

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра ремонта тракторов, автомобилей  
и сельскохозяйственных машин

## ДЕФЕКТОСКОПИЯ ДЕТАЛЕЙ

*Методические указания к лабораторной работе*

Минск  
БГАТУ  
2010

УДК 620.179.1(07)  
ББК 40.74я7  
Д 39

*Рекомендовано научно-методическим советом факультета  
«Технический сервис в АПК» БГАТУ*

Составители:

кандидат экономических наук, доцент *П.А. Дроздов*;  
кандидат технических наук *В.А. Протасевич*

Рецензенты:

декан ПСФ УО "БНТУ", доктор физико-математических наук  
*А.М. Маляревич*  
заведующий кафедрой технологии металлов УО "БГАТУ",  
доктор технических наук, профессор *В.М. Капцевич*

Методические указания к лабораторной работе на тему "Дефектоскопия деталей" содержат описание особенностей основных методов обнаружения нарушений сплошности или однородности макроструктуры, отклонений химического состава: ультразвуковая, рентгено- и гамма-дефектоскопия, ИК, люминесцентная, капиллярная, магнитная, термо- и трибоэлектрическая дефектоскопия.

Составлены для студентов специальности 1-74 06 03 "Ремонтно-обслуживающее производство в сельском хозяйстве", 1-74 06 06 "Материально-техническое обеспечение агропромышленного комплекса", 1-74 06 07 "Управление охраной труда в сельском хозяйстве", 1-74 06 01 "Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства", 1-36 12 01 "Проектирование и производство сельскохозяйственной техники" и 1-54 01 01-06 "Метрология, стандартизация и сертификация (АПК)".

УДК 620.179.1(07)  
ББК 40.74я7

© БГАТУ, 2010

## Содержание

Введение . . . . .	4
1 Цель лабораторной работы . . . . .	5
2 Задание на выполнение работы . . . . .	5
3 Оснащение рабочего места . . . . .	5
4 Техника безопасности . . . . .	6
5 Общие сведения . . . . .	6
6 Факторы, определяющие выбор метода контроля . . . . .	10
7 Ультразвуковая дефектоскопия . . . . .	15
8 Магнитная дефектоскопия . . . . .	17
9 Электромагнитная (вихретоковая) дефектоскопия . . . . .	19
10 Капиллярные методы дефектоскопии . . . . .	20
11 Практическая работа . . . . .	23
12 Оформление отчета . . . . .	25
Контрольные вопросы . . . . .	25
Литература . . . . .	25

## ВВЕДЕНИЕ

При проведении мониторинга технического состояния сложных систем и агрегатов одной из наиболее актуальных является задача объективного своевременного обнаружения дефектов различной природы и организация контроля за развитием дефектов из-за старения элементов при эксплуатации.

Все дефекты, как известно, вызывают изменение физических характеристик металлов и сплавов – плотности, электропроводности, магнитной проницаемости, упругих свойств и т. д. Исследование изменений характеристик металлов и обнаружение дефектов, являющихся причиной этих изменений, составляет физическую основу методов неразрушающего контроля – дефектоскопии.

Дефектоскопия используется для обнаружения нарушений сплошности или однородности макроструктуры, отклонений химического состава и других целей. Наиболее распространены ультразвуковая, рентгено- и гамма-дефектоскопия, ИК, люминесцентная, капиллярная, магнитная, термо- и трибоэлектрическая дефектоскопия.

Применение каждого из методов в каждом конкретном случае характеризуется его чувствительностью, а также условия проведения процедуры контроля. В свою очередь выявления дефектов является достаточно сложной задачей, которая еще более усложняется, если для повышения достоверности определения дефектов приходится комбинировать методы контроля.

Основные достоинства методов неразрушающего контроля заключаются в сравнительно большой скорости контроля, высокая надежность (достоверность) контроля, возможности механизации и автоматизации процессов контроля, возможности применения в пооперационном контроле изделий сложной формы, возможности применения в условиях эксплуатации без разборки машин и сооружений и демонтажа их агрегатов, сравнительной дешевизне контроля и др.

## 1 ЦЕЛЬ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

**Цель работы** – закрепить теоретические знания и получить практические навыки исследования изменений характеристик металлов и обнаружение дефектов с помощью неразрушающих методов контроля.

### **Студент должен знать:**

- основные методы неразрушающего контроля внешних и внутренних дефектов деталей;
- факторы, определяющие выбор того или иного метода контроля;
- устройство и работу оборудования и оснастки для проведения неразрушающих методов контроля.

### **Студент должен уметь:**

- выбирать метод неразрушающего контроля в зависимости от материала детали, конструкции (форма и размеры) изделий, состояния поверхности детали, характеристики дефектов (вид и размер дефекта, места его расположения), условий работы детали, условий контроля, технико-экономических показателей;
- выполнять операции подготовки оборудования и объектов контроля;
- осуществлять контроль внешних и внутренних дефектов деталей и давать по ним заключения.

## 2 ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

1. Изучить технику безопасности при дефектоскопии.
2. Ознакомиться с устройством и работой оборудования и оснастки для проведения неразрушающего контроля внешних и внутренних дефектов деталей.
3. Провести контроль внешних и внутренних дефектов деталей, выданных преподавателем.
4. Оформить и защитить отчет.

## 3 ОСНАЩЕНИЕ РАБОЧЕГО МЕСТА

Лабораторная работа предусматривает определение внешних и внутренних дефектов деталей тремя методами неразрушающего контроля: магнитным, электромагнитным и капиллярным.

Рабочее место для проведения магнитной дефектоскопии включает: верстак слесарный, дефектоскоп 77ПМД-3, магнитный порошок и суспензию.

Рабочее место для проведения электромагнитной дефектоскопии включает: верстак слесарный, вихревой дефектоскоп FD-1s.

Рабочее место капиллярной (люминесцентной) дефектоскопии включает: люминесцентный дефектоскоп ЛД-2, флуоресцирующая жидкость, принадлежности для покрытия изделия люминофором, промывки, просушки.

## 4 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

К лабораторной работе, предусматривающей исследование изменений характеристик металлов и обнаружение дефектов с помощью неразрушающих методов контроля, допускаются лица, которые прошли инструктаж по технике безопасности на рабочем месте, изучившие устройство оборудования и оснастки и овладевшие практическими навыками безопасного выполнения работ.

Перед началом работ необходимо надеть спецодежду. Первое включение в работу установок, а также первые измерения параметров проводят под руководством или в присутствии преподавателя или мастера, а в дальнейшем – по их разрешению.

## 5 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Различают следующие методы неразрушающего контроля: *акустический, магнитный, оптический, проникающими веществами, радиационный, радиоволновый, тепловой, электрический и электромагнитный.*

**Акустические методы** основаны на регистрации параметров упругих колебаний, возбужденных в контролируемом объекте. Применяются для обнаружения поверхностных и внутренних дефектов (нарушений сплошности, неоднородности структуры, межкристаллитной коррозии, дефектов склейки, пайки, сварки и т. д.) в заготовках и изделиях, изготовленных из различных материалов. Они позволяют

измерять геометрические параметры при одностороннем доступе к изделию, а также физико-механические свойства металлов и металлоизделий без их разрушения.

К акустическим методам относятся методы *звукового* (свободных колебаний и др.) и *ультразвукового* (эхо-импульсный, резонансный, теневой и др.) диапазонов.

**Магнитные методы** основаны на регистрации магнитных полей рассеяния над дефектами или магнитных свойств контролируемого объекта. Применяют для обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов в деталях и полуфабрикатах различной формы, изготовленных из ферромагнитных (намагничивающихся) материалов. К ним относятся *магнитно-порошковый, магнитно-графический, феррозондовый, магнитно-индукционный* и другие методы.

Магнитные поля рассеяния над дефектами регистрируются в магнитно-порошковом методе с помощью ферромагнитного порошка или суспензии, в магнитно-графическом – с помощью ферромагнитной ленты и в феррозондовом – с помощью чувствительных к магнитным полям феррозондов.

*Магнитно-порошковый метод* нашел широкое применение на заводах промышленности, ремонтных предприятиях и эксплуатирующихся подразделениях.

*Магнитно-графический метод* наибольшее применение получил для контроля сварных соединений. Он позволяет выявлять трещины, непровары, шлаковые и газовые включения и другие дефекты в стыковых сварных швах.

*Феррозондовый метод* применяют для обнаружения тех же дефектов, что и магнитно-порошковым методом, а также дефектов, расположенных на глубине до 20 мм. С его помощью измеряют толщину листов и стенок сосудов при двухстороннем доступе.

**Оптические методы** основаны на взаимодействии светового излучения с контролируемым объектом. Они предназначены для обнаружения различных поверхностных дефектов материала деталей, скрытых дефектов агрегатов, контроля закрытых конструкций, труднодоступных мест машин и силовых установок (при наличии каналов для доступа оптических приборов к контролируемым объектам). Регистрация поверхностных дефектов осуществляется с помощью оптических устройств, создающих полное изо-

бражение проверяемой зоны. Достоинства этих методов — простота контроля, несложное оборудование и сравнительно небольшая трудоемкость. Поэтому их применяют на различных стадиях изготовления деталей и элементов конструкций, в процессе регламентных работ и осмотров, проводимых при эксплуатации техники, а также при ее ремонте.

Так как контроль с помощью оптических приборов обладает высокой чувствительностью и достоверностью, то его применяют для поиска достаточно крупных поверхностных трещин, коррозионных и эрозийных повреждений, забоин, открытых раковин, пор, для обнаружения течей, загрязнений, наличия посторонних предметов и т. д.

**К методам контроля проникающими веществами** относятся *капиллярные методы* и *методы течеискания*.

*Капиллярные методы* основаны на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей в полости поверхностных дефектов и регистрации индикаторного рисунка. При контроле этими методами на очищенную поверхность детали наносят проникающую жидкость, которая заполняет полости поверхностных дефектов. Затем жидкость удаляют, а оставшуюся в полостях дефектов часть обнаруживают путем нанесения проявителя, который адсорбирует жидкость, образуя индикаторный рисунок. Эти методы применяют в цеховых, лабораторных и полевых условиях, при положительных и отрицательных температурах. Они позволяют обнаруживать дефекты производственно-технологического и эксплуатационного происхождения: трещины шлифовочные, термические, усталостные и др. Капиллярные методы могут быть применены для обнаружения дефектов в деталях из металлов и неметаллов простой и сложной формы.

Благодаря высокой чувствительности, простоте контроля и наглядности результатов эти методы применяют не только для обнаружения, но и для подтверждения дефектов, выявленных другими методами дефектоскопии – ультразвуковым, магнитным и др.

Наиболее распространенными *капиллярными методами* являются *цветной, люминесцентный, люминесцентно-цветной, фильтрующихся частиц, радиоактивных жидкостей* и др.

*Методы течеискания* основаны на регистрации индикаторных жидкостей, проникающих в сквозные дефекты контролируемого объекта. Их применяют для контроля герметичности работающих

под давлением сварных сосудов, баллонов, трубопроводов гидро-, топливо-, масляных систем силовых установок и т. п. К методам течеискания относятся гидравлическая опрессовка, аммиачно-индикаторный метод, фреоновый, масс-спектрометрический, пузырьковый, с помощью гелиевого и галоидного течеискателей и т. д. Проведение течеискания с помощью радиоактивных веществ позволило значительно увеличить чувствительность метода.

**Радиационные методы** основаны на взаимодействии проникающих излучений с контролируемым объектом. Их применяют для контроля качества сварных и паяных швов, литья, качества сборочных работ, состояния закрытых полостей агрегатов и т. д. Проникающие излучения (рентгеновское, потока нейтронов), проходя через толщу материала детали и взаимодействуя с его атомами, несут различную информацию о внутреннем строении вещества и наличии скрытых дефектов внутри контролируемых объектов.

Наиболее распространенными радиационными методами являются рентгенография, рентгеноскопия и гамма-контроль, которые нашли применение на предприятиях металлургии и машиностроения. В качестве источников проникающих излучений применяют рентгеновские аппараты, бетатроны, линейные ускорители и микротроны, гамма-дефектоскопы и др.

**Радиоволновые методы** основаны на регистрации изменения параметров электромагнитных колебаний, взаимодействующих с контролируемым объектом. Их применяют для контроля качества и геометрических размеров изделий из диэлектрических материалов (стеклопластики и пластмассы, резина, термозащитные и теплоизоляционные материалы, фибра), вибраций, толщины металлического листа и т. п.

**Тепловые методы** основаны на регистрации тепловых полей, температуры или теплового контраста контролируемого объекта. Их применяют для измерения температур, получения информации о тепловом режиме объекта, определения и анализа температурных полей, дефектов типа нарушения сплошности (расслоения, трещины и т.п.), выявления дефектов пайки многослойных соединений из металлов и неметаллов и т. п. Контроль осуществляется с помощью термометров, термоиндикаторов, пирометров, тепловизоров, инфракрасных микроскопов и радиометров и т.д.

Эти методы также пока применяют ограниченно, в основном в приборостроении для контроля радиоэлектронной аппаратуры. В пленочных проводниках и резисторах выявляют микротрещины, утонения, плохую адгезию, плохой контакт и т.д.

**Электрические методы** основаны на регистрации электростатических полей и электрических параметров контролируемого объекта. Их применяют для выявления раковин и других дефектов в отливках, расслоений в металлических листах, различных дефектов в сварных и паяных швах, трещин в металлических изделиях, растрескиваний в эмалевых покрытиях и органическом стекле и т.д.

**Электромагнитный (вихревых токов) метод** основан на регистрации изменения взаимодействия собственного электромагнитного поля катушки с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых этой катушкой в контролируемом объекте. Применяется для обнаружения поверхностных дефектов в магнитных и немагнитных деталях и полуфабрикатах. Метод позволяет выявлять нарушения сплошности, в основном трещин, на различных по конфигурации деталях, в том числе имеющих покрытия. На основе метода вихревых токов разработаны приборы для измерения толщины листов и покрытий, диаметра проволоки и прутков. Применяют на заводах и ремонтных предприятиях. В условиях эксплуатации применяют для профилактического контроля лопаток турбин газотурбинных двигателей, сварных и литых узлов элементов конструкций и др.

## 6 ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЫБОР МЕТОДА КОНТРОЛЯ

Наиболее эффективные результаты контроля могут быть достигнуты только при технически правильном выборе и применении методов дефектоскопии. Выбор метода НК определяется конкретными требованиями практики и зависит от:

*материала детали, конструкции (форма и размеры) изделий, состояния поверхности детали, характеристики дефектов (вид и размер дефекта, места его расположения), условий работы детали, условий контроля, технико-экономических показателей.*

### Материал детали

В производстве используют различные материалы, отличающиеся химическим составом, степенью деформации, макроструктурой, термической обработкой, плотностью и другими физическими свойствами. Наличие, в них дефектов вызывает локальное изменение свойств материала, которое может быть обнаружено с помощью различных методов. Так, например, поверхностные и под поверхностные дефекты в ферромагнитных сталях могут быть обнаружены намагничиванием детали и фиксацией образующихся при этом полей рассеяния с помощью магнитных методов. В то же время такие же дефекты в изделиях, изготовленных из немагнитных сплавов, например жаропрочных, нельзя выявить магнитными методами. В данном случае необходим другой метод контроля, например электромагнитный. Однако и этот метод окажется непригодным, если изделие изготовлено из пластмассы. В этом случае поверхностные дефекты можно обнаружить капиллярными методами. Ультразвуковой метод нельзя эффективно использовать для выявления внутренних дефектов в литых сплавах, однако они могут быть успешно проконтролированы с помощью рентгеновских лучей.

### Конструкция (форма и размеры) изделий

Металлоизделия в металлургии и машиностроении имеют самые различные размеры и форму: от крупногабаритных (слитки, поковки, штамповки и др.) массой в сотни килограмм до небольших изделий (болты, винты, заклепки и др.) массой в несколько десятков грамм. Заготовки имеют простую форму (параллелепипеды, цилиндры, диски, кубы и т.п.), готовые детали – сложную (ступенчатые валы, сварные и паяные соединения, изделия, ограниченные кривыми поверхностями, и т.п.). Методы контроля выбирают в зависимости от размеров и формы изделия. Так, для контроля деталей сложной формы применимость методов ограничена. Например, детали, имеющие большое число выточек, канавок, переходов от одного радиуса кривизны к другому, уступов и т.д., очень трудно, а иногда невозможно контролировать такими методами, как магнитный, ультразвуковой и радиационный.

Крупногабаритные изделия контролируют, как правило, по частям. При этом важно правильно определить зоны контроля, знание которых облегчает разработку методики проверки опасных участков детали.

Мелкие массовые детали – шарики, ролики, болты, шпильки и т.п. целесообразно контролировать методами, которые легко поддаются автоматизации или механизации, например электромагнитными.

### Состояние поверхности детали

Под состоянием поверхности понимается степень ее шероховатости и наличие защитных покрытий. Грубая шероховатая поверхность детали исключает применение капиллярных методов, вихревых токов, магнитных и ультразвукового в контактном варианте. Малая шероховатость расширяет возможности методов дефектоскопии. Операции контроля – неотъемлемые звенья технологического процесса. Поэтому там, где это нужно, следует предусматривать операции по уменьшению шероховатости поверхности контролируемого изделия (особенно на промежуточных стадиях изготовления детали, когда заготовка имеет припуски на обработку).

Защитные покрытия не позволяют применить оптические, магнитные и капиллярные методы контроля. Эти методы можно применить только после удаления защитных покрытий. Если же удалить покрытие нельзя или нецелесообразно, то для обнаружения внутренних дефектов используют радиационные и ультразвуковые методы, а для поверхностных – ультразвуковой, электромагнитный и магнитно-порошковый. Так, например, магнитно-порошковым методом обнаруживают трещины на стальных деталях, имеющих хромовое покрытие толщиной до 0,2 мм. Электромагнитным методом обнаруживают трещины на деталях, имеющих лакокрасочное, эмалевое и другие неметаллические покрытия толщиной до 0,5 мм и металлические немагнитные – до 0,2 мм.

### Характеристика дефектов (вид и размер дефекта, место его расположения)

Дефекты могут иметь самое различное происхождение и отличаться по виду, размерам, месту расположения, ориентировке относительно волокна металла и т.д. Прежде чем выбрать метод контроля, следует изучить технологию изготовления изделия, характер возможных дефектов и технические условия на браковку.

Дефекты по расположению относительно поверхности детали могут быть внутренними, залегающими на глубине более 1 мм, подповерхностными, залегающими на глубине менее 1 мм, и поверхностными.

Установив вид и место расположения предполагаемого дефекта, выбирают метод контроля, для чего оценивают технические возможности методов и отбирают наиболее подходящий.

Так, например, для обнаружения внутренних дефектов в стальных изделиях используют радиационные и ультразвуковые методы. Если изделия имеют сравнительно небольшую толщину, а дефекты, подлежащие выявлению (например, раковины), – достаточно большие размеры, то лучше воспользоваться радиационными методами. При этом можно точно определить и зафиксировать на пленке размеры и местоположение дефекта. Если толщина изделия в направлении просвечивания более 100–150 мм или требуется обнаружить в нем внутренние дефекты в виде трещин или тонких расслоений, то применять радиационные методы нецелесообразно, так как они "не пробивают" толщину металла более чем на 150 мм, а кроме того, обнаруживать трещины и расслоение радиационными методами неэффективно из-за низкой чувствительности. В данном случае наиболее подходящим является ультразвуковой контроль.

Поверхностные дефекты обнаружить проще, чем внутренние, так как для этого имеется больше технических возможностей (число методов). Однако и в данном случае следует выбирать и применять методы контроля в зависимости от того, где расположена трещина: на гладкой плоской или кривой поверхности, в галтельном переходе или в резьбе и т. д.

#### Условия работы детали

Детали и узлы многих машин работают в условиях повышенных статических, динамических и вибрационных нагрузок. Некоторые элементы конструкции испытывают периодические перегрузки, работают в агрессивной среде и подвергаются коррозионному и эрозионному воздействию. Все это приводит к возникновению дефектов в элементах конструкций, которые могут явиться причиной усталостного их разрушения.

Поэтому важно знать условия работы машины для определения критических мест на деталях и выбора метода контроля, обеспечивающего надежное выявление дефектов в опасных участках.

#### Условия контроля

Контроль продукции металлургических и машиностроительных предприятий проводят как в заводских условиях, так и в эксплуатации.

На заводе-изготовителе изделия контролируют с целью выявления дефектов металлургического или производственно-технологического происхождения; для этого применяют пооперационный контроль с использованием инструментальных средств, позволяющих отбраковывать дефектные детали на ранней стадии изготовления. Контролировать однотипные заготовки или детали простой формы на промежуточной стадии их изготовления, когда внешняя поверхность хорошо обработана и не имеет защитных покрытий, значительно проще, чем готовых изделий, имеющих сложную форму, защитные покрытия и собранных в отдельные узлы. Поэтому на заводах имеются широкие возможности организации участков для проведения массового контроля заготовок и деталей с применением типовой контрольно-измерительной и дефектоскопической аппаратуры.

На ремонтных предприятиях, целью контроля является выявление дефектов, связанных с продолжительностью и условиями работы деталей и агрегатов: механических повреждений, деформаций, износов, усталостных трещин, коррозии и т.д.

При ремонте контролю подвергают разнообразные по размерам, форме и материалам детали и узлы машин, причем контролируют их обычно в одном цехе. Детали, бывшие в эксплуатации, имеют антикоррозионные защитные покрытия; на некоторых деталях в результате воздействия высоких температур образовались нагар или окисные пленки, в результате износа – риски и надиры, при работе в агрессивных средах – коррозионное поражение. Некоторые детали, соединенные тугой посадкой, сваркой или заклепками, при ремонте не разбирают и их контролируют в собранном виде. Такие условия усложняют контроль и требуют более широкого и гибкого применения контрольно-измерительной аппаратуры и различных методов, использования универсальных дефектоскопов с различными устройствами и приспособлениями, а также введения операций по подготовке деталей к контролю (очистки от нагара, удаления защитных покрытий, зачистки рисок, забоин и др.).

Контролировать изделия в условиях эксплуатации сложнее, так как объекты контроля, как правило, не демонтируются, находятся в конструкции и доступ к ним в ряде случаев затруднен. Для контроля деталей, расположенных в труднодоступных местах, необходимы преобразователи и датчики, посаженные на удлинительные ручки, зажимные и сканирующие устройства, фиксаторы, осветители, поворотные зеркала, механические отсчетные устройства и т.д. Все это нужно учитывать при выборе метода контроля.

### Технико-экономические показатели

При выборе метода контроля по этому фактору в первую очередь учитывают технические возможности метода: оценивают его чувствительность, разрешающую способность, достоверность результатов контроля и надежность аппаратуры. Затем оценивают его техническую доступность для применения в конкретных условиях. Чем проще метод, объективнее результаты контроля, выше производительность и ниже трудоемкость работ при контроле и дешевле применяемая аппаратура, тем предпочтительнее метод. При этом преимущество имеет тот метод, который может быть и труднее по применению, по аппаратуре, но для его осуществления не требуется полной или частичной разборки агрегата или машины, так как последняя увеличивает сроки и трудоемкость работ и приносит значительные убытки за счет вынужденного простоя машин.

Таким образом, выбор методов и технических средств контроля представляет собой сложную техническую задачу. Высокая эффективность контроля может быть обеспечена при условии правильного выбора методик и инструкций контроля, технических средств (дефектоскопов и дефектоскопических материалов); исправности дефектоскопической аппаратуры и качества применяемых материалов; достаточной квалификации контролеров дефектоскопистов; правильной организации работ.

## 7 УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Человек воспринимает механические колебания, имеющие частоту от 16 до 20000 Гц (т. е. от 16 до 20000 колебаний в секунду). Эти колебания называют звуковыми. Колебания с частотой менее 16 Гц называют инфразвуковыми, а более 20000 Гц – ультразвуковыми.

Ультразвуковая дефектоскопия основана на свойстве ультразвуковых волн распространяться в однородном твердом теле на большие расстояния в виде направленного пучка и отражаться от границ между двумя различными веществами, имеющими разные акустические свойства. Ультразвуковые колебания, распространяясь в металлических деталях, отражаются от несплошностей (трещин, раковин и т. п.).

Если к поверхности детали приложить так называемую излучающую искательную головку, то часть ультразвука войдет в деталь и будет распространяться в ней. При встрече ультразвукового луча с несплошностью, часть ультразвуковой энергии отразится от нее.

Отраженный ультразвук будет распространяться в сторону излучения, а за дефектом образуется ультразвуковая тень.

На практике наиболее часто встречаются несплошности величиной от 0,6 до 6,0 мм. Для их выявления необходимо применять ультразвуковые колебания с частотой более 500000 Гц (или 0,5 МГц). Наиболее часто пользуются частотами 1–2,5 МГц (1 мегагерц =  $10^6$  Гц).

В зависимости от физической сущности, различают *теневые методы, эхо-методы и резонансные методы контроля*.

На рисунке 1 приведена принципиальная схема импульсного ультразвукового дефектоскопа. Генератор радиоимпульсов 3 возбуждает пьезопластину передающей искательной головки 1. Ультразвуковые колебания распространяются в контролируемой детали, отражаются от ее противоположной стенки ("донный сигнал") и попадают на пьезопластину приемной искательной головки 2. Отраженные ультразвуковые колебания возбуждают колебания пьезопластины приемной искательной головки 2. При этом на гранях пьезопластины возникает переменное напряжение, которое детектируется и усиливается в усилителе 4, а затем поступает на монитор 5. Генератор радиоимпульсов 3 возбуждает пьезопластину передающей искательной головки 1 короткими импульсами, между которыми получаются продолжительные паузы. Это позволяет четко различать на мониторе сигнал начального (зондирующего) импульса I, сигнал от дефекта II и донный сигнал III. При отсутствии дефекта в контролируемом участке детали на мониторе импульс III будет отсутствовать. Перемещая передающую и приемную искательные головки по поверхности контролируемой детали, обнаруживают дефекты и определяют их местоположение. В некоторых конструкциях ультразвуковых дефектоскопов имеется только одна совмещенная искательная головка, которая используется как для передачи, так и для приема ультразвуковых колебаний.

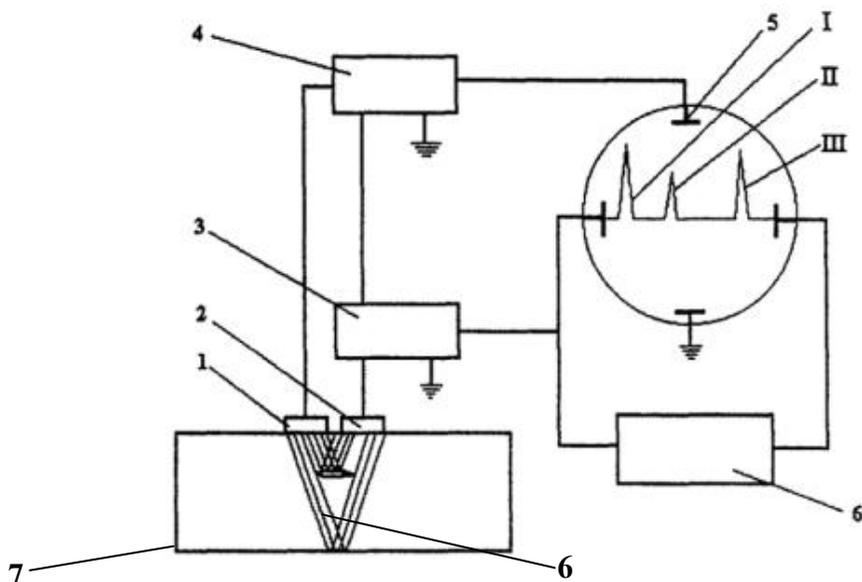


Рисунок 1. – Блок схема импульсного ультразвукового дефектоскопа  
 1 – передающая искательная головка; 2 – приемная искательная головка;  
 3 – генератор радиоимпульсов; 4 – усилитель радиоимпульсов; 5 – монитор;  
 6 – дефект, 7 – деталь; I – сигнал начального (зондирующего) импульса;  
 II – донный сигнал; III – сигнал от дефекта

## 8 МАГНИТНАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Для контроля ферромагнитных (намагничивающихся) металлов, применяют магнитный метод. При контроле этим методом деталь необходимо намагнитить или поместить в магнитное поле. При этом в ней возникает магнитный поток. Если в детали имеется несплошность, пересекающая магнитные силовые линии, магнитный поток будет искажен и часть силовых магнитных линий может выйти за пределы детали (рисунок 2). Вышедшая наружу часть магнитного потока называется потоком рассеяния. По нему судят о наличии в детали несплошностей. Для выявления потока рассеяния чаще всего пользуются магнитной суспензией, представляющей взвесь ферромагнитных частиц в

воде, керосине или масле. Небольшие по размеру изделия полностью погружают в ванну с суспензией. При контроле крупногабаритных изделий суспензию наносят на контролируемый участок пульверизатором и другими приспособлениями.



Рисунок 2. – Искажения магнитного потока несплошностями в детали

При магнитных методах выявляемость несплошности зависит от ориентации последних относительно магнитного потока: трещины и другие несплошности будут выявляться лучше, если они расположены перпендикулярно магнитному потоку. Трещины, расположенные вдоль магнитного потока, обнаружить трудно.

Направление магнитного потока зависит от способа намагничивания детали. При полюсном намагничивании и намагничивании в соленоиде магнитный поток параллелен оси детали, при циркулярном намагничивании он направлен перпендикулярно оси детали, а при комбинированном – под углом к ней.

Магнитным методом можно выявлять несплошности в металле как ничем не заполненные, так и заполненные неметаллическими включениями. По характеру осаждения порошка в большинстве случаев удается отличить первые от вторых. Выявление несплошностей возможно, если они выходят на поверхность детали или залегают на небольшой глубине (не более 2–3 мм).

Недостаток метода магнитной суспензии заключается в сложности определения распространения трещины в глубь металла, преимущества метода – в меньшей трудоемкости контроля по сравнению с капиллярным, в возможности обнаружения несплошностей, заполненных каким-либо веществом, а также в возможности обнаружения подповерхностных несплошностей, т. е. несплошностей, залегающих на небольшой глубине.

Наряду с магнитной суспензией для обнаружения потока рассеяния применяют магнитную ленту, а также другие способы.

## 9 ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ (ВИХРЕТОКОВАЯ) ДЕФЕКТОСКОПИЯ

Применяется для обнаружения поверхностных дефектов в магнитных и немагнитных деталях и полуфабрикатах. Метод позволяет выявлять нарушения сплошности, в основном трещин, на различных по конфигурации деталях, в том числе имеющих покрытия.

На основе метода вихревых токов разработан дефектоскоп типа FD-1s. В качестве измеряемой величины используется амплитуда выходного напряжения измерительной катушки накладного вихревого преобразователя (ВТП). Дефектоскоп предназначен для обнаружения дефектов, имеющих вид трещин, расположенных на поверхности металлических изделий. Минимальные величины обнаруживаемых поверхностных дефектов для деталей с числовым значением шероховатости  $R_a$  не более  $1,25 \text{ мкм}$ : глубина –  $0,15 \pm 0,01 \text{ мм}$ ; длина –  $5 \pm 0,5 \text{ мм}$ .

Структурная схема дефектоскопа показана на рисунке 3. По катушке возбуждения накладного ВТП трансформаторного типа 2 проходит переменный ток (форма которого близка к синусоидальной) получаемый от генератора 1. Частота тока возбуждения равна  $220 \pm 10 \text{ кГц}$ . Переменное напряжение с измерительной катушки преобразователя поступает на амплитудный детектор 3, к выходу которого подключен фильтр верхних частот 4. Сигнал с выхода фильтра верхних частот поступает на входы двух компараторов – 5 и 6. Первый из них изменяет свое выходное напряжение при превышении входным сигналом некоторого порогового напряжения положительной полярности, а второй – при превышении входным сигналом (по абсолютному значению) некоторого порогового напряжения отрицательной полярности. Сигналы с компараторов поступают на блок цифровой обработки измеряемого сигнала 7. Он служит для того, чтобы отделить сигнал, возникающий при пересечении преобразователем дефекта (имеющего вид трещины), от сигналов, возникающих за счет различных мешающих факторов – неоднородности электрических, магнитных характеристик объекта контроля, за счет изменения зазора, приближения к краю объекта контроля. При пересечении преобразователем дефекта блок цифровой обработки 7 включает звуковую сигнализацию 9 и световую индикацию на индикаторном табло 8 дефектоскопа, расположенном на передней панели электронного блока. На индикаторном табло расположены также два светодиода желтого цвета, которые загораются при срабатывании компараторов.

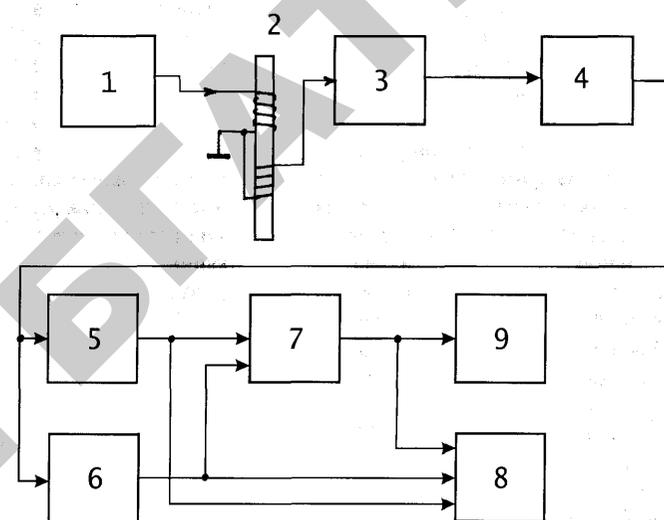


Рисунок 3. – Структурная схема дефектоскопа FD-1s  
1 – генератор; 2 – вихрековый преобразователь; 3 – амплитудный детектор;  
4 – частотный фильтр; 5, 6 – компараторы; 7 – блок цифровой обработки;  
8, 9 – световая и звуковая индикации

## 10 КАПИЛЛЯРНЫЕ МЕТОДЫ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Капиллярные методы получили большое распространение. Герметичность сварных или клепаных соединений издавна проверяют при помощи керосина. Одну сторону сварного шва, более доступную для осмотра, окрашивают меловым раствором с последующей просушкой. Затем противоположную сторону шва обильно смачивают керосином. Так как керосин обладает способностью проникать в мельчайшие поры металла, то при наличии даже незначительной неплотности на стороне шва, окрашенной мелом, обнаруживаются пятна керосина.

Капиллярный метод применяется также для обнаружения несквозных несплошностей: трещин, микропористости и т. д. Если деталь с такой несплошностью погрузить в жидкость-проникатель или нанести ее на деталь кистью, то благодаря капиллярным силам

жидкость проникнет в трещину. Затем жидкость удаляют струёй воды. Деталь сушат. Таким образом, проникатель удаляют с поверхности детали, и он остается лишь в трещинах. На сухую деталь наносят специальный порошок-проявитель. Он действует как прокатальная бумага, вытягивая проникатель из трещины и образуя над ней полосу, значительно более широкую, чем раскрытие трещины (рисунок 4).

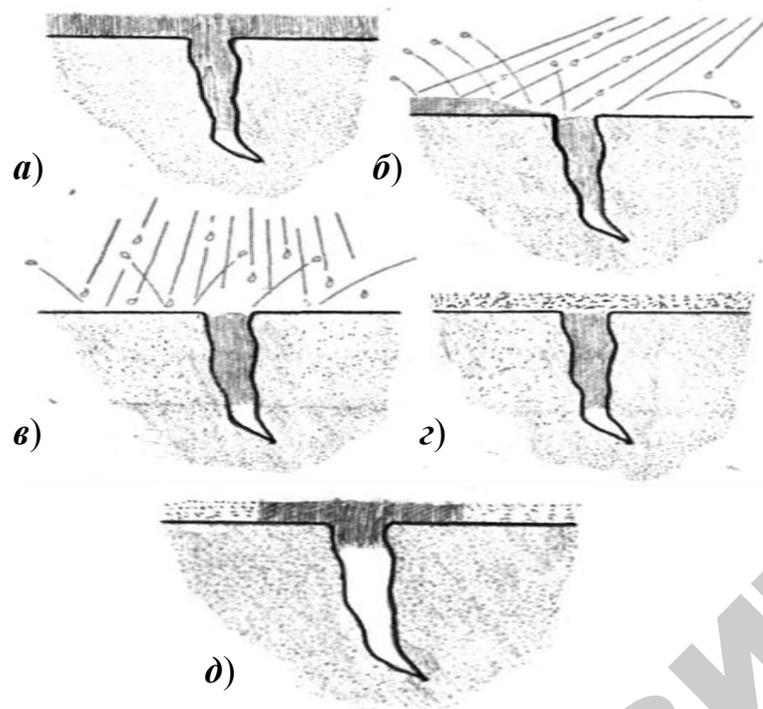


Рисунок 4. – Обнаружение поверхностных несплошностей капиллярным методом  
*a* – пропитка трещины проникателем; *б*, *в* – удаление проникателя; *г* – нанесение порошка (жидкости) проявителя; *д* – увеличение видимого размера трещины

Чтобы улучшить видимое изображение дефекта в проникателе растворяют яркий краситель. Такой метод получил название цветной дефектоскопии. После нанесения суспензии деталь просушивают. На ней образуется плотно прилегающий к поверхности детали рыхлый слой проявителя, хорошо впитывающего (абсорби-

рующего) проникатель из несплошностей. Несколько менее трудоемок люминесцентный метод контроля. При контроле этим методом в проникателе растворяют не краситель, а люминесцирующее вещество. Такое вещество светится (флуоресцирует), если его облучать, например, ультрафиолетовым светом.

В качестве флуоресцирующей жидкости может применяться суспензия, состоящая из 10–15 г флуоресцирующего порошка, 30–40 г эмульгатора (смачивателя) ОП-7, 5–10 г нитрита натрия (ингибитора коррозии) на литр воды, а также некоторые нефтепродукты (керосин, соляровое масло)

Деталь выдерживают несколько минут, после чего стряхивают с нее проявитель. За это время проявитель впитывает (абсорбирует) проникатель из трещин и налипает возле них. Обработанную таким образом деталь освещают ультрафиолетовым светом и осматривают. Так как наш глаз не воспринимает отраженного от детали ультрафиолетового света, ее поверхность выглядит темной. На темной поверхности ярко светится голубовато-синим светом проникатель, выступивший в местах несплошностей (рисунок 5).

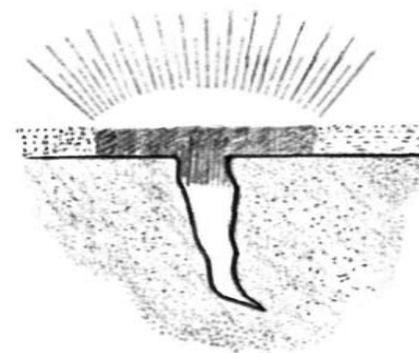


Рисунок 5. – Свечение проникателя при люминесцентном методе

Капиллярными методами могут быть выявлены дефекты на любых непористых материалах: алюминии, магнии, пластмассе и т. д. (если они не заполнены каким-либо веществом). Могут быть выявлены трещины шириной от 0,01 до 0,05 мм и глубиной от 0,03 до 0,2 мм, пористость, микрорыхлоты в магниевых отливках и т. д. Чувствительность зависит от применяемых проникателей, проявителей и методики проведения контроля.

## 11 ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Под руководством лаборанта каждый студент должен определить наличие и характер дефекта в детали с помощью магнитного и капиллярного методов дефектоскопии.

### 11.1 Последовательность определения дефекта в детали магнитным методом

1. С учетом характеристики детали выбрать способ намагничивания, схему намагничивания и рассчитать величину тока.
  2. Подготовить магнитный дефектоскоп к работе, включить прибор в сеть, установить переключатель характера намагничивания в положение *"длительное намагничивание"*, установить при помощи ручки автотрансформатора, расположенной на передней части прибора, расчетную величину тока.
  3. Намагнитить деталь, для этого требуется следующее:
    - а) перевести переключатель *"характер намагничивания"* в положение *"кратковременное намагничивание"*;
    - б) установить деталь между стационарными (ручными) контактами дефектоскопа или внутри соленоида;
    - в) нажать на педаль дефектоскопа и тем самым намагнитить деталь.
  4. Посыпать деталь магнитным порошком или смочить суспензией. Выявить наличие и характер дефектов: Дать заключение о степени годности детали.
  5. Удалить с поверхности детали магнитный порошок (суспензию).
  6. Размагнитить деталь.
- По окончании работы тщательно убрать рабочее место. Занести в отчет данные о магнитном методе дефектоскопии.

### 11.2 Последовательность определения дефекта в детали электромагнитным (вихревых токов) методом

1. Произведите внешний осмотр электронного блока и электромагнитного преобразователя. При необходимости протрите их чистой ветошью от пыли и возможных загрязнений.
2. Подсоедините требуемый преобразователь к разъему электронного блока дефектоскопа и включите дефектоскоп.
3. Прогрейте прибор в течение 1 минуты.
4. Установить преобразователь на контролируемое изделие та-

ким образом, чтобы его рабочая поверхность прилегала к контролируемой поверхности и провести сканирование его поверхности. Скорость перемещения преобразователя должна составлять примерно 50–80 мм/сек. При пересечении преобразователем трещины наблюдается кратковременное загорание светодиода красного цвета и раздается звуковой сигнал. К кратковременному загоранию желтых светодиодов приводит пересечение преобразователем участков с локальными неоднородностями магнитных и (или) электрических свойств материала изделия, а также изменение зазора между контролируемым изделием и преобразователем.

Если из-за относительно большой шероховатости контролируемой поверхности наблюдается загорание светодиода красного цвета и срабатывает звуковая сигнализация, то необходимо между преобразователем и контролируемой поверхностью разместить диэлектрическую пленку небольшой толщины (порядка нескольких десятых долей миллиметра). При этом уменьшается чувствительность к шероховатости (правда, при этом уменьшается и чувствительность дефектоскопа к дефектам).

5. После окончания измерений прибор необходимо выключить.

### 11.3 Последовательность определения дефекта в детали люминесцентным методом

1. Обезжирить деталь ацетоном, растворителем или другими методами.
2. Промыть деталь горячей водой и просушить ее.
3. Погрузить деталь на 5–10 мин в флуоресцирующую жидкость (дизельное топливо, керосин или другие, средства).
4. Протереть деталь насухо ветошью или тряпкой.
5. Нанести на деталь дисперсионный порошок (силикагель, окись магния, тальк).
6. Подготовить к работе люминесцентный дефектоскоп.
7. Осветить деталь ультрафиолетовым светом ртутно-кварцевой лампы.
8. Определить наличие и форму дефекта по результатам осмотра детали.
9. Дать заключение о годности детали.

По окончании работы тщательно убрать рабочее место. Занести в отчет данные о люминесцентном методе дефектоскопии.

## 12 ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Отчет о работе должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы;
2. Результаты дефектоскопии производимыми методами;
3. Краткое описание и схему одного из методов дефектоскопии (по указанию преподавателя);
4. Эскиз образца контролируемой детали с указанием его характерных размеров и координат дефектов;
5. Краткие выводы о степени соответствия зафиксированных дефектов числу и местам расположения дефектов, имевшихся в контролируемой детали.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните, в чем заключается сущность понятия "дефектоскопия"?
2. Поясните, в чем заключается необходимость проведения дефектоскопии?
3. Где применяется дефектоскопия?
4. Какие основные методы дефектоскопии вы знаете?
5. Какие факторы определяют выбор метода неразрушающего контроля?
6. Сущность дефектоскопии деталей с помощью ультразвука.
7. Физическая сущность дефектоскопии с помощью магнитных порошков.
8. Порядок осуществления капиллярных методов дефектоскопии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Практикум по ремонту машин / Е.А. Пучин [и др.], под ред. Е.А. Пучина. – М.: КолосС, 2009. – 327 с.
2. Надежность и ремонт машин / Под ред. В.В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. – 776 с.
3. Надежность и ремонт машин / Под ред. Тельнова Н.Ф. – М.: Агропромиз-дат, 1992. – 560 с.
4. Очкасов К.А. Прогрессивные способы ремонта сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1984. – 303 с.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

Составители:

**Дроздов** Петр Анатольевич

**Протасевич** Владимир Александрович

## **ДЕФЕКТОСКОПИЯ ДЕТАЛЕЙ**

Методические указания к лабораторной работе

Ответственный за выпуск *П.А. Дроздов*

Компьютерная верстка *П.А. Дроздов*

Подписано в печать 27.01.2010. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 1,62. Уч.-изд. л. 1,27. Тираж 30 экз. Заказ 286.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».

ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006.

ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.

Пр-т Независимости, 99-2, 220023, Минск

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра ремонта тракторов, автомобилей  
и сельскохозяйственных машин

## **ДЕФЕКТОСКОПИЯ ДЕТАЛЕЙ**

*Методические указания к лабораторной работе*

**Минск  
БГАТУ  
2010**