекта индикаторной жидкостью.

Микроскопические размеры дефекта приближают его к капилляру, обладающему способностью «всасывать» смачивающую материал жидкость.

Под смачиванием понимается способность жидкости образовывать устойчивую поверхность раздела на границе с твердым телом.

Если силы взаимодействия между молекулами жидкости и твердого тела превышают силы взаимодействия между молекулами жидкости, то жидкость хорошо смачивает поверхность (прилипает к поверхности). При этом капля жидкости, нанесенная на поверхность твердого тела, «неограниченно» растекается, образуя «пятно» значительных размеров. При плохой смачивающей способности капля жидкости остается на поверхности без изменения своих начальных размеров. Поведение капли зависит главным образом от соотношения сил, действующих на молекулы, которые находятся на границе раздела жидкость—воздух—твердое тело.

Эти соотношения выражаются через краевой угол смачивания. Жидкости, имеющие малый краевой угол ($\theta < 90^\circ$), относятся к смачивающим.

Краевой угол можно рассчитать по формуле

$$\cos \Theta = \frac{G_{\text{т-в}} - G_{\text{ж-т}}}{G_{\text{ж-в}}}$$

где $G_{\text{т-в}}$, $G_{\text{ж-т}}$, $G_{\text{ж-в}}$ — поверхностное натяжение соответственно на границе «твердое тело — воздух», «жидкость — твердое тело» и «жидкость — воздух».

На смачивающую способность жидкости значительное влияние оказывает состояние поверхности твердого тела (шероховатость, жировые пленки, температура). Так, шероховатые поверхности смачиваются лучше гладких, а плохо обезжиренные могут вообще не смачиваться. Повышение температуры способствует повышению смачивающей способности жидкостей.

С целью повышения смачивающей способности индикаторных жидкостей в их состав вводятся также специальные присадки — поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые способствуют уменьшению краевого угла смачивания за счет снижения поверхностного натяжения и увеличения сил взаимодействия жидкости с загрязненной жиром поверхностью. Действие ПАВ основано на создании на поверхности жидкости активного слоя, обладающего хорошим взаимодействием с молекулами жиров.

Капиллярностью называется способность жидкости заполнять мельчайшие поры (капилляры) твердого тела, по отношению к которому она обладает хорошей смачивающей способностью.

Под действием сил смачивания в капилляре происходит искривление поверхности жидкости, а затем силы поверхностного натяжения, стремясь сократить величину поверхности, подтягивают уровень жидкости вслед за границей смачивания. Возникающие в капилляре гидростатические силы способны поднять уровень жидкости на значительную высоту.

Если дефект представить в виде сквозной щели с постоянной шириной раскрытия b , то можно рассчитать высоту подъема уровня жидкости h по формуле

$$h = \frac{2 G_{\text{ж-в}} \cos \Theta}{\rho q b} \quad \text{или} \quad h = \frac{2 (G_{\text{т-в}} - G_{\text{ж-т}})}{\rho q b}$$

где h — высота подъема;

ρ — плотность жидкости;

q — ускорение силы тяжести.

Из приведенных формул видно, что высота подъема жидкости в капилляре зависит от величины $(G_{\text{т-в}} - G_{\text{ж-т}})$, называемой напряжением смачивания.

Проникновение жидкости в капилляр происходит постепенно,

так как жидкость обладает определенной вязкостью. Время заполнения капилляра t можно рассчитать по формуле

$$t = \frac{3 h^2 \eta}{b (G_{т-в} - G_{ж-т})^2}$$

где η — динамическая вязкость жидкости, Па·с.

Однако в практике наиболее распространены тупиковые дефекты (трещины, коррозия), в результате чего воздух, находящийся в полости дефекта, препятствует проникновению жидкости и существенно снижает скорость заполнения капилляра. Кроме того, внутренние стенки дефекта, как правило, не параллельны и имеют значительную шероховатость. Поэтому время пропитки обычно не рассчитывается, а подбирается экспериментально.

При необходимости время пропитки можно сократить, используя вакуумный или компрессорный способ пропитки.

Вторая очистка производится с целью удаления излишков индикаторной жидкости с исследуемой поверхности. Основная трудность данной операции заключается в необходимости сохранения индикаторной жидкости в полости дефекта и удалении ее с поверхности детали. Очистка производится протиркой ветошью, обдувом песком, промыванием и т. д. Качество очистки контролируется по отсутствию окраски (свечения) поверхности детали.

Проявление производится с целью извлечения индикаторной жидкости из полости дефекта и создания контрастного индикаторного рисунка дефекта.

Извлечение индикатора из полости дефекта осуществляется с помощью специальных проявляющих составов сорбционного или диффузионного действия.

Сорбционное проявление заключается в следующем. После очистки поверхности от излишков индикаторной жидкости в полости дефекта возникают два мениска: большого радиуса — у поверхности и малого — в глубине дефекта. В силу того, что малый мениск создает большие гидростатические силы, жидкость удерживается в полости дефекта.

При наложении на поверхность детали пористого покрытия (порошок селикагеля, мела и т. д.) над дефектом возникает система малых менисков (пор), каждый из которых развивает гидростатическую силу, большую чем малый мениск дефекта. Под действием этих сил происходит извлечение индикатора (пропитывание пористого покрытия) и образование индикаторного рисунка. За счет растекания индикатора по поверхности детали происходит увеличение видимых размеров дефекта, что способствует его выявлению при осмотре.

Диффузионное проявление основано на использовании жидких пленкообразующих проявляющих составов (лаков).

При нанесении жидкого проявителя начинается диффузия индикатора из дефекта в непросохшее проявляющее покрытие. Скорость диффузии зависит от температуры детали, химического состава проявителя, толщины проявляющей пленки и других факторов. Количество диффундирующей жидкости m , проходящей через площадку S за время t , можно определить по формуле

$$m = D \frac{C_1 - C_2}{l} St,$$

где D — коэффициент взаимной молекулярной диффузии;

C_1 C_2 — концентрации веществ в двух слоях проявителя;

l — толщина слоя проявителя.

При диффузионном проявлении обычно имеют место и сорбционные явления, которые наблюдаются после высыхания проявителя и образования пористой пленки.

Диффузионные проявители обладают более высокой чувствительностью и разрешающей способностью, но они более токсичны и менее технологичны, чем сорбционные.

Осмотр деталей производится с целью выявления и определения характера дефектов. Индикаторный рисунок дефектов имеет вид ярко окрашенных или светящихся полос и точек.

С целью повышения чувствительности метода при осмотре используются простейшие оптические приборы (лупы, зеркала).

Важнейшим условием, определяющим высокую чувствительность метода, является создание достаточной освещенности осматриваемой поверхности. В зависимости от типа индикаторной жидкости для освещения используется

дневной (ДС) или ультрафиолетовый (УФС) свет.

При работе с цветными индикаторами (метод красок) целесообразно использовать комбинацию ламп накаливания и дневного света. При этом достигается правильная цветопередача и уменьшение утомляемости зрения оператора. Освещенность в зоне осмотра (ДС) должна быть не ниже 1000 лк.

При использовании люминесцирующих индикаторных жидкостей применяются источники ультрафиолетового света высокой интенсивности. В качестве источников УФС (рис. 2) используются ртутно-кварцевые лампы сверхвысокого давления (ДРШ), оснащенные металлическими отражателями и светофильтрами с диапазоном пропускания 3100—3960 Å.

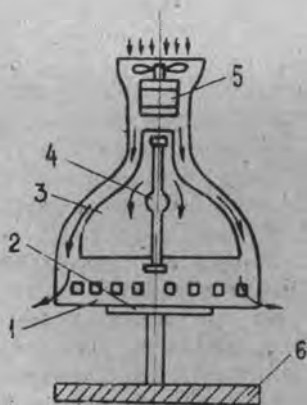


Рис. 2. Схема ультрафиолетового осветителя: 1—защитный кожух; 2—светофильтр УФС; 3—рефлектор (хром); 4—лампа ДРШ-250; 5—вентилятор; 6—предметный столик

1.2. Дефектоскопические материалы

Дефектоскопические материалы — это специализированные комплекты, предназначенные для проведения полного комплекса операций контроля и включающие индикатор, очиститель, проявитель и другие компоненты.

Индикатор (пенетрант) — цветной или люминесцирующий состав, предназначенный для заполнения полостей дефектов и последующего образования индикаторного рисунка, контрастного к окружающему фону. Индикаторные составы различаются по физическому состоянию, светокалористическим признакам, технологическим особенностям (способам нанесения и удаления) и т. д.

Жидкой основой индикатора обычно служат разнообразные органические жидкости (керосин, бензол, спирт и др.), отличающиеся низкой вязкостью и высокой смачивающей способностью.

В качестве красителей используются разнообразные жирорастворимые краски («Судан»), а в качестве люминофоров — минеральные масла (МС-20), продукты переработки нефти и каменного угля («Нориол», «Люмоген» и др.).

К числу требований, предъявляемых к индикаторам, относятся: высокая смачивающая способность, низкая вязкость, малое поверхностное натяжение, малая токсичность, хорошая отмываемость, высокая яркостная или цветовая контрастность, низкая коррозионная активность, низкая стоимость и т. д. Некоторые составы индикаторов выпускаются промышленностью в готовом виде («К», ЛЖ-1, ЛЖ-2 и др.).

Очиститель — специальный состав, предназначенный для удаления излишков индикатора с исследуемой поверхности после пропитки. Эти составы должны хорошо растворять индикаторную жидкость, но плохо смачивать очищаемую поверхность во избежание «вымывания» индикатора из полости дефекта.

В качестве очищающих составов применяются органические низкотлетучие жидкости (смесь масла с керосином, спирт с ПАВ и т. д.). Эти составы используются также в качестве активизаторов индикатора после водной очистки.

Проявитель — специальный состав, предназначенный для извлечения индикатора из полости дефекта с целью образования индикаторного рисунка и создания фона, облегчающего визуальное восприятие изображения дефекта.

Широкое распространение получили сорбционные, а также растворяющие (диффузионные) проявители.

«Сухой» сорбционный проявитель — мелкодисперсный порошок белого цвета, изготовленный из окислов металлов, мела, каолина и других пористых материалов.

«Мокрый» сорбционный проявитель — суспензия порошков в легколетучих растворителях (ацетоне, бензине, спирте и др.).

Растворяющие (диффузионные) проявители изготавливаются на основе нитроэмалей с введением специальных добавок (коллодия, растворителей и др.), повышающих механические свойства пленок, снижающих вязкость и увеличивающих скорость их высыхания.

Некоторые проявляющие составы выпускаются промышленностью в готовом виде («М», ПР-1 и др.).

1.3. Комплект дефектоскопических материалов «Аэро-12»

Назначение и состав дефектоскопических материалов

Комплект предназначен для выявления мелких поверхностных дефектов (трещин, пор, раковин) преимущественно на деталях, изготовленных из ферромагнитных материалов. Он имеет две степени чувствительности:

первая степень чувствительности (осмотр в ДС) позволяет выявлять дефекты, имеющие раскрытие более 0,01 мм и глубину более 0,1 мм;

вторая степень чувствительности (осмотр в УФС) позволяет выявлять дефекты, имеющие раскрытие более 0,001 мм и глубину более 0,01 мм.

В комплект дефектоскопических материалов входят (см. таблицу):

	Состав	Вещество	Кол-во
Индикатор	Флуорокраситель	Родамин «С» (ВТУ РУ 856-53) Номенклатурный № 1959	3 г
	Растворитель (носитель индикаторного красителя)	Спирт этиловый технический (гидролизный)	90 мл
	Поверхностно-активное вещество (ПАВ)	Эмульгатор ОП-7 ГОСТ 8433-81	10 мл
Очиститель	Растворитель	Спирт этиловый технический (гидролизный)	80 мл
	Загуститель	Эмульгатор ОП-7 ГОСТ 8433-81	20 мл
Проявитель	Пигментная и пластифицирующая составляющие	Белая нитроэмаль «Экстра» (для кожи) ВТУ-МХП 693-50	30 мл
	Лакообразующая составляющая	Коллодий медицинский	30 мл
	Растворитель	Ацетон (ГОСТ 2603-79)	40 мл

индикаторная жидкость (индикатор);
очищающая жидкость (очиститель);
проявляющий лак (проявитель).

Индикатор служит для заполнения капиллярных полостей (дефектов) и последующей индикации мест их расположения.

Очиститель предназначен для интенсификации процесса очистки деталей от индикатора.

Проявитель предназначен для извлечения индикаторной жидкости из полости дефекта посредством ее диффузии в непро-сохшее лаковое покрытие.

Перед каждым применением дефектоскопические материалы подлежат обязательной проверке на пригодность.

Качество индикаторной жидкости оценивается:

по отсутствию механических примесей;

по содержанию красителя;

по смачивающей способности.

Качество проявляющихся лаков оценивается:

по цвету, внешнему виду и укрывистости пленки;

по времени высыхания пленки.

Качество комплекта оценивается:

по чувствительности на клиновых эталонах;

по чувствительности на эталонах с термическими трещинами.

2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Составление рабочей методики и проведение исследований деталей.

2. Проверка пригодности к работе осветителя и дефектоскопических материалов.

2.1. Общие рекомендации по составлению рабочей методики и проведению исследований деталей с использованием комплекта «Аэро-12А»

Процесс исследования деталей с использованием комплекта «Аэро-12А» (как и других капиллярных методов) состоит из ряда операций (см. рис. 1), от качества выполнения которых во многом зависят чувствительность и достоверность результатов исследования.

Подготовка поверхности детали (первая очистка) производится легколетучими растворителями (ацетон, РДВ) с последующей сушкой в течение 20—30 мин при температуре 70—80°C.

При контакте деталей с керосином перед очисткой детали необходимо просушить в течение 1—2 ч при температуре 150—200°C.

Нанесение индикаторного состава (пропитка) осуществляется кистью или погружением деталей в сосуд с индикатором. Время пропитки выбирается с учетом ожидаемой глубины и ширины раскрытия дефектов (в пределах от 1 до 30 мин) с использованием номограммы (рис. 3). При нанесении индикатора кистью пропитка осуществляется в два—три приема (высыхание индикатора не допускается).

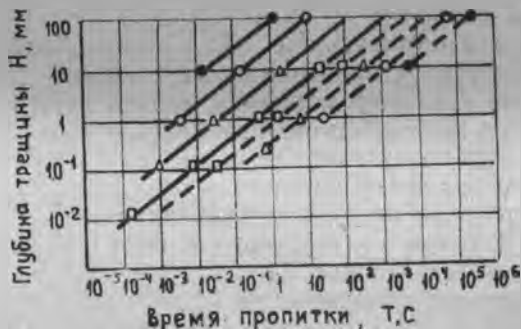


Рис. 3. Номограмма для расчета времени пропитки индикаторной жидкостью комплекта «АЭРО-12А»: ————— — сквозные трещины; — гупиковые трещины; ———— — раскрытие около 1 мм; 0—0—0—0 — раскрытие около 0,1 мм; Δ — Δ — Δ — Δ — раскрытие около 0,01 мм; \square — \square — \square — \square — раскрытие около 0,001 мм

Удаление излишков индикатора (вторая очистка) производится струей воды, распыленной воздухом, с последующей обработкой очищающим составом. Качество очистки контролируется по отсутствию видимого свечения (окраски) поверхности. После очистки поверхность осушается струей теплого воздуха.

Нанесение проявляющего состава (проявление) производится пульверизатором или мягкой кистью. Проявляющее покрытие должно быть тонким и блестящим, без подтеков и просветов. Сушка проявляющего состава продолжается в течение 5—10 мин при комнатной температуре.

Расшифровка результатов исследования (осмотр) в зависимости от требуемого уровня чувствительности производится в УФС или ДС. Дефект обнаруживается в виде ярких линий оранжевого цвета на темном (при осмотре в УФС) или белом (при осмотре в ДС) фоне. Наличие общего оранжевого фона свидетельствует о низком качестве очистки поверхности от индикатора.

Очистка от пленки проявителя (только для доброкачественных деталей) осуществляется промывкой деталей в растворителях (ацетон, РВД) или путем обдува косточковой крошкой.

В рабочей методике указываются: наименование детали, характеристики материала, тип дефектоскопических материалов, особенности выполнения отдельных операций, а также нормы на отбраковку деталей по результатам контроля. Исследования деталей проводятся на основе рабочей методике и общих рекомендаций по применению капиллярных методов дефектоскопии.

2.2. Проверка пригодности к работе осветителя и дефектоскопических материалов

Измерение интенсивности потока УФС, создаваемого осветителем, производится в следующей последовательности:

1. Подать на осветитель питание (220 В, 50 Гц) и дать ему прогреться в течение 10 мин.

2. Поместить чувствительный элемент фотоэлектрического экспонометра на поверхность предметного столика осветителя.

3. Определить границы поля на предметном столике с достаточной освещенностью (более 300 условных единиц).

Определение смачивающей способности индикатора производится путем измерения скорости растекания капли индикатора по поверхности эталонной (стеклянной) пластины.

Работа ведется в следующей последовательности:

1. Обезжирить ацетоном поверхность эталонной пластины.

2. Набрать небольшое количество индикатора в медицинскую пипетку и выдавить одну каплю жидкости на поверхность горизонтально установленной пластины (расстояние от кончика пипетки до поверхности пластины должно быть в пределах 20—25 мм).

3. Измерить несколько раз диаметр растекающейся капли и построить график изменения диаметра пятна во времени.

Для пригодного к работе индикатора «Аэро 12А» время растекания капли до диаметра 30 мм не должно превышать 15 с.

Определение критической толщины индикаторного слоя (содержания красителя) производится методом менисковой пробы. Критической толщиной считается минимальная толщина слоя индикатора, при которой еще заметна его окраска или люминесценция.

Приспособление для определения критической толщины индикатора (рис. 4) состоит из стеклянной линзы 1 с большим радиу-

сом кривизны (200—1000 мм) и стеклянной пластины 3, между которыми «раздавлено» несколько капель индикаторной жидкости 2.

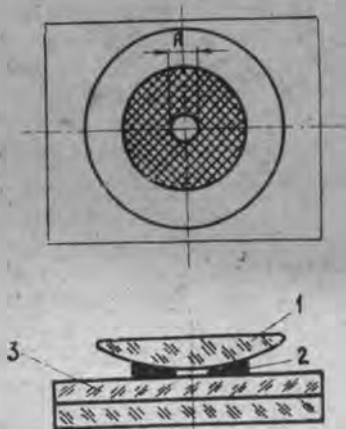


Рис. 4. Схема приспособления для определения критической толщины индикаторного слоя

Клиновой кольцевой зазор, образующийся в точке касания линзы и пластины, позволяет определить критическую толщину слоя индикатора, т. е. содержание красителя в индикаторе.

Измерив диаметр пятна без видимой окраски A и зная радиус кривизны линзы R , критическую толщину слоя T можно рассчитать по формуле

$$T = \frac{A^2}{8R}$$

Работа ведется в следующей последовательности:

1. Очистить поверхности линзы и пластины ацетоном.
2. Нанести на поверхность пластины несколько капель индикатора

и установить линзу.

3. Замерить диаметр светлого пятна A , образующегося в месте касания линзы и пластины.

4. Вычислить критическую толщину слоя индикатора.

Критическая толщина слоя индикатора «Аэро-12А» не должна превышать 2—3 мкм, что соответствует содержанию красителя около 30 г/литр.

Определение времени высыхания пленки проявителя ведется в следующей последовательности:

1. Обезжирить поверхность стеклянной пластины ацетоном.

2. Мягкой кистью нанести на пластину несколько мазков проявителя.

3. Подрезая кончиком лезвия слой высыхающей пленки, определить время полного высыхания (момент легкого отделения пленки от поверхности пластины). Проявитель «Аэро-12А» считается пригодным

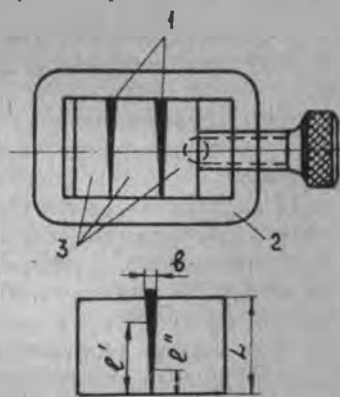


Рис. 5. Конструкция клинового эталона для оценки чувствительности комплекта дефектоскопических материалов

к работе, если время высыхания пленки не превышает 3 мин.

Определение чувствительности дефектоскопических материалов производится с помощью клинового эталона (рис. 5). Клиновой зазор 1, образующийся между пластинами 3, зажатými в оправку 2, позволяет определить чувствительность комплекта С по формуле

$$C = \frac{bl}{L},$$

где b — толщина прокладки между пластинами;

L и l — соответственно общая длина и длина невыявленной части клина.

Для комплекта «Аэро-12А» первая ступень чувствительности по клиновому эталону должна быть не более 0,015 мм, а вторая — не более 0,0015 мм.

Заключительным этапом оценки пригодности комплекта к работе является определение выявляемости мелких термических трещин. Картина выявленных трещин должна соответствовать паспортным данным эталона.

Оценка чувствительности дефектоскопических материалов на эталонах ведется в соответствии с общей технологией контроля с использованием комплекта «Аэро-12А».

Содержание отчета

1. Краткие сведения о назначении и физической сущности капиллярной дефектоскопии.
2. Основные характеристики дефектоскопических материалов «Аэро-12А».
3. Данные о результатах проверки пригодности к работе дефектоскопических материалов и осветителя.
4. Рабочая методика проведения исследований деталей.
5. Результаты исследования деталей в форме заключений об их техническом состоянии с эскизами выявленных дефектов.

Вопросы для самопроверки

1. Какие физические явления положены в основу капиллярной дефектоскопии?
2. Как можно объяснить повышение чувствительности комплекта «Аэро-12А» при переходе от ДС к УФС?
3. Какова сущность отдельных операций контроля при использовании средств капиллярной дефектоскопии?
4. Какие требования предъявляются к дефектоскопическим материалам?

ТОКОВИХРЕВОЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЛА

Цель работы: ознакомление с назначением и физической сущностью токовихревого метода; изучение конструкции и принципа работы токовихревого дефектоскопа ВД-1ГА, измерителя электропроводности ИЭ-1, измерителя толщин покрытий ТПН-1; приобретение практических навыков в проведении исследований технического состояния конструкций ЛА средствами токовихревого метода.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1.1. Назначение и физическая сущность метода

Назначение. Токовихревой метод предназначен для решения разнообразных задач, связанных с определением технического состояния деталей, изготовленных из токопроводящих материалов (металлов). При поиске дефектов уверенно выявляются несплошности материала, имеющие раскрытие около 0,01 мм, глубину более 0,1 мм и длину около 2 мм. При этом не требуется удаление защитных (нетокопроводящих) покрытий толщиной до 0,5 мм.

В условиях ГА метод широко применяется для выявления усталостных трещин на разнообразных конструкциях, изготовленных из алюминиевых, магниевых и жаропрочных сплавов. Перечень контролируемых деталей включает сотни наименований. В него входят лопатки и диски ГТД, корпуса фильтров, барабаны колес, головки цилиндров, узлы навески рулей, закрылков и т. д.

Исследования конструкций с использованием токовихревого метода отличаются высокой оперативностью и низкой трудоемкостью работ. Наличие малогабаритной аппаратуры (ВД-1ГА, ППД-1МУ и др.) позволяет проводить исследования непосредственно в процессе технического обслуживания ЛА. Здесь наиболее широкое распространение получили высокочастотные дефектоскопы с накладными датчиками, которые позволяют контролировать детали сложной конфигурации при наличии отверстий, заклепок и т. д.

Основным недостатком токовихревого метода является сложность разделения контролируемых и неконтролируемых параметров деталей при расшифровке результатов исследования.

Физическая сущность. Выявление дефектов (несплошностей) с использованием токовихревого метода основано на измерении поверхностной электропроводности деталей. Несплошности локально снижают поверхностную электропроводность материала, что фиксируется с помощью специальных приборов, оборудованных соответствующей системой сигнализации (стрелка, свет, звук). Применяя в приборах малогабаритные накладные датчики (катушки) диаметром около 2 мм, можно не только обнаружить участки с пониженной электропроводностью, но и достаточно точно установить их границы.

Величина поверхностной электропроводности материала оценивается путем наложения на исследуемую поверхность специальной катушки (датчика), питаемого переменным током высокой частоты (рис. 1, а). Переменное электромагнитное поле катушки при этом находится во взаимодействии с полями вихревых токов, которые индуцируются в поверхностных слоях материала полями катушки (рис. 1, б).

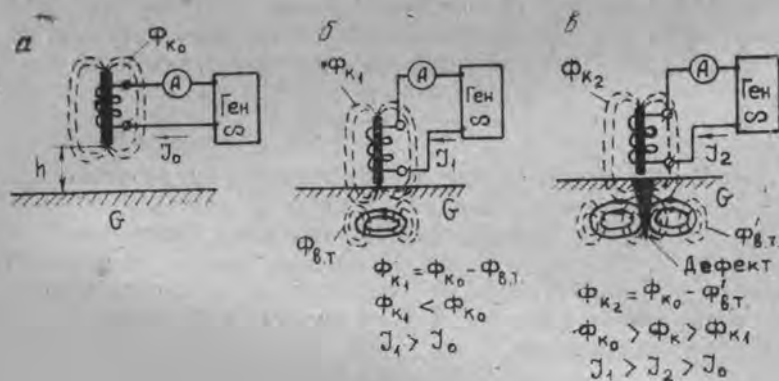


Рис. 1. Параметры катушки при наличии большого зазора (а), без зазора (б), при наличии нарушений сплошности материала (в)

Характер взаимодействия полей зависит от конструкции катушки (длины, диаметра и числа витков), частоты питающего катушку тока, расстояния от катушки до токопроводящей поверхности, электропроводности и толщины материала детали.

Нарушения сплошности поверхностных слоев материала служат препятствием для прохождения вихревых токов, в силу чего в этом месте наблюдаются существенные изменения параметров вихревых токов, а следовательно и параметров катушки (рис. 1, в).

Таким образом, исследование деталей с помощью токовихревого метода заключается в сравнении электропроводности отдельных участков поверхности деталей с соответствующими участками эталонов. Принцип измерения поверхностной электропроводности с помощью вихревых токов реализуется в дефектоскопах (типа ВД), измерителях электропроводности (типа ИЭ), толщиномерах (типа ТПН) и в других приборах. С их помощью, кроме поиска дефектов, можно исследовать многие физико-химические свойства токопроводящих материалов, а также измерять толщину защитных нетокопроводящих покрытий (зазоров). При необходимости измерители электропроводности могут быть использованы и в качестве дефектоскопов.

При подключении индуктивности (катушки) к источнику переменного тока через нее потечет ток

$$I = \frac{U}{Z},$$

где Z — полное сопротивление цепи;

U — напряжение источника питания.

Если катушка удалена от токопроводящей поверхности на значительное расстояние ($h \rightarrow \infty$), то полное сопротивление цепи окажется близким к индуктивному сопротивлению катушки. В этом случае (см. рис. 1, а) величина тока достигнет значения

$$I_0 = \frac{U}{Z_0} = \frac{U}{\omega L_0},$$

где $\omega = 2\pi f$ — круговая частота питающего напряжения;

L_0 — начальная индуктивность катушки.

При поднесении катушки к токопроводящей (неферромагнитной) поверхности (см. рис. 1, б) под влиянием полей вихревых токов, величина которых зависит от электропроводности материала (G), превосходит уменьшение ее индуктивности, что приводит к увеличению тока до значения

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{U}{\sqrt{(\omega L_1)^2 + R_{\text{вн}}^2}},$$

где $R_{\text{вн}}$ — активные потери в катушке, возникающие под воздействием полей вихревых токов;

ωL_1 — индуктивное сопротивление катушки с учетом влияния полей вихревых токов ($\omega L_1 < \omega L_0$).

При наличии несплошностей в поверхностном слое материала распределение вихревых токов под катушкой существенно изменяется (рис. 1, в), что приводит к некоторому изменению индуктивной и активной составляющих полного сопротивления катушки. В первом приближении влияние несплошностей на параметры ка-

тушки можно представить как снижение поверхностной электропроводности материала. В результате сила тока в цепи катушки при наличии несплошностей уменьшается.

Уменьшение тока в цепи на различных частотах имеет различную природу. Так, на низких частотах (рис. 2,а) уменьшение тока происходит главным образом вследствие увеличения индуктивного сопротивления катушки ($\omega L_2 > \omega L_1$), а на высоких (рис. 2,б) — главным образом из-за увеличения вносимых активных потерь ($R_{вн2} > R_{вн1}$).

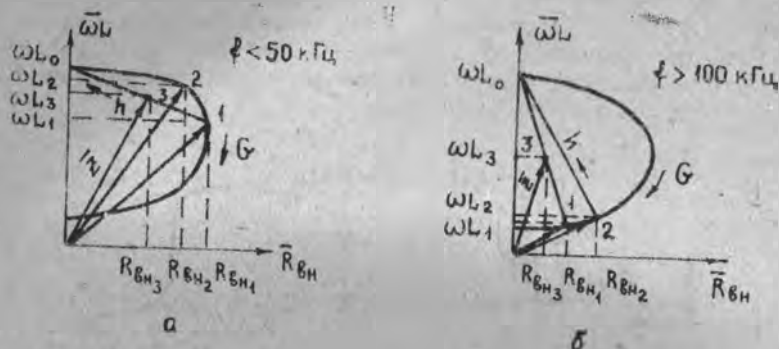


Рис. 2. Изменение параметров катушки на низких (а) и высоких (б) частотах при изменении величины зазора h и электропроводности материала G

В силу этого на низких частотах при наличии несплошностей добротность катушки ($Q = \omega L/R_{вн}$) несколько возрастает, а на высоких — снижается. Эти явления связаны с изменением глубины проникновения вихревых токов при изменении частоты тока.

Многообразие факторов, влияющих на параметры катушки, является одновременно достоинством и недостатком метода, так как полностью исключить их взаимное влияние практически не удастся. Так, при измерении электропроводности материала необходимо подавить чувствительность прибора к изменению зазора и кривизны поверхности, при измерении толщины покрытий (зазоров) — чувствительность к изменению электропроводности материала. На результаты поиска дефектов (несплошностей) не должны влиять ни колебания величины зазора, ни близость края, ни электропроводность материала. Эти задачи решаются несколькими способами.

В малогабаритных токовихревых дефектоскопах (типа ВД) широкое распространение получил способ подавления чувствительности к зазору, основанный на измерении добротности катушки на высоких частотах. На высокой частоте (более 1 МГц) влияние снижения электропроводности материала и увеличения зазора на

величину вносимых потерь взаимно противоположны (см. рис. 2, б). При локальном снижении электропроводности материала (несплошностях) конец вектора полного сопротивления перемещается из точки 1 в точку 2 по линии электропроводностей G , а при увеличении зазора — из точки 1 в точку 3 по линии отвода h . Таким образом, при наличии несплошностей величина вносимых активных потерь возрастает ($R_{вн1} < R_{вн2}$), а при увеличении зазора уменьшается ($R_{вн1} > R_{вн3}$). В первом случае наблюдается снижение добротности катушки, а во втором — ее повышение.

Если катушка входит в колебательный контур (L_k, C_k) высокочастотного автогенератора (рис. 3, а), то при прохождении ее над дефектом (несплошностью) условия возбуждения генератора ухудшаются (срыв генерации), а при увеличении зазора они улучшаются (сохраняются неизменными).

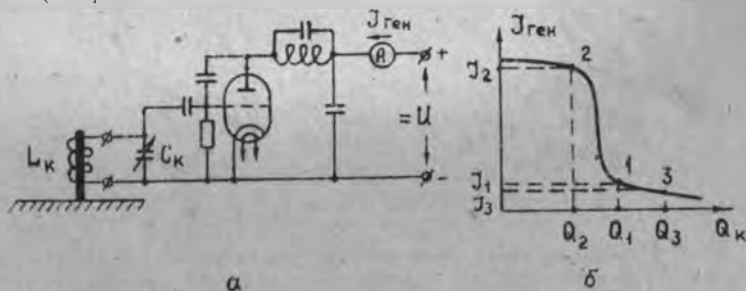


Рис. 3. Принцип измерения добротности катушки с помощью автогенератора (а) и его «срывающая» характеристика (б)

Добротность контура определяет условия возбуждения генератора, т. е. величину потребляемого им тока (рис. 3, б). В результате при наличии несплошностей происходит увеличение потребляемого генератором тока, а при увеличении зазора величина потребляемого тока практически не изменяется.

Для повышения чувствительности приборов колебательный контур (L_k, C_k) при переходе от одного материала к другому перенастраивается так, чтобы режим работы генератора был близок к границе срыва (точка 1). В этом случае при появлении под катушкой даже относительно мелких несплошностей происходит срыв генерации (точка 2).

При увеличении зазора (толщины покрытий) происходит смещение рабочей точки (точка 3) от границы срыва, что приводит к снижению чувствительности к несплошностям. В силу этого настройка дефектоскопов типа ВД должна производиться на участках деталей (эталонах), имеющих покрытия, толщина которых близка к толщине покрытий на исследуемом участке.

1.2. ТОКОВИХРЕВОЙ ДЕФЕКТОСКОП ВД-1ГА

Назначение и основные технические данные

Малогабаритный токовихревой дефектоскоп ВД-1ГА предназначен для выявления дефектов (несилошностей) в поверхностных слоях токопроводящих материалов (ферромагнитного и неферромагнитного класса). Прибор позволяет вести контроль деталей с наличием толстых (до 0,5 мм) слоев нетокопроводящих покрытий.

Датчик малого диаметра (около 2 мм) позволяет контролировать детали сложной конфигурации в условиях затрудненного подхода к исследуемым участкам.

При контроле выявляются дефекты, имеющие длину около 2 мм, глубину — около 0,1 мм и раскрытие — около 0,01 мм.

Минимальный радиус кривизны исследуемого участка поверхности — около 3 мм.

Максимальная скорость перемещения датчика, при которой сохраняется высокая вероятность обнаружения дефектов — около 0,5 м/с.

Рабочая частота — около 3 МГц.

Сигнализация дефектов — комбинированная: стрелочный прибор и звуковой тон в головных телефонах.

Напряжение питающей сети — 24/36 В (50 Гц).

Масса прибора — около 3 кг.

Конструкция и принцип работы

Дефектоскоп выполнен на металлическом шасси в виде переносной конструкции. В комплект дефектоскопа входят: измерительный блок, набор датчиков и эталонов.

На переднюю панель измерительного блока (рис. 4, а) вынесены основные органы управления и сигнализации.

Датчики дефектоскопа выполнены в виде малогабаритных катушек, установленных в специальные оправки. Размеры и форма оправок выбираются с учетом конфигурации контролируемых участков деталей и возможностей подхода. В комплект датчиков, прилагаемых к дефектоскопу, входят:

универсальный датчик типа «Карандаш» (рис. 4, б);

датчик для контроля головок цилиндров типа «Серп»;

датчик для контроля головок цилиндров типа «Нож»;

Г-образный датчик для контроля фланцевых соединений.

Схема дефектоскопа (рис. 5) включает блок питания (БП), измерительный и регистрирующий блоки.

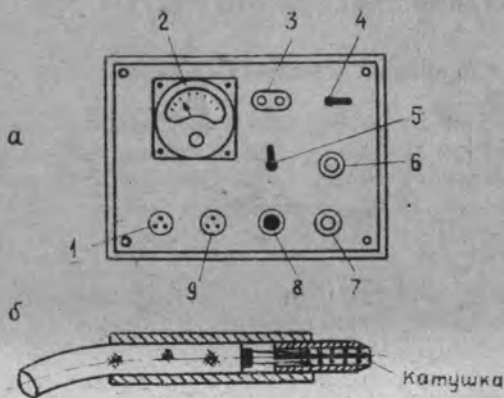


Рис. 4. Передняя панель (а) и датчик (б) дефектоскопа ВД-1ГА

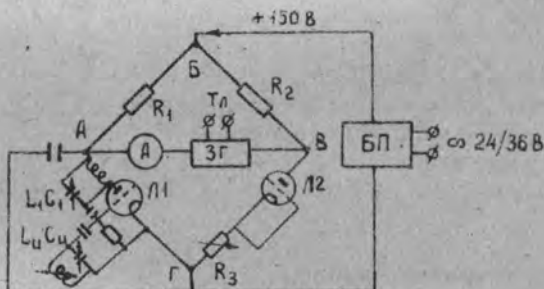


Рис. 5. Блок-схема дефектоскопа ВД-1ГА

Блок питания обеспечивает преобразование и подачу напряжений на анодные и накальные цепи прибора при питании от источника переменного тока (24/36 В).

Измерительный блок представляет собой мост (АБВГ) постоянного тока. Верхние плечи моста АБ и БВ образованы активными сопротивлениями R_1 и R_2 , а нижние АГ и ВГ представляют собой высокочастотный автогенератор, выполненный на лампе L_1 , и балансный усилитель, выполненный на лампе L_2 .

Регистрирующий блок входит в диагональ моста АВ. Он включает стрелочный индикатор А и звуковой генератор ЗГ, который имеет выход Тл на головные телефоны.

Работа дефектоскопа основана на срыве высокочастотной генерации в момент прохождения катушки датчика над участком с пониженной электропроводностью (неплошностью). В момент срыва

генерации потребляемый генератором ток резко возрастает, что приводит к нарушению начальной балансировки моста и срабатыванию систем сигнализации (отклонение стрелки и появление звукового тона в наушниках).

Режим генерации выбирается путем подбора резонансных частот сеточного (L_n, C_n) и анодного (L_1, C_1) контуров автогенератора. Вращением ротора конденсатора C_n («Настройка датчика») можно добиться возникновения генерации на некотором критическом (предсрывном) режиме, возникновение которого определяется по величине анодного тока автогенератора (30—40 μ А). Для удобства работы оператора начальная разбалансировка моста, возникающая при настройке дефектоскопа, устраняется за счет изменения анодного тока лампы L_2 с помощью сопротивления R_3 («Баланс»).

При прохождении датчика над дефектом происходит мгновенный срыв генерации, что приводит к возрастанию анодного тока лампы и разбалансировке моста. На бездефектном участке детали генерация восстанавливается.

Работа с дефектоскопом. Настройка дефектоскопа производится с целью обеспечения максимальной чувствительности к дефекту при минимальной чувствительности к мешающим факторам (близость края, кривизна, покрытие).

Настройка производится с использованием специальных эталонов в следующей последовательности (см. рис. 4, а):

1. Подключить датчик типа «Карандаш» к разъему 1.
2. Подключить головные телефоны к гнездам 3.
3. Подключить шнур питания к разъему 9.
4. Ручку «Баланс» 8 повернуть вправо до упора.
5. Ручку «Настройка датчика» 6 повернуть влево до упора.
6. Выключатель питания 5 перевести в положение «Включено» и дать дефектоскопу прогреться в течение 5 мин (наличие питания сигнализируется лампой 7).
7. Переключатель рода работ 4 перевести в положение, соответствующее классу исследуемого материала («магн.—немагн.»).
8. Установить датчик на бездефектный участок эталона.
9. Ручкой «Настройка датчика» 6 установить стрелку микроамперметра на деление 30—40 μ А.
10. Ручкой «Баланс» 8 установить стрелку на нулевое деление шкалы.
11. Отвести датчик от поверхности детали. При этом стрелка микроамперметра должна оставаться на нулевом делении шкалы.
12. Провести датчиком по поверхности эталона. При прохождении датчика над «дефектом» стрелка микроамперметра должна отклониться до деления 300 μ А, а в наушниках должен появиться звуковой тон.

Поиск дефектов ведется в следующей последовательности:

1. Подключить необходимый для проведения исследований датчик к разъему 1.

2. Произвести настройку дефектоскопа по эталону.

3. Установить датчик на бездефектный участок детали и повторить настройку.

4. Провести исследование детали (поиск дефектов).

При отклонении стрелки и появления звукового тона в наушниках повторить настройку дефектоскопа и вновь провести исследование «дефектного» участка. Устойчивое отклонение стрелки за деление $100 \mu\text{A}$ свидетельствует о наличии дефекта (неплотности) в поверхностном слое материала детали.

1.3. ИЗМЕРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ИЭ-1 (ИЭ-1М)

Назначение и основные технические данные

Прибор предназначен для измерения поверхностной электропроводности деталей, изготовленных из токопроводящих немагнитных материалов (металлов).

Прибор обеспечивает измерение электропроводности большинства сплавов на медной и алюминиевой основе, что позволяет решать разнообразные задачи, связанные с определением марки сплавов, режимов их термической обработки, упрочнения поверхностных слоев и т. д.

Диапазон контролируемых величин электропроводности — $15\text{—}59 \text{ Ом/м} \cdot \text{мм}^2$ ($4,8\text{—}15,6 \text{ Ом/м} \cdot \text{мм}^2$).

Радиус кривизны контролируемой поверхности — не менее 200 мм.

Толщина контролируемого изделия — не менее 1 мм.

Минимальная площадь контроля — круг диаметром 25 мм.

Прибор не чувствителен к зазору до 0,10 мм.

Рабочая частота питающего катушку тока — 40 кГц (80 кГц).

Диаметр катушки — около 10 мм.

Питание — сеть переменного тока — 220 В (50 Гц).

Масса прибора — не более 6,5 кг.

Конструкция и принцип работы

В комплект прибора входят датчик и измерительный блок (рис. 6). Чувствительным элементом датчика является катушка 2, помещенная в корпус 1 и защитный стакан 4, предохраняющий катушку от механических повреждений. Ферритовый сердечник и пермалловый экран катушки 3 предназначены для концентрации

магнитного поля в направлении исследуемой поверхности. Датчик соединяется с измерительным блоком кабелем 5.

Измерительный блок включает переднюю панель и шасси со смонтированными на них элементами схемы. На переднюю панель прибора вынесены следующие органы управления (рис. 6, б):

- ручка «Электропроводность» 1 — для замера электропроводности;
- стрелочный индикатор 2 — для индикации тока моста;
- ручка «Чувствительность» 6 — для регулировки чувствительности индикатора;
- ручка «Установка нуля» 3 — для балансировки усилителя постоянного тока;
- кнопка «Контроль нуля» 5 — для проверки балансировки усилителя;
- ручка «Нижний предел» 4 — для точной установки нижнего предела измерений электропроводности;
- ручка «Верхний предел» 11 — для точной установки верхнего предела электропроводности;
- гнездо 7 для подключения кабеля датчика;
- тумблер и сигнальная лампа включения питания 8;
- ручка «Отстройка от зазора» 9 — для отстройки прибора от влияния зазора определенной величины;
- ручка «С₆» 10 — для расширения пределов регулировок «Верхний предел» и корректировки средней точки шкалы.

Блок-схема прибора представлена на рис. 7. Переменное на-

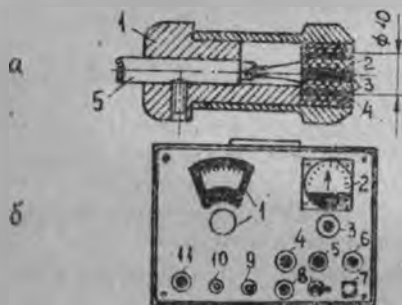


Рис. 6 Передняя панель (а) и датчик (б) измерителя электропроводности ИЭ-1

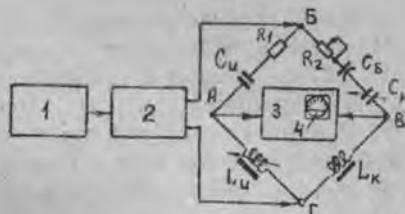


Рис. 7. Блок-схема измерителя электропроводности ИЭ-1

пряжение, стабилизированное кварцем (КВ), от генератора синусоидальных колебаний 1 подается в усилитель мощности 2, от которого питаются измерительная и компенсационные цепи прибора, являющиеся плечами моста АБВГ.

Левое плечо моста БАГ образовано катушкой датчика L_n и

емкостью $C_{н}$, а правое БВГ компенсационной катушкой $L_{к}$ и конденсатором $C_{к}$.

Измерительная и компенсационная цепи прибора настраиваются на частоту, близкую к частоте генератора. Напряжение, снимаемое с диагонали моста AB , детектируется, сглаживается и поступает на симметричный балансный усилитель постоянного тока \mathcal{Z} , на выход которого включен индикатор баланса моста \mathcal{I} . При равенстве напряжений на измерительной и компенсационной катушках стрелка индикатора устанавливается на нулевое деление. Балансировка моста осуществляется подбором емкости конденсатора $C_{к}$. Положение ротора конденсатора $C_{к}$, оборудованного специальной шкалой, определяет величину электропроводности материала.

С целью частичного подавления влияния зазора и укладки средней части диапазона измерений в цепь компенсационной катушки введены добавочная емкость и сопротивление (C_3, R_2).

Работа с прибором. Подготовка к работе ведется в следующей последовательности:

1. Соединить шнур питания с источником тока (220 В).
2. Подсоединить кабель датчика к гнезду «Датчик».
3. Ручкой «Чувствительность» задать минимальную чувствительность индикатора.
4. Тумблер «Сеть» установить в положение «Включено» и дать прибору прогреться в течение 10—15 мин.
5. Ручку «Чувствительность» перевести на максимум чувствительности.
6. Нажать кнопку «Контроль нуля».
7. Ручкой «Установка нуля» установить стрелку индикатора на нулевое деление шкалы.

Настройка ведется в следующей последовательности:

1. Датчик прибора установить на середину эталона, соответствующего верхнему пределу измеряемой электропроводности.
2. Ручкой «Электропроводность» установить шкалу против значения электропроводности эталона верхнего предела.
3. Ручкой «Верхний предел» установить стрелку индикатора на нуль.
4. Установить датчик на эталон, соответствующий нижнему пределу значений электропроводности.
5. Ручкой «Электропроводность» установить шкалу против значения электропроводности эталона нижнего предела.
6. Произвести балансировку моста ручкой «Нижний предел».
7. Повторить настройку прибора по верхнему и нижнему пределам измерений до получения разбалансировки моста при переходе с эталона на эталон не более пяти делений шкалы индикатора.

Отстройка прибора от влияния зазора производится при работе

на деталях, имеющих неэлектропроводящие покрытия. Отстройка производится в следующей последовательности:

1. Установить датчик настроенного по эталонам прибора на участок поверхности детали без покрытия, и ручкой «Электропроводность» установить стрелку индикатора на нулевое деление.

2. Установить датчик на участок поверхности детали с покрытием, и ручкой «Отстройка от зазора» установить стрелку индикатора на нулевое деление.

3. Вновь установить датчик на участок без покрытия и конденсатором «С₆» отбалансировать мост.

4. Повторить настройку прибора до получения разбалансировки моста при переходе от участка с покрытием к участку без покрытия не более пяти делений шкалы индикатора.

ВНИМАНИЕ! Эффект отстройки от зазора сохраняется только в узком диапазоне электропроводностей и зазоров.

Сортировка деталей по маркам сплавов ведется в следующей последовательности:

1. Подготовить прибор к работе и настроить по эталонам.

2. На ровном участке детали диаметром более 25 мм установить датчик и произвести замер электропроводности материала.

Примечание: Возможен замер электропроводности и на меньших площадках, однако при этом необходимо соблюдать идентичность условий измерений.

3. Составить таблицу значений электропроводностей различных сплавов, пользуясь которой, рассортировать детали по маркам сплавов.

При сортировке деталей могут быть использованы справочные данные по электропроводности сплавов (см. таблицу):

Марка сплава	Удельная электропроводность, Ом/м · мм ²		Марка сплава	Удельная электропроводность, Ом/м · мм ²	
	нижний предел	верхний предел		нижний предел	верхний предел
Д16АТ	19,5	21,5	Д16	17,4	18
Д16АТВ	21	21,5	В95Т	18,9	22
Д16АМ	27	28,7	АК-6	22,1	27,4
Д16АМО	27	28,7	АК-8	19,8	27,1
АД1Н	33,5	34	Д-1	21,1	27,2
АД1М	35	37	В-93	18,8	26
АМГ-6М	15	16	Д16	18,1	22,6
АМЦАМ	27,5	28	А.Т-4	16,9	20,6
В95АТ	19,5	21,5	МЛ-5	6,5	7,0
В95АМ	25	25,5	ВМ65/1	19,0	20,2
М00	59	59,1	МЛ-12	25,0	25,5
Л62	15,2	17	С00	5,25	5,5

1.4. ИЗМЕРИТЕЛЬ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ ТПН-1

Назначение и основные технические данные

Прибор предназначен для измерения толщины лакокрасочных, оксидных и других неэлектропроводящих покрытий на деталях, изготовленных из немагнитных материалов.

Диапазон измерений — $0 \div 0,2$ мм.

Рабочая частота питающего катушку тока — 2 МГц.

Диаметр катушки датчика — 3,5 мм.

Напряжение питающей сети — 220 В (50 Гц).

Конструкция и принцип работы

В комплект прибора входят датчик (рис. 8, а) и измерительный блок. На лицевую панель прибора вынесены следующие органы управления (рис. 8, б):

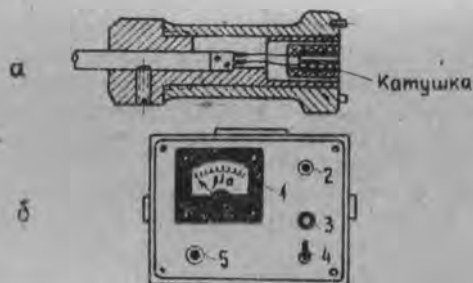


Рис. 8. Передняя панель (А) и датчик (б) толщиномера ТПН-1

стрелочный индикатор 1 — для настройки прибора и измерения толщины покрытий; ручка «Установка нуля» 2 — для начальной балансировки прибора; ручка «Диапазон работы» 3 — для установки цены деления шкалы индикатора; тумблер «Сеть» 4 — для включения прибора; сигнальная лампа 5 — для сигнализации подачи напряжения питания.

Блок-схема прибора представлена на рис. 9. Высоочастотное напряжение, стабилизированное кварцем (КВ) от задающего генератора 1 после усиления в усилителе мощности 2 подается на мост АБВГ. В левое плечо моста БАГ включена катушка датчика L_n и конденсатор C_n . Правое плечо моста БВГ образовано компенсационной катушкой L_k и переменным конденсатором C_k .

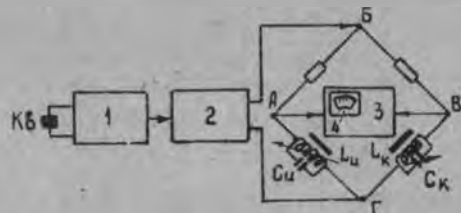


Рис. 9. Блок-схема толщиномера ТПН-1

пряжение разбалансировки, снимаемое с диагонали моста AB , выпрямляется, сглаживается и после усиления в усилителе постоянного тока Z подается на стрелочный индикатор 4. Прибор имеет линейную зависимость между показаниями индикатора и толщиной измеряемого покрытия (зазора).

Работа с прибором. Подготовка к работе, настройка и проведение измерений ведутся в следующей последовательности:

1. Подключить прибор к источнику переменного тока (220 В).
2. Включить тумблер «Сеть» и дать прибору прогреться в течение 5—10 мин.
3. Установить датчик на участок детали без покрытия.
4. Ручкой «Установка нуля» установить стрелку прибора на нулевое деление шкалы.
5. Установить датчик на поверхность детали, предварительно подложив под него диэлектрическую прокладку известной толщины.
6. Ручкой «Диапазон работы» установить стрелку прибора на деление, соответствующее (кратное) толщине прокладки.
7. Установить датчик на участок детали с контролируемым покрытием и по показанию индикатора определить его толщину.

2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Составление рабочих методик исследования.
2. Проведение исследований деталей.

2.1. Общие рекомендации по составлению рабочих методик и проведению исследований

Процесс исследования деталей с использованием токовихревого метода состоит из ряда операций:

- подготовка конструкций к исследованию;
- подготовка и настройка приборов;
- определение технического состояния деталей (поиск дефектов, определение марки сплава, измерение толщины покрытий и т. д.).

Подготовка конструкций к исследованию заключается в обеспечении подхода к исследуемым деталям, а также в соответствующей подготовке их поверхностей.

При подготовке поверхностей с них удаляется влага, смазка, пыль, грязь, толстые слои покрытий и продукты коррозии. Очистка производится кистью, смоченной бензином (Б-70), затем поверхности осушаются чистой ветошью.

Подготовка и настройка приборов заключается в подключении к источникам питания и проверке работоспособности.

Настройка производится с помощью специальных эталонов, характеристики которых близки к характеристикам исследуемых деталей (электропроводность, конфигурация, толщина покрытий, характер дефектов и т. д.). При подготовке к проведению исследований необходимо обеспечить условия для установки и перемещения датчика по поверхности детали. При работе в условиях отрицательных температур (ниже -5°C), а также для защиты от осадков прибор помещается в защитный чехол.

Детали, нагретые до температуры выше 50°C , исследовать с использованием токовихревой аппаратуры не рекомендуется.

Определение технического состояния деталей заключается в оценке электропроводности материала на исследуемых участках. Установка и перемещение датчика по исследуемой поверхности должны производиться без ударов и нажима. В случае исследования грубообработанных поверхностей поиск дефектов ведется путем установки датчика на поверхность с последующим отводом. Такой способ перемещения датчика позволяет резко увеличить срок его службы.

Скорость и траектория перемещения датчика выбираются с учетом конкретных задач исследования, ожидаемой длины и ориентации дефектов, способа сигнализации, а также индивидуальных способностей оператора. Скорость перемещения датчика при поиске дефектов обычно не превышает $10-15$ мм/с, а шаг перенесения — половины длины ожидаемого дефекта ($3-5$ мм). Хорошие результаты при поиске дефектов достигаются при использовании стрелочно-звуковой сигнализации (ВД-1ГА). Данный способ сигнализации позволяет оператору постоянно следить за траекторией перемещения датчика, что исключает возможность пропуска отдельных участков исследуемой поверхности.

2.2. Исследование деталей

С методикой проведения исследований познакомимся на примере поиска дефектов (трещин) на головках цилиндров двигателей и барабанах авиационных колес.

В процессе эксплуатации двигателей АШ-62ИР наблюдаются случаи возникновения усталостных трещин на головках цилиндров в районе футорки задней свечи зажигания. Трещины берут начало у края отверстия под футорку и развиваются в направлении седла клапана выхлопа (рис. 10, а). Разрушения головок цилиндров из-за образования трещин могут привести к тяжелым летным происшествиям (пожар, вынужденная посадка).

Трещины головок цилиндров надежно выявляются дефектоскопом ВД-1ГА с универсальным датчиком типа «Карандаш».

Перемещение датчика производится вдоль вертикального ребра охлаждения (рис. 10, б) с соблюдением перпендикулярности к поверхности тела головки. Если стрелка индикатора дефектоскопа при этом остается неподвижной, то цилиндр признается годным



Рис. 10. Места возникновения трещин головок цилиндров двигателя АШ-62НР (а) и схема их выявления (б)

к дальнейшей эксплуатации. Резкое отклонение стрелки на величину более $100 \mu A$ свидетельствует о наличии трещины. При обнаружении трещины повторяется настройка дефектоскопа (по эталону) и производится повторный поиск дефектов. Устойчивое отклонение стрелки за деление $100 \mu A$ свидетельствует о наличии трещины. Цилиндр с трещиной подлежит выбраковке.

В процессе эксплуатации авиационных колес наблюдаются случаи возникновения усталостных трещин в зонах, прилегающих к ребрам и буртикам, а также в канавках под стопорное кольцо съемной реборды (рис. 11, а).

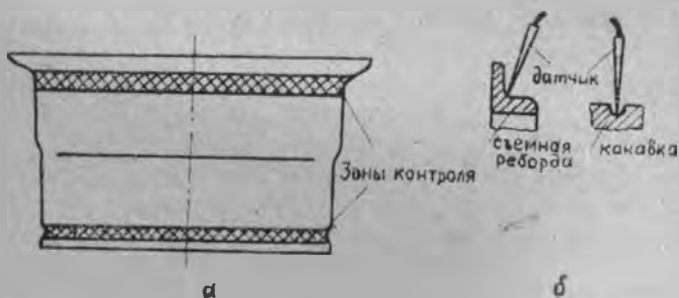


Рис. 11. Места возникновения трещин на барабанах авиационных колес (а) и схема их выявления (б)

Трещины барабанов колес надежно выявляются дефектоскопом ВД-1ГА с датчиком типа «Карандаш». При контроле датчик пере-

мещается вдоль образующей барабана по синусоиде, чем достигается охват всей опасной зоны за один проход датчика (рис. 11, б).

Резкое отклонение стрелки индикатора за деление $100 \mu\text{A}$ свидетельствует о наличии трещины (возможны плавные отклонения стрелки, связанные с неоднородностью материала, которые браковочным признаком не являются). При обнаружении трещины повторяется настройка дефектоскопа по эталону и производится повторный поиск дефектов. Устойчивое резкое отклонение стрелки за деление $100 \mu\text{A}$ свидетельствует о наличии трещины. Барабаны с трещиной подлежат выбраковке.

Содержание отчета

1. Краткие сведения о назначении и физической сущности токовихревого метода.
2. Основные технические данные приборов ВД-1ГА, ИЭ-1 и ТПН-1.
3. Рабочие методики исследования деталей.
4. Результаты исследований в форме заключений о техническом состоянии деталей с эскизами выявленных дефектов.

Вопросы для самопроверки

1. Какие задачи могут решаться с использованием токовихревого метода?
2. Какой способ отстройки от влияния зазора реализован в дефектоскопе ВД-1ГА?
3. Какие факторы влияют на чувствительность дефектоскопа ВД-1ГА?

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭХО-ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЛА

Цель работы: ознакомление с назначением и физической сущностью ультразвукового эхо-импульсного метода; изучение конструкции, принципа действия и особенностей применения дефектоскопа УДМ-3; приобретение практических навыков в проведении исследований конструкций средствами ультразвуковой дефектоскопии.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1.1. Назначение и физическая сущность метода

Назначение. Ультразвуковые методы дефектоскопии (в частности, эхо-импульсный метод) относятся к числу наиболее универсальных методов исследования конструкций и полуфабрикатов. Они позволяют определять разнообразные свойства изделий, изготовленных из акустически прозрачных конструкционных материалов (металлов, пластмасс и др.).

При данном методе исследования не требуется обеспечение непосредственного контакта с исследуемой поверхностью, что позволяет вести контроль изделий без демонтажа деталей из конструкции. Метод обладает высокой чувствительностью к дефектам (минимальная площадь около 1 мм^2), что позволяет эффективно использовать его и для целей технического диагностирования ЛА.

К недостаткам метода следует отнести:

- высокие требования к контролепригодности конструкций;
- сравнительно низкие показатели достоверности результатов контроля;

- сложность аппаратуры и ее применения, что налагает высокие требования к квалификации операторов.

В силу указанных недостатков метод широкого применения на предприятиях гражданской авиации пока не имеет. Однако в условиях производства, где требования к качеству контроля несколько ниже, метод успешно применяется для выявления дефектов литья, сварки,ковки,штамповки, проката и т. д.

Физическая сущность метода. Ультразвуковой эхо-импульсный метод дефектоскопии основан на способности ультразвуковых ко-

лебаний распространяться в акустически прозрачных материалах и отражаться от границы раздела двух сред с различными акустическими свойствами.

Ультразвуковые колебания (УЗК) при введении в акустически прозрачную среду распространяются на значительные расстояния без существенного ослабления.

Интенсивность УЗК I_x на расстоянии x от излучателя зависит от свойств среды, характеризуемых коэффициентом линейного затухания α , и их начальной интенсивности I_0 :

$$I_x = I_0 e^{-2\alpha x}.$$

Степень затухания УЗК зависит от характера упругих связей и строения вещества, частоты колебаний и т. д. Так, например, при определенном размере зерна вещество может оказаться практически «непрозрачным» для УЗК. Однако большинство конструкционных материалов (металлов) имеет сравнительно мелкозернистую структуру, что позволяет использовать ультразвуковой метод для исследования деталей, имеющих длину до нескольких метров.

Важной характеристикой среды является также акустическое сопротивление Z , которое определяется как произведение плотности вещества ρ на скорость распространения в нем ультразвука C :

$$Z = \rho C.$$

Акустические сопротивления материалов (таблица) существенно различаются, так как различаются их плотности и скорости распространения УЗК. Скорость распространения УЗК, в свою очередь, определяется модулем упругости среды E и ее плотностью. Так, скорость распространения продольных УЗК в тонких стержнях может быть определена из выражения

$$C_{\text{прод}} \approx \sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$

Материал	Плотность, кг/м ³ × 10 ³	Скорость звука, м/с		Акустическое сопротивление, кг/м ² × С × 10 ⁶
		$C_{\text{прод}}$	$C_{\text{попер}}$	
Алюминий (сплавы)	2,7	6260	3080	16,9
Железо (сплавы)	7,8	5850	3230	45,6
Медь (сплавы)	8,9	4700	2260	41,8
Магний (сплавы)	1,7	4600	2200	7,82
Титан (сплавы)	4,5	6000	3500	27,0
Органическое стекло	1,18	2670	1120	3,14
В о д а	1,0	1456	—	1,5
Минеральное масло	0,97	1477	—	1,43
Воздух	$1,29 \cdot 10^{-3}$	331	—	$4,2 \cdot 10^{-4}$

В твердой среде наряду с продольными (сжатия—растяжения) могут распространяться и другие виды УЗК. Например, скорость распространения поперечных (сдвиговых) УЗК близка к половине скорости продольных ($C_{\text{попер}} \approx 0,5 C_{\text{прод}}$), а скорость поверхностных УЗК — к скорости поперечных ($C_{\text{пов}} \approx 0,9 C_{\text{попер}}$).

Акустические сопротивления газов, жидкостей и металлов соотносятся между собой соответственно как 1:3000:10000. Такие соотношения создают благоприятные условия для отражения УЗК от границы раздела сред, но вносят определенные затруднения для обеспечения ввода.

При равенстве акустических сопротивлений контактирующих сред УЗК без отражения переходят из одной среды в другую. При других соотношениях акустических сопротивлений происходит частичное или полное отражение ультразвука от границы раздела. Так, от границы раздела «металл—воздух» происходит практически полное отражение ультразвука.

Ультразвуковые колебания распространяются от излучателя в виде расходящегося конуса ультразвуковых волн (рис. 1, а). Угол расхождения волн φ зависит от отношения длины волны УЗК— λ и диаметра излучателя d :

$$\varphi = 2 \arcsin 1,2 \lambda / d.$$

Длину волны УЗК можно рассчитать по формуле $\lambda = C/f$, где f — частота УЗК.

В непосредственной близости от излучателя («ближняя зона») ультразвуковые волны распространяются практически без расхо-

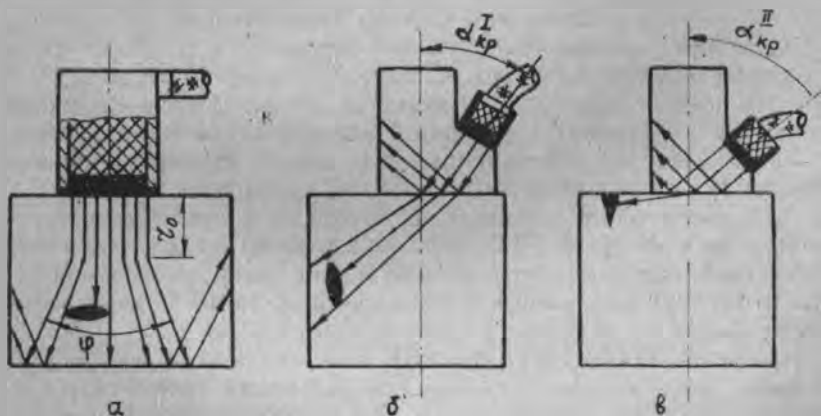


Рис. 1. Схема контроля с использованием продольных (а), поперечных (б) и поверхностных (в) волн

дения. Протяженность «ближней зоны» r_0 можно рассчитать по формуле

$$r_0 = d^2/4\lambda.$$

Например, при частоте $f = 2,5$ МГц и диаметре излучателя $d = 12$ мм протяженность ближней зоны (по стали) $r_0 \approx 15$ мм, а угол расхождения конуса $\varphi \approx 28^\circ$.

В практике ультразвуковой дефектоскопии металлов обычно используются УЗК с частотой от 0,6 до 15 МГц, для генерирования которых применяются специальные излучатели. Основной частью излучателя является пьезоэлектрический преобразователь, представляющий собой пластинку, изготовленную из пьезокерамического материала (титанат бария, цирконат—титанат свинца и др.). Такие преобразователи обладают свойством прямого и обратного пьезоэффекта (если пластинку сжимать или растягивать, то на ее поверхностях появляются электрические заряды, а если пластинку поместить в переменное электрическое поле, то возникают механические колебания). В излучателях УЗК пластинки обычно колеблются по толщине. Собственная частота колебаний пластинки f_p зависит от ее толщины t и скорости ультразвука в материале $C_{\text{прод}}$, из которого она изготовлена:

$$f_p = \frac{C_{\text{прод}}}{2t}.$$

При подаче на пьезопластинку напряжения, частота которого отлична от частоты собственных колебаний, возникают вынужденные колебания. Однако амплитуда таких колебаний значительно меньше, чем на резонансной частоте пластинки.

Колебания от пьезопластинки передаются в упругую среду, с которой она контактирует. С другой стороны, УЗК могут поступать на пьезопластинку и из внешней среды. В этом случае на ее электродах возникает переменное электрическое напряжение.

Устройства, предназначенные для ввода, приема и преобразования УЗК, называются искательными головками (щупами).

Для обеспечения хорошего акустического контакта излучателя с поверхностью ввода УЗК зазор между ними должен заполняться контактной смазкой (минеральное масло, вода, глицерин и т. д.) При этом удается ввести в тело детали до 10 % энергии излучателя.

При необходимости ввода УЗК в тело детали под заданным углом к поверхности, а также для получения поперечных и поверхностных УЗК используются акустические призмы (см. рис. 1, б, в). Действие акустической призмы основано на способности УЗК отражаться, преломляться и трансформироваться на границе раздела сред.

При наклонном (докритическом) падении продольных УЗК на границу раздела (рис. 2) часть энергии УЗК отражается от нее под углом падения α , а часть переходит во вторую среду и, преломившись, распространяется под углом γ_L . Одновременно с отражением и преломлением на границе раздела происходит трансформация продольных УЗК L в поперечные T .

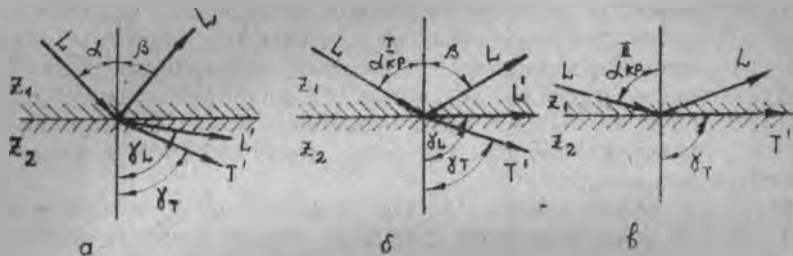


Рис. 2. Отражение и преломление УЗК на границе раздела двух сред с различными акустическими свойствами: а—докритический угол ввода; б—первый критический угол ввода; в—второй критический угол ввода

Углы падения, отражения и преломления связаны между собой зависимостью

$$\frac{\sin \alpha}{C_L} = \frac{\sin \gamma_L}{C_{L2}} = \frac{\sin \gamma_T}{C_{T2}}$$

где α, β, γ — углы падения, отражения и преломления УЗК. C_L, C_{L2}, C_{T2} — скорости распространения УЗК.

Используя данную зависимость, можно рассчитать значения докритического (см. рис. 2, а) и критических (см. рис. 2, б, в) случаев ввода УЗК.

При первом критическом угле ($\alpha_{кр1}$) в тело детали вводятся поперечные УЗК, при этом уменьшается скорость распространения колебаний, что способствует повышению чувствительности метода.

При втором критическом угле ($\alpha_{кр2}$) УЗК распространяются вдоль границы раздела двух сред, т. е. возбуждаются поверхностные волны, которые используются для выявления поверхностных дефектов (трещин) на деталях сложной конфигурации (кожухи камер сгорания, лопатки, трубопроводы и т. д.).

1.2. Ультразвуковой эхо-импульсный дефектоскоп УДМ-3

Назначение и основные технические данные

Дефектоскоп предназначен для обнаружения и определения координат дефектов — нарушений сплошности материалов (раковины, расслоения, трещины и т. д.).

При работе с прямой искательной головкой дефектоскоп позволяет выявлять в мелкозернистых материалах дефекты площадью около 1 мм². Максимальная глубина прозвучивания (по стали) — около 2500 мм, минимальная глубина прозвучивания («мертвая зона») — около 8 мм. Точность измерения расстояний — около 2 %.

Дефектоскоп позволяет измерять площадь дефектов, а также сигнализировать о моменте обнаружения дефектов заданных размеров. В дефектоскопе, кроме того, имеются системы замера малых толщин и задержанной развертки (электронная лупа).

Дефектоскоп работает на четырех фиксированных частотах (0,6; 1,8; 2,5 и 5,0 МГц) с использованием прямых и призматических излучателей УЗК раздельного, совмещенного и раздельно-совмещенного типа.

Питание дефектоскопа осуществляется от сети переменного тока (50 Гц) с напряжением 220/36 В. Масса прибора составляет около 14 кг.

Конструкция и блок-схема. Дефектоскоп выполнен в виде металлического чемодана с ручкой для транспортировки. Комплект искательных головок уложен в отдельном чемодане. Для повышения надежности работы в условиях повышенной температуры в корпус прибора установлен малогабаритный вентилятор.

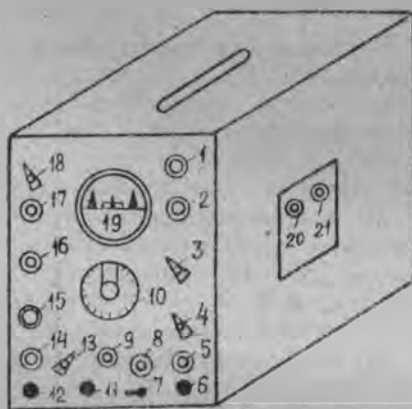


Рис. 3. Основные органы управления дефектоскопа УДМ-3

На переднюю панель дефектоскопа вынесены (рис. 3): ручка «Яркость» 1, которая служит для регулировки яркости изображения и включения прибора;

ручка «Фокус» 2 — фокусировки изображения;

ручка «Смещение по x» 17 — смещения изображения по горизонтали;

ручка «Лупа» 18 — включения системы задержанной развертки;

ручка «Вид измерений» 4 — переход на различные виды измерений;

ручка «Зона автоматического контроля» 16 — установки

диапазона действия системы автоматической сигнализации дефектов (АСД);

ручка «Диапазон прозвучивания» 3 — выбор максимальной глубины прозвучивания;

ручка «Расстояние, см» 10 — определения координат залегания и амплитуды сигналов дефектов;

ручка «Отсечка» 15 — уменьшения помех, видимых на экране дефектоскопа;

ручка «Мощность УЗК» 5 — установки мощности генерируемого импульса УЗК;

ручка «Чувствительность» 14 — установки заданной чувствительности прибора;

ручка «ВРЧ» 8 — корректировки чувствительности прибора по глубине прозвучивания;

ручка «Частота, МГц» 13 — установки рабочей частоты (УЗК);

переключатель «I — I + II» 7 — коммутации входа и выхода прибора при работе с отдельными и совмещенными искательными головками;

экран электронно-лучевой трубки 19;

гнездо «Индикатор» 11 — подключения индикаторной лампы сигнализации дефектов;

гнезда «I и II» (6; 12) — подключения искательных головок; индикаторная лампа «Сеть» 9.

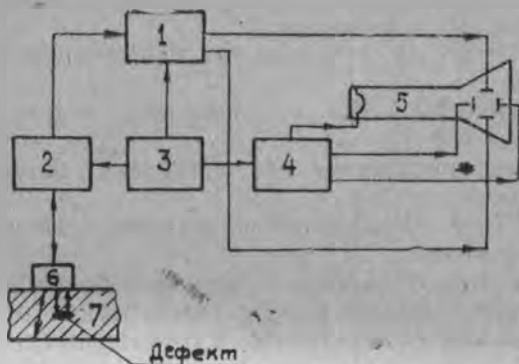
На задней панели размещены: ручки «Смещение луча по y », «Чувствительность индикатора», «Толщиномер», клеммы для подключения исполнительного устройства, гнезда для подключения кабеля питания, предохранитель, переключатель сетевого напряжения и клемма «Заземление».

На боковой панели (под крышкой) размещены ручки: «Развертка плавно» 20 — для плавного регулирования глубины прозвучивания, «Скорость УЗК» 21 и четыре переменных сопротивлений для корректировки показаний глубиномера при замере координат дефектов.

Блок-схема дефектоскопа (рис. 4) содержит синхронизатор 3, генератор радиоимпульсов 2, генератор горизонтальной развертки луча 4, усилитель радиоимпульсов 1, электронно-лучевую трубку 5 и излучатель УЗК 6. Наряду с указанными основными блоками схема содержит ряд вспомогательных устройств — сигнализатор дефектов, генератор задержанной развертки луча, измеритель амплитуды сигналов и т. д.

Синхронизатор 3 вырабатывает импульсы, запускающие генератор радиоимпульсов 2. Электрические импульсы высокой частоты (0,6—5 МГц) подаются на излучатель 6, где преобразуются в УЗК, которые передаются в изделие 7.

Импульсы УЗК посылаются в изделие через определенные промежутки времени (около 2,5 мс). После формирования очередного импульса УЗК излучатель обесточивается и подготавливается к приему отраженного сигнала.



Р и с. 4. Блок-схема ультразвукового эхо импульсного дефектоскопа

Одновременно с генератором радиопульсов запускается генератор горизонтальной развертки 4, который вырабатывает напряжение, обеспечивающее перемещение луча по экрану электронно-лучевой трубки 5. Отразившись от конца (дна) детали, ультразвуковой импульс возвращается на обесточенный излучатель. Возникает электрический импульс, который после усиления в усилителе 4 поступает на вертикальные отклоняющие пластины трубки 5. Таким образом, на экране трубки вычерчивается осциллограмма, по горизонтальной оси которой отложено время, пропорциональное пути, пройденному ультразвуковым импульсом, а по вертикальной — интенсивности (амплитуды) отраженного сигнала.

Работа с дефектоскопом. Подготовка к работе ведется в следующей полости:

1. Установить переключатель напряжения сети в положение, соответствующее имеющемуся источнику питания (220 В).

2. Подключить провод заземления.

3. Соединить шнур питания с источником сетевого напряжения.

4. Подключить кабель с искательной головкой (1,8—2,5 МГц) к гнездам 12.

5. Подключить шнур питания индикатора к гнездам 11.

6. Включить прибор, повернув ручку «Яркость» вправо до щелчка (при подаче напряжения загорается индикаторная лампа 9).

7. Дать прибору прогреться в течение 5—7 мин, и ручками «Яркость» и «Фокус» отрегулировать яркость и четкость изображения луча.

8. Ручкой «Смещение по x» установить начальный импульс у левого края экрана трубки.

9. Ручкой «Частота УЗК» установить заданную частоту УЗК (в соответствии с частотой искательной головки).

10. Переключатель 7 установить в положение «1».

11. Ручку «Диапазон прозвучивания» перевести в положение, соответствующее длине исследуемой детали (эталоны).

12. Ручку «Вид измерений» установить в положение «Развертка плавно».

13. Проверить положение остальных ручек:

ручка «Лупа» — в положении «Выключено»;

ручка «Чувствительность» — в среднем положении;

ручки «Зона автоматического контроля», «Отсечка», «ВРУ», «Мощность УЗК» — в крайнем левом положении (выведены);

переключатель «Толщиномер» (сзади) — в положении «выключено»;

ручка «Чувствительность индикатора» (сзади) — в крайнем левом положении (выведена).

Измерение расстояний (толщины) производится в следующей последовательности:

1. На поверхность ввода УЗК детали (эталоны) наносится слой контактной смазки (МС-20).

2. Искательная головка устанавливается на поверхность ввода УЗК и плотно к ней прижимается (притирается).

3. Ручкой 14 добиваются получения на экране трубки отраженного сигнала высотой 30—40 мм.

4. Ручкой 10 импульс глубиномера совмещается с «донным» сигналом.

5. По шкале на ручке 10 определяется расстояние до «дна» детали.

Если полученный результат измерений не соответствует фактической толщине детали (эталоны), то производится корректировка показаний глубиномера путем вращения ручки 20.

Использование системы автоматической сигнализации дефектов (АСД) осуществляется в следующей последовательности:

1. Получить на экране сигнал контрольного отражателя УЗК высотой 30—40 мм.

2. Ручкой 10 совместить импульс глубиномера с импульсом контрольного отражателя.

3. Вращая ручку «Чувствительность индикатора» (сзади), добиться срабатывания системы (загорания индикаторной лампы на щупе).

4. Произвести контроль детали.

При прохождении искательной головки над дефектом, площадь которого равна или больше площади контрольного отражателя эталона, система АСД должна срабатывать.

2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Составление рабочей методики исследования.
2. Оценка точности измерения расстояний и достоверности результатов контроля.

2.1. Общие рекомендации по составлению рабочей методики и проведению исследований

Выбор рабочей частоты УЗК, вида ультразвуковых волн, направления прозвучивания и способа ввода УЗК производится с учетом конкретных задач исследования, характера ожидаемых дефектов, условий проведения контроля и ряда других факторов, определяющих эффективность использования ультразвукового метода.

Выбор частоты УЗК. Чем выше частота УЗК, тем меньше длина ультразвуковой волны в исследуемом материале, а следовательно, и минимальный размер (x_{\min}) выявляемого дефекта. Рабочая частота $f_{\text{узк}}$ выбирается из условия $x_{\min} > \lambda/2$. Откуда: $f_{\text{узк}} \geq C/2x_{\min}$, где C — скорость звука в материале детали.

При повышении частоты УЗК повышается также и направленность излучений, что способствует повышению разрешающей способности контроля, т. е. способности видеть раздельно дефекты, расположенные на небольшом расстоянии друг от друга.

Однако с повышением частоты увеличивается затухание и ухудшаются условия ввода УЗК.

В поликристаллических материалах (сталь, чугун и др.) затухания УЗК обусловлены, главным образом, рассеянием энергии ультразвука на границах зерен. Величина затуханий при этом зависит от соотношения длины волны УЗК и размера зерна, поэтому выбор частоты УЗК (с учетом затухания) следует вести непосредственно на исследуемой детали.

Ввод УЗК обычно осуществляется контактным способом. При этом излучающая поверхность щупа непосредственно соприкасается с поверхностью исследуемой детали. Поскольку обе контактирующие поверхности имеют определенную шероховатость из-за наличия воздушного зазора, энергия от излучателя в изделие практически не передается.

С целью повышения эффективности ввода УЗК зазор между излучателем и изделием заполняется акустической смазкой. При этом на поверхности ввода УЗК возникает акустическая система, состоящая из излучателя, смазки (жидкости) и исследуемой детали, причем каждый из составляющих системы имеет свои акусти-

ческие свойства. В силу различия в высоте микронеровностей толщина прослойки жидкости имеет различные значения. По мере приближения толщины слоя жидкости к значению $\lambda/4$ происходит заметное ухудшение условий ввода УЗК. Поэтому для исследования деталей с грубо обработанной поверхностью не следует использовать высокочастотные УЗК. Выбор рабочей частоты УЗК с учетом шероховатости поверхности ввода ведется из условия

$$\lambda/4 > R_z. \text{ Откуда: } f_{\text{узк}} < C_{\text{ж}}/4 R_z.$$

где $C_{\text{ж}}$ — скорость УЗК в жидкости (контактной смазке);

R_z — высота микронеровностей на поверхности ввода УЗК.

В практике эксплуатационных проверок ЛА обычно приходится иметь дело с относительно крупными дефектами и мелкодисперсными структурами, поэтому основное внимание при выборе частоты УЗК должно обращаться на шероховатость поверхностей ввода.

Выбор вида и направления ввода УЗК. При исследовании крупногабаритных деталей относительно простой конфигурации с дефектами типа расслоений применяются продольные УЗК, которые возбуждаются прямой искательной головкой (см. рис. 1, а).

Для выявления дефектов, плоскость которых ориентирована под углом к поверхности ввода, часто применяются поперечные УЗК, которые возбуждаются с помощью призматических искательных головок (см. рис. 1, б).

В силу того, что скорость распространения поперечных УЗК почти в два раза меньше скорости распространения продольных, происходит некоторое повышение чувствительности контроля. Однако основной задачей, решаемой при применении поперечных волн, является обеспечение заданной направленности прозвучивания. Угол ввода УЗК в призму выбирается так, чтобы в изделии возбуждались только поперечные УЗК, идущие под заданным углом к поверхности ввода. Сдвиговые волны широко применяются при контроле сварных конструкций толстостенных труб и других изделий.

Поверхностные УЗК применяются для выявления дефектов, локализуемых в поверхностных слоях деталей (трещины, коррозия и т. д.). Отличительной особенностью поверхностных волн является то, что они распространяются вдоль поверхности изделия, огибая детали рельефа. Поверхностные волны возбуждаются призматической головкой с углом ввода, близким ко второму критическому (см. рис. 1, в).

В качестве примера рассмотрим порядок выбора вида УЗК и направления прозвучивания при контроле барабанов колес ЛА. На рис. 5 показан участок несъемной реборды, где возникают трещины усталости.

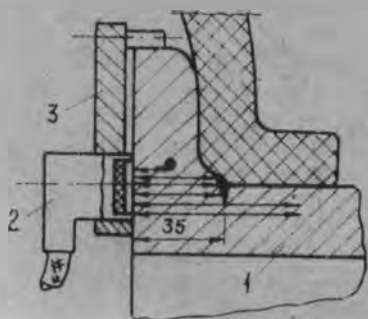


Рис. 5. Схема прозвучивания несъемной реборды барабана колеса

Внешний торец барабана 1 механически обработан и может быть использован для ввода УЗК с частотой до 2,5 МГц. Ориентация трещины по отношению к поверхности ввода УЗК позволяет использовать продольные ультразвуковые волны. Однако положение искательной головки 2 относительно торца реборды необходимо фиксировать в радиальном направлении с помощью водителя 3, так как возможны отражения УЗК от внутренней стенки реборды. Поиск дефектов (трещин) производится путем пере-

мещения искательной головки вдоль образующей барабана.

Выбор способа ввода УЗК. В настоящее время используются несколько способов ввода: контактный, струйный, иммерсионный и др.

При контактном способе искательная головка прижимается непосредственно к поверхности исследуемого изделия. Для уменьшения потерь энергии в зоне контакта на поверхность наносится тонкий слой контактной смазки.

Жидкости, применяемые в качестве контактной смазки, должны хорошо смачивать материал изделия и искательной головки, не содержать твердых частиц, не вызывать коррозию изделия и головки.

В качестве контактной смазки обычно используются различные сорта минеральных масел (МС-20, МК-8 и т. д.). Высоковязкие масла (МС-20) применяются при исследовании вертикальных и шероховатых поверхностей, а маловязкие (МК-8) в условиях низких температур, а также при использовании УЗК высоких частот (выше 2,5 МГц).

При струйном способе акустическая связь поверхности ввода с искательной головкой осуществляется через небольшой (около 1 мм) зазор, в который под давлением нагнетается контактная смазка. Данный способ ввода УЗК применяется при контроле деталей, имеющих шероховатую поверхность. Величина зазора поддерживается постоянной путем установки на искательную головку специальных упоров.

При иммерсионном способе ввода УЗК акустическая связь осуществляется через значительный по толщине слой жидкости. Для этого искательную головку и изделие погружают в ванну с контактной смазкой. Данный способ позволяет исследовать

изделия сложной конфигурации с шероховатой (необработанной) поверхностью. Кроме того, появляется возможность автоматизации процесса поиска дефектов.

Проверка качества акустического контакта во всех случаях осуществляется по амплитуде импульса, отраженного от «донной» поверхности (конца) изделия.

Выбор типа дефектоскопической аппаратуры. Дефектоскоп должен обладать достаточной чувствительностью, дальностью действия, требуемым набором рабочих частот УЗК и искательных головок. При необходимости измерения глубины залегания дефектов он должен быть оснащен глубиномерным устройством, а при поиске мелких дефектов — системой автоматической сигнализации дефектов (АСД).

Если исследования проводятся в полевых условиях, то на первый план выдвигаются требования портативности, универсальности питания и надежности.

В настоящее время промышленностью выпускается несколько типов эхо-импульсных дефектоскопов, которые могут быть использованы при техническом диагностировании конструкций ЛА (ДУК-66 П; УДМ-3, УД-111У и другие). Все дефектоскопы оснащаются комплектами искательных головок различного типа и назначения.

Выбор способа эталонирования. В условиях эксплуатации особое значение имеет достоверность результатов контроля, т. е. правдивость определения технического состояния деталей.

При проведении исследований возможна «ложная» выбраковка доброкачественных деталей и пропуск в эксплуатацию деталей с дефектами. Вероятность возникновения таких ошибок зависит от совокупного влияния многих факторов: чувствительности аппаратуры, совершенства методики исследования, квалификации оператора и т. д.

Особую опасность представляет пропуск в эксплуатацию деталей с недопустимыми дефектами, которые могут привести к разрушению конструкции в очередном цикле эксплуатации. С целью повышения достоверности контроля проводится комплекс мероприятий, в том числе эталонирование.

В качестве эталонов достоверности используются отработавшие ресурс или отбракованные по дефектам детали. В местах появления «типовых» дефектов на них наносятся контрольные отражатели УЗК, имитирующие дефекты заданных размеров.

Число отражателей выбирается произвольно, однако с увеличением числа отражателей (обычно более 10 шт.) точность оценки повышается.

Для каждого изделия устанавливается нижний предел досто-

верности результатов контроля, отвечающий заданному уровню безотказности изделия.

Наиболее высокой достоверностью отличается контроль, проведенный с использованием аппаратуры, имеющей оптимальный уровень чувствительности. Для его реализации приборы настраиваются по эталонам чувствительности (рис. 6).



Рис. 6. Эталон чувствительности

Эталоны чувствительности содержат контрольный отражатель 1, имеющий определенную отражательную способность. Перед проведением исследования искательная головка устанавливается на поверхность ввода 2, а затем по амплитуде сигнала, полу-

ченного от контрольного отражателя, задается чувствительностью дефектоскопа.

Составление рабочей методики исследования. В рабочей методике исследования указывается наименование изделия, характеристики материала, перечень и особенности выполнения отдельных операций контроля, частота и вид УЗК, схема прозвучивания нормы на отбраковку и способы эталонирования.

Исследования деталей проводятся на основе рабочей методики и общих рекомендаций по применению ультразвукового эхо-импульсного метода дефектоскопии.

2.2. Оценка точности определения расстояний и достоверности результатов контроля

Оценка точности измерения расстояний (толщины) производится на ступенчатом эталоне, изготовленном из алюминиевого сплава. Работа ведется в следующей последовательности:

1. Подготовить дефектоскоп к работе в режиме «Измерение расстояний».

2. Произвести измерение толщины эталона с помощью мерительного инструмента.

3. Произвести измерение толщины эталона с помощью дефектоскопа.

4. Произвести расчет относительной погрешности измерений δ по формуле

$$\delta = \frac{\bar{h} - h}{h} 100 \%,$$

где \bar{h} — среднее измеренное значение толщины эталона, мм;

h — фактическая толщина эталона, мм.

Оценка достоверности результатов контроля производится на эталонах, изготовленных из барабанов колес (КТ-16/3). Работа ведется в следующей последовательности:

1. Подготовить дефектоскоп к работе на режиме «Измерение расстояний» с использованием системы АСД (с учетом выбора частоты, вида, направления и способа ввода УЗК).

2. Используя эталон чувствительности (см. рис. 6), задать оптимальную чувствительность дефектоскопу (высота импульса от контрольного отражателя эталона 30—40 мм).

3. Установить искательную головку на поверхность ввода УЗК барабана в соответствии со схемой прозвучивания (см. рис. 5).

4. Перемещая искательную головку вдоль образующей барабана, выявить нанесенные на тело барабана контрольные отражатели (отражатели должны быть скрыты от оператора).

5. Повторить контроль 2—3 раза, фиксируя место и число выявленных контрольных отражателей.

6. Произвести расчет вероятности выявления «дефектов» γ по формуле

$$\gamma = n/N,$$

где n — число отражателей, выявленных на эталонах из общего числа отражателей N .

Содержание отчета

1. Краткие сведения о назначении и физической сущности ультразвукового эхо-импульсного метода.
2. Основные технические данные дефектоскопа УМД-3.
3. Рабочая методика исследований.
4. Результаты оценки точности и достоверности результатов контроля.

Вопросы для самопроверки

1. Какова физическая сущность ультразвукового эхо-импульсного метода дефектоскопии?
2. Какие факторы влияют на чувствительность и достоверность результатов ультразвукового контроля?
3. Как работает ультразвуковой эхо-импульсный дефектоскоп?
4. Как производится выбор режимов контроля?

МАГНИТОПОРОШКОВЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЛА

Цель работы: ознакомление с назначением и физической сущностью магнитопорошкового метода; изучение конструкции и принципа работы магнитопорошкового дефектоскопа ПМД-70; приобретение практических навыков в проведении исследований конструкций средствами магнитопорошковой дефектоскопии.

I ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1.1. Назначение и физическая сущность метода

Назначение. Магнитопорошковый метод дефектоскопии предназначен для выявления поверхностных дефектов (несплошностей) деталей, изготовленных из ферромагнитных материалов (сталей).

Данный метод позволяет обнаруживать дефекты, имеющие раскрытие более 0,001 мм, глубину более 0,01 мм и длину более 0,5 мм без удаления лакокрасочных и металлических (немагнитных) покрытий толщиной до 0,05 мм.

Метод прост в освоении и обладает высокой производительностью. Магнитопорошковая аппаратура хорошо приспособлена для работы в полевых условиях.

Основное применение метода в условиях эксплуатации и ремонта авиационной техники — выявление усталостных трещин на начальных стадиях развития. В условиях эксплуатации и ремонта через магнитопорошковый контроль проходят практически все ответственные детали и узлы планера, шасси и других систем ЛА.

Недостатком метода является сложность обеспечения качественного размагничивания конструкций после исследования, что отрицательно сказывается на работе трущихся деталей и магнитных компасов.

Физическая сущность. Выявление дефектов (несплошностей) с использованием магнитопорошкового метода основано на создании искусственного оптического контраста дефектов на фоне бездефектной поверхности детали. Это достигается путем обработки поверхности предварительно намагниченной детали контрастно ок-

рашенным магнитным порошком. Частицы порошка, оседая над участками с пониженной магнитной проницаемостью (дефектами), образуют контрастно окрашенные магнитные валки, повторяющие конфигурацию и увеличивающие видимые размеры дефектов. По конфигурации и контрастности валика можно судить о характере выявленного дефекта (трещина, включение и т. д.), его размерах (длина, раскрытие, глубина) и ориентации.

Чувствительность метода во многом зависит от степени намагниченности деталей в момент обработки магнитным порошком.

Намагничивание деталей производится в магнитном поле заданной напряженности. Магнитная индукция B (рис. 1), действующая в материале детали при намагничивании, зависит от магнитной проницаемости материала μ_a и напряженности намагничивающего поля H :

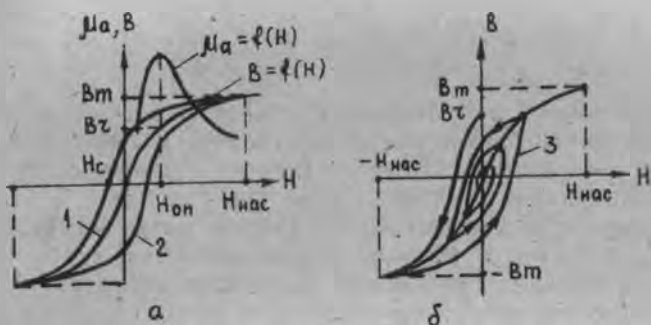


Рис. 1. Кривые намагничивания и перемгничивания магнитожегстой стали: а — при постоянной амплитуде внешнего поля; б — при убывающей амплитуде внешнего поля

После снятия намагничивающего поля индукция уменьшается до некоторого остаточного уровня, определяемого величиной намагничивающего поля, свойствами материала и конфигурацией детали. Чем выше напряженность намагничивающего поля H , магнитная жесткость материала H_c и удлинение детали (отношение длины к диаметру), тем выше остаточная индукция, вплоть до максимальной остаточной индукции материала B_r .

Каждому материалу соответствуют вполне определенные параметры кривой намагничивания 1 и перемгничивания 2.

Материалы (таблица), которые после снятия внешнего поля $H_{нас}$ оказываются слабо намагненными ($H_c < 10$ А/см, $B_r < 1$ Т) считаются магнитомягкими, а с большой остаточной намагненностью ($H_a > 10$ А/см, $B_r > 1$ Т) — магнитожесткими. К группе магнитожестких материалов относится большинство закаленных углеродистых конструкционных сталей (ст. 45, 65Г, 30ХГСА, 30ХГСНА, 38ХМЮА и т. д.). В отожженном или нормали-

Марка стали	Термообработка	H_c	B_r	$H_{нас}$
		А/см	Т	А/см
20 А	В состоянии поставки	3,2	1,17	56
45	Закаленная	21,6	1,18	152
ШХ15	То же	36	0,79	176
38ХА	—>—	12	1,45	52
30ХГСА	—>—	12	1,33	64
40ХНМА	—>—	12	1,15	136
30ХГСНА	—>—	19,2	1,16	112
КХ12Н2ВМФ	—>—	23,2	0,67	96
65 Г	—>—	16	1,04	72

зованном состоянии они относятся к магнитомягким материалам.

Намагниченная деталь имеет собственное магнитное поле, конфигурация и параметры которого зависят от формы детали, способа намагничивания и наличия дефектов (рис. 2).

Возникающие над дефектами искажения магнитного поля (поля рассеяния) отличаются высокой неоднородностью (напряженность поля быстро убывает при удалении от краев дефекта). Здесь создаются благоприятные условия для затягивания и осаждения частиц магнитного порошка. Интенсивность полей рассеяния зависит от глубины и раскрытия дефекта, ориентации плоскости дефекта относительно направления намагничивания, магнитных свойств материала детали и ряда других факторов. Наиболее высокой интенсивностью обладают поля рассеяния, возникающие над глубокими поверхностными дефектами малого раскрытия, плоскость

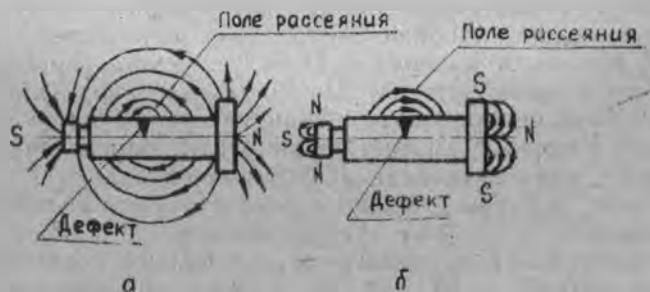


Рис. 2. Магнитное поле детали при полюсном намагничивании постоянным (а) и импульсным (б) полем

которых ориентирована перпендикулярно к направлению намагничивания. Интенсивность полей рассеяния зависит также и от уровня намагниченности материала детали.

Необходимый для выявления дефектов заданных размеров уровень намагниченности достигается выбором соответствующих режимов намагничивания. При контроле по способу приложенного поля (СПП) когда обработка порошком производится одновременно с намагничиванием детали, напряженность намагничивающего поля выбирается, исходя из ожидаемых размеров дефектов ($H_{оп}$). При контроле по способу остаточной намагниченности (СОН), когда обработка порошком производится после снятия внешнего поля, напряженность намагничивающего поля выбирается равной или несколько большей $H_{нас}$ (см. рис. 1).

Процесс осаждения магнитного порошка над дефектом идет по следующей схеме.

Вначале происходит слипание (коагуляция) частиц порошка под воздействием магнитных полей детали и дефекта в вытянутые цепочки (иглочки), которые затем начинают перемещаться в зону максимальной неоднородности поля (края дефекта) с образованием магнитного валика.

Длина и скорость движения цепочек, а следовательно и величина образующегося над дефектом валика (чувствительность контроля), зависят от магнитных и геометрических свойств частиц порошка и их подвижности в дисперсионной среде (воздух, органические жидкости, вода).

Наиболее высокой чувствительностью обладают цепочки, имеющие длину около 0,2 мм, взвешенные в маловязкой среде (воздух) и образованные из частиц порошка диаметром около 0,01 мм, обладающего высокой магнитной восприимчивостью (более 7 гр.).

Размагничивание деталей после исследования производится с целью снятия остаточной намагниченности материала. Практически используются несколько способов размагничивания (нагрев, удары, помещение в убывающее переменное магнитное поле и т. д.), однако только способ нагрева деталей до температуры, близкой к точке Кюри, позволяет добиться их полного размагничивания. При других способах размагничивания обычно сохраняется некоторый остаточный уровень намагниченности.

При размагничивании конструкций ЛА широко используется способ размагничивания в убывающем переменном магнитном поле.

Физической основой данного способа является сокращение петли перемагничивания (см. рис. 1, б) при снижении напряженности размагничивающего поля. Процесс размагничивания при этом заключается в помещении деталей в переменное магнитное поле, начальная напряженность которого несколько больше $H_{оп}$, и по-

степенном снижении напряженности поля до нуля. Чем медленнее происходит снижение напряженности размагничивающего поля и ниже частота его коммутаций, тем выше качество размагничивания. В силу конечных значений обоих параметров (скорости снижения напряженности поля и частоты коммутаций) добиться полного размагничивания деталей данным способом практически не удается. Особую сложность представляет размагничивание деталей малого удлинения, изготовленных из магнито жестких материалов.

1.2. Магнитопорошковый дефектоскоп ПМД-70

Назначение и основные технические данные

Переносной магнитный дефектоскоп ПМД-70 предназначен для проведения полного комплекса операций магнитопорошкового контроля. Он позволяет проводить исследования ферромагнитных конструкций как в цеховых, так и в полевых условиях. Для намагничивания и размагничивания деталей применяются электромагнит, катушка, гибкий кабель и ручные контакты (карандаши). Питание намагничивающих устройств осуществляется от источников импульсного, постоянного или переменного тока.

Питание дефектоскопа осуществляется от источника постоянного тока с напряжением 24В или от сети переменного тока напряжением 220 В.

• Максимальная потребляемая мощность — не более 250 Вт. Величина импульса тока при намагничивании (размагничивании) гибким кабелем — около 1000 А.

Напряженность магнитного поля в центре зазора электромагнита (100 мм), а также в центре катушки плавно регулируется в пределах от 0 до 200 А/см. При питании катушки от сети переменного тока (220 В) напряженность поля (без детали) достигает 400 А/см. Масса дефектоскопа — около 70 кг.

Блок-схема и конструкция. Дефектоскоп состоит из ряда функционально связанных блоков (рис. 3): блока питания (БП), импульсного блока (БИ), блока управления (БУ) и комплекта намагничивающих устройств (НУ).

Блок питания служит для преобразования напряжения питания и подачи его к потребителям.

Импульсный блок в режиме намагничивания формирует мощные одиночные импульсы тока, а в режиме размагничивания — серию разнополярных убывающих по амплитуде импульсов, про-

пускаемых по кабелю или по телу детали с помощью ручных контактов (карандашей). Цикл импульсного размагничивания составляет 40—50 с.

Блок управления позволяет регулировать величину тока в обмотках электромагнита или катушки и изменять его направление. В режиме размагничивания он обеспечивает снижение тока с автоматической коммутацией его направления. Блок управления (масса около 5 кг) может извлекаться из корпуса дефектоскопа и использоваться автономно. В этом случае он работает от сети постоянного тока с напряжением 24 В.



Рис. 3. Блок-схема дефектоскопа ПМД-70

Электромагнит шарнирного типа обеспечивает намагничивание и размагничивание отдельных участков деталей сложной конфигурации. Электромагнит оснащается универсальными полюсными наконечниками с «утапающими» стержнями, что позволяет создавать хороший магнитный контакт с поверхностями сложной конфигурации. Число витков обмотки электромагнита — 2000 (2×1000).

Катушка — двухобмоточный соленоид, позволяет производить намагничивание и размагничивание деталей диаметром до 100 мм. Катушка может быть подключена к блоку управления, а также непосредственно к сети переменного (220 В) или постоянного (24 В) тока. Число витков обмотки катушки — 2000 (2×1000).

Блоки дефектоскопа и принадлежности размещаются в двух складочных чемоданах.

На переднюю панель дефектоскопа (рис. 4) вынесены основные органы управления, контроля и сигнализации, а также гнезда для подключения кабелей питания и намагничивающих устройств.

Работа с дефектоскопом. Импульсное намагничивание гибким кабелем (СОН) производится в следующей последовательности (см. рис. 4):

1. Соединить кабелем блок питания (БП) с импульсным блоком (БИ).
2. Подвести питание (220 В) к БП (разъем 2).
3. Намотать гибкий кабель на деталь.
4. Подключить гибкий кабель к цанговым зажимам 13.
5. Выключателем «Питание» 3 подать питание на БП.
6. Проверить наличие питания по загоранию лампы 4.

7. Выключателем 17 подать питание на БИ.
8. Переключатель 16 поставить в положение «Намагничивание».
9. Проверить готовность БИ по сигнальной лампе 15 (не горит).
10. Нажать кнопку «Пуск» 14 и произвести намагничивание детали.
11. Отключить питание БИ выключателем 17.
12. Снять гибкий кабель с детали.
13. Отключить питание БП выключателем 3.
14. Произвести обработку детали суспензией и осмотреть.

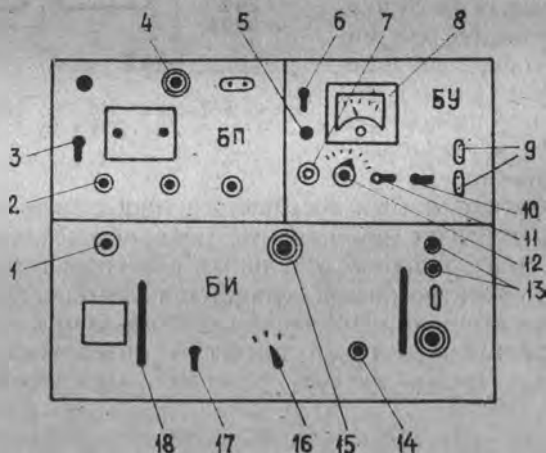


Рис. 4. Передняя панель дефектоскопа ПМД-70

Импульсное размагничивание гибким кабелем производится в следующей последовательности:

1. Выполнить пп. 1—7 режима «Импульсное намагничивание».
2. Переключатель 16 перевести в положение «Размагничивание».
3. Выполнить пп. 9—13 режима «Импульсное намагничивание».
4. Проверить качество размагничивания детали.

Импульсное намагничивание и размагничивание ручными контактами (СОН)_н выполняется в последовательности, соответствующей режимам «Импульсное намагничивание» и «Импульсное размагничивание». Однако вместо кабеля к цапговым зажимам (БИ) подключаются ручные контакты («Карандаши»).

Намагничивание в цепи электромагнита (СПИ) производится в следующей последовательности:

1. Соединить кабелем БП и БУ (разъем 7).

2. Подключить БП к сети переменного тока с напряжением 220 В (напряжение 24 В подводится непосредственно в БУ).

3. Подключить к розетке БУ вилку электромагнита.

4. Выключатель 3 перевести в положение «Включено».

5. Переключатель на колодке электромагнита поставить в положение «Включено».

6. Переключатель 10 на БУ поставить в положение «Намагничивание».

7. Установить электромагнит на деталь в соответствии со схемой намагничивания.

8. Переключатель вольтметра 11 поставить в положение «Напряжение».

9. Проверить напряжение питания по вольтметру 8.

10. Перевести переключатель 11 в положение «Ток».

11. Установить расчетный ток регулятором 12.

12. Нанести на деталь магнитную суспензию и осмотреть.

13. Переключатель электромагнита перевести в положение «Выключено».

14. Выключатель питания 6 поставить в положение «Выключено».

15. Отключить питание выключателем 3.

Размагничивание в цепи электромагнита производится в следующей последовательности:

1. Выполнить пп. 1—5 режима «Намагничивание в цепи электромагнита».

2. Переключатель 10 поставить в положение «Размагничивание».

3. Регулятор «Ток» 12 установить на максимальный ток, а затем плавно за 14—15 с перевести на минимум.

4. Перевести переключатель электромагнита в положение «Выключено».

5. Выключатель 6 поставить в положение «Выключено».

6. Выключателем 3 отключить питание.

7. Произвести проверку качества размагничивания детали.

Намагничивание (размагничивание) в поле катушки от БУ (СПП) производится в последовательности, аналогичной режиму «Намагничивание (размагничивание) в цепи электромагнита». Отличительной особенностью данного режима является то, что переключатель на катушке переводится в положение «Включено» только на время намагничивания (размагничивания).

Намагничивание в поле катушки с питанием от сети 220 В (СОН) производится в следующей последовательности:

1. Вставить вилку катушки в розетку сети 220 В.

2. Поместить деталь в катушку.

3. Переключатель катушки поставить в положение «Переменный ток».

4. Нажать рычаг выключателя на панели катушки на 1—2 с.

5. Вынуть деталь из катушки.

6. Вынуть вилку катушки из розетки.

7. Произвести обработку детали суспензией и осмотреть.

Размагничивание в поле катушки с питанием от сети 220 В производится в последовательности, соответствующей режиму «Намагничивание в поле катушки с питанием от сети 220 В». Отличительной особенностью данного режима является то, что рычаг выключателя катушки удерживается в нажатом положении до тех пор, пока деталь не будет отнесена от катушки на расстояние 1—1,5 м.

Магнитные порошки и суспензии. При исследовании деталей со светлой поверхностью используется порошок черного цвета (ТУ 6-14-1009-74). Размер основной массы частиц порошка не превышает 0,03 мм, а средний диаметр частиц составляет около 0,01 мм. Порошок изготавливается из окиси — закиси железа.

При исследовании конструкций ЛА наиболее часто применяются суспензии, составленные на основе керосина (ГОСТ 10121-76), трансформаторного масла (МК-8) или на основе их смеси. Количество порошка в суспензии и ее вязкость выбираются с учетом способа нанесения суспензии и требуемой чувствительности контроля. Так, при исследовании деталей без демонтажа из конструкций (полив из бачка) на 1 л основы суспензии (смесь трансформаторного масла и керосина в соотношении 1:1) обычно берут 20—30 г магнитного порошка.

В ходе исследования при необходимости концентрацию порошка в суспензии можно изменять в широких пределах путем отстаивания. Стекающая с детали суспензия собирается в специальные ванночки и может использоваться повторно. Необходимо помнить, что частицы магнитного порошка быстро оседают на дно сосуда, поэтому каждый раз перед нанесением суспензии ее необходимо тщательно перемешивать.

2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Составление рабочей методики исследования.

2. Проведение исследований деталей.

2.1. Общие рекомендации по составлению рабочей методики и проведению исследований деталей

Процесс исследования конструкций с использованием магнитно-порошкового метода состоит из ряда операций (рис. 5).

При контроле по способу остаточной намагниченности все опе-

рации выполняются последовательно друг за другом, а при контроле по способу приложенного поля (СПП) операция намагничивания, нанесение порошка и осмотр выполняются одновременно.



Рис. 5 Последовательность операций контроля деталей по СОН (а) и СПП (б)

Подготовка деталей к исследованию заключается в обеспечении условий для намагничивания деталей и нанесения магнитного порошка.

В зависимости от способа намагничивания производится соответствующая подготовка контактирующих поверхностей (обеспечение магнитного или электрического контакта).

Для исключения возможности затекания суспензии во внутренние полости конструкции все отверстия, находящиеся в зоне обработки суспензией, заглушаются специальными пробками или густой смазкой. Толстые (более 0,05 мм) слои лакокрасочных покрытий удаляются.

С целью повышения оптического контраста магнитного валика (при исследовании темных поверхностей с использованием черного магнитного порошка) на исследуемую поверхность детали наносится тонкий (0,005—0,01 мм) слой белой нитрокраски.

Направление и напряженность намагничивающего поля выбираются с учетом ориентации и размеров ожидаемых дефектов, а также с учетом магнитных характеристик материала детали. Во всех случаях стремятся к тому, чтобы направление силовых линий намагничивающего поля было перпендикулярным к плоскости ожидаемых дефектов, а напряженность намагничивающего поля достаточной для выявления дефектов заданных размеров.

Продольное (полюсное) намагничивание (рис. 6) используется для выявления дефектов, ориентированных поперек продольной оси детали. Продольное поле получают помещая деталь в поле катушки (соленоида) или в цепь электромагнита. Дан-

ный способ намагничивания получил широкое распространение в эксплуатации для выявления усталостных трещин на деталях в узлах конструкций ЛА.

Циркулярное намагничивание используется для



Рис. 6. Основные способы намагничивания деталей

выявления продольно- и радиально-ориентированных дефектов. Циркулярное поле получают путем пропускания электрического тока по телу детали или через специальный токопровод. Способ циркулярного намагничивания широко применяется в условиях производства и ремонта ЛА для выявления термических и шлифовочных трещин, волосовин, флокенов и других производственных дефектов.

Параллельное намагничивание обычно используется для выявления дефектов сварных соединений. Намагничивание в этом случае осуществляется путем пропускания электрического тока по специальному кабелю, проложенному вдоль сварочного шва.

Намагничивание способом магнитного контакта осуществляется путем перемещения полюса постоянного магнита по поверхности исследуемой детали с одновременной обработкой поверхности магнитным порошком. Свободный полюс магнита при этом отводится от детали на максимальное расстояние. Данный способ используется при исследовании малоответственных деталей простой конфигурации (листы, панели и т. д.).

Источниками магнитного поля служат переменный, импульсный и постоянный токи, а также постоянные магниты, изготовленные из магнитомягких материалов. Выбор источника поля зависит от задачи исследования, способа намагничивания, типа

намагничивающего устройства и т. д. Чем короче время прохождения тока через намагничивающее устройство, тем меньше глубина намагниченного слоя (поверхностный эффект). При этом магнитный поток концентрируется в поверхностном слое материала (см. рис. 2 б), что способствует повышению чувствительности метода и облегчает процесс последующего размагничивания.

В качестве источника импульсного тока используются специальные устройства, которые способны вырабатывать короткие (1—5 мс), но мощные (до 20000 А) импульсы электрического тока. Источники импульсного тока потребляют мало энергии и поэтому широко используются в переносных и передвижных магнитопорошковых дефектоскопах (ПМД-70, МД-50 и др.).

В качестве источников постоянного тока используются аккумуляторные батареи или выпрямители.

Величина намагничивающего тока рассчитывается с учетом требуемой чувствительности метода. В соответствии с ГОСТ 21105-87 для магнитопорошкового метода установлено три условных уровня чувствительности (А, Б и В). Каждому уровню чувствительности соответствует определенная напряженность намагничивающего поля, а следовательно, и величина намагничивающего тока.

При контроле по способу остаточной намагниченности (СОН) напряженность поля в момент намагничивания должна быть достаточной для приведения материала детали в состояние магнитного насыщения (см. таблицу).

При контроле по способу приложенного поля (СПП) напряженность намагничивающего поля в момент нанесения суспензии определяется с учетом требуемой чувствительности метода.

Для уровня чувствительности А (раскрытие ожидаемых дефектов более 0,0025 мм) она должна быть в пределах:

$$32 + 1,3 H_c \leq H_A \leq 52 + 1,3 H_c;$$

для уровня чувствительности Б (раскрытие дефектов более 0,01 мм) — в пределах:

$$13 + 1,1 H_c \leq H_B \leq 26 + 1,1 H_c;$$

для уровня чувствительности В (раскрытие дефектов более 0,025 мм) — в пределах:

$$7 + 1,1 H_c \leq H_V \leq 13 + 1,1 H_c.$$

Величина намагничивающего тока рассчитывается с использованием известной зависимости

$$Iw = Hl_m.$$

Откуда

$$I = Hl_m/w.$$

где I — величина намагничивающего тока, А;
 H — требуемая напряженность поля, А/см;
 l_m — длина магнитной силовой линии поля, см;
 w — число витков обмотки.

При циркулярном намагничивании ($l_m = \pi D$) ток рассчитывается по формуле

$$I = \pi HD/w,$$

где D — диаметр детали в контролируемом сечении, см.

При намагничивании в поле катушки (соленоида) — по формуле

$$I = Hl_c/w,$$

где l_c — длина диагонали соленоида, см;

w — число витков обмотки соленоида.

При намагничивании в цепи электромагнита магнито жестких материалов — по формуле

$$I = Hl_m/w,$$

где l_m — длина детали (исследуемого участка), см;

w — число витков обмотки электромагнита.

Нанесение магнитного порошка (суспензии) производится непосредственно после намагничивания (СОН) или в процессе намагничивания (СПП). Порошок наносится на деталь в сухом виде (путем посыпания или припудривания), а также в виде суспензий. Способ нанесения порошка выбирается с учетом требуемой чувствительности, условий контроля и возможностей аппаратуры.

В практике эксплуатационных предприятий широкое распространение получил способ полива деталей суспензией из бачка.

На ремонтных заводах наиболее распространен способ погружения деталей в ванну с суспензией.

Оценка технического состояния (осмотр) производится после стекания излишков суспензии. При осмотре выделяются места отложения порошка, которые могут возникать как над дефектами, так и в местах, где имеются конструктивные неоднородности магнитного поля (острые кромки, впадины резьбы и т. д.). Осмотр производится при обычном или ультрафиолетовом освещении (люминесцирующие порошки) с использованием простейших оптических приборов (лупа, зеркало).

Уровень чувствительности контроля оценивается с помощью специальных эталонов (деталей с мелкими дефектами), которые намагничиваются одновременно с исследуемыми деталями.

Во всех сомнительных случаях производится повторный контроль предварительно размагниченных деталей.

Размагничиванию подлежат только доброкачественные детали, вне зависимости от способа и режима намагничивания.

Размагничивание обычно проводится с использованием тех же устройств, которыми производилось намагничивание. В некоторых случаях (партия мелких деталей) размагничивание производится в специальных соленоидах (катушках). Начальная величина размагничивающего тока выбирается равной или несколько большей тока намагничивания. Скорость снижения и частота коммутаций размагничивающего тока подбираются индивидуально для каждой детали по величине остаточной намагниченности.

Качество размагничивания деталей контролируется с помощью специальных приборов (ПКР-1, ФП-1 и др.) или простейших магнитных щупов (цепочка канцелярских скрепок, мелкие частицы железа и т. д.). Допустимый уровень остаточной намагниченности деталей оговаривается в специальных документах.

В рабочей методике исследования указываются: наименование детали и узла, характеристики материала детали, перечень и особенности выполнения отдельных операций контроля, режимы намагничивания и размагничивания, тип дефектоскопической аппаратуры, нормы на отбраковку деталей по результатам контроля.

Исследование деталей проводится на основе рабочей методики и общих рекомендаций по применению магнитопорошкового метода дефектоскопии.

Содержание отчета

1. Краткие сведения о магнитопорошковом методе.
2. Основные технические данные дефектоскопа ПМД-70.
3. Рабочая методика проведения исследования деталей.
4. Результаты исследования деталей в форме заключений об их техническом состоянии и эскизов выявленных дефектов.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы технические возможности магнитопорошкового метода?
2. Какие физические явления положены в основу магнитопорошкового метода?
3. Как достигается наивысшая чувствительность метода?
4. Чем различаются способы контроля деталей по СОН и СПП?

Библиографический список

- Дефектоскопия деталей при эксплуатации авиационной техники / Под ред. П. И. Беды. М.: Воениздат, 1978.
- Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник под ред. Г. С. Самойлова. М.: Машиностроение, 1976.

**ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЛА**

Составитель **Макаровский Игорь Мстиславович**

Редактор Л. Я. Чегодаева
Техн. редактор Г. А. Усачева
Корректор Т. И. Щелокова

Сдано в набор 4.11.1992 г. Подписано в печать 18.05.1993 г.
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.
Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. печ. л. 1,4. Усл. кр.-огт. 1,5. Уч.-изд. л. 1,4. Тираж 350 экз.
Заказ 516. Бесплатно.

Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С. П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.
Тип. ИПО Самарского государственного
аэрокосмического университета.