

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ»  
ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к проведению лабораторных работ по дисциплине вариативной части  
по выбору вуза профессионального цикла**

## **МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

**(часть 2)**

**для студентов всех форм обучения  
направления подготовки 15.04.02  
«Технологические машины и оборудование»**

**Донецк  
ДОННТУ  
2017**

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**ФАКУЛЬТЕТ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕХАНИКИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**КАФЕДРА «МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗАВОДОВ ЧЕРНОЙ  
МЕТАЛЛУРГИИ» ИМ. ПРОФ. СЕДУША В.Я.**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к проведению лабораторных работ по дисциплине вариативной части**

**по выбору вуза профессионального цикла**

## **МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

**(часть 2)**

**для студентов всех форм обучения**

**направления подготовки 15.04.02**

**«Технологические машины и оборудование»**

Рассмотрены на заседании  
кафедры «Механическое оборудование  
заводов черной металлургии»  
им. проф. Седуша В.Я.  
Протокол № 11 от 03.04.2017 г.

Утверждены на заседании  
учебно-издательского совета ДОННТУ  
Протокол № \_\_\_\_ от \_\_.\_\_. 20\_\_ г.

**Донецк  
ДОННТУ  
2017**

Методические указания к проведению лабораторных работ по дисциплине вариативной части по выбору вуза профессионального цикла «Методы неразрушающего контроля (часть 2)» для студентов всех форм обучения направления подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование» / сост.: В. А. Сидоров. – Донецк: ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2017. – 15 с.

Отражены цели и задачи лабораторного практикума по дисциплине «Методы неразрушающего контроля (часть 2)» для студентов всех форм обучения по направлению подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование». Описаны структура лабораторных работ, порядок подготовки к ним, последовательность операций и действий, направленных на выполнение поставленных задач, указаны форма представления результатов работы и порядок защиты отчетов по выполненным заданиям, даны рекомендации по использованию теоретического материала.

*Составители:* Сидоров В.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Механическое оборудование заводов черной металлургии» им. проф. Седуша В.Я.

*Рецензенты:* д.т.н., профессор А.П. Кононенко  
к.т.н., доцент Е.В. Ошовская

Ответственный за выпуск:

д. т. н., профессор А. Л. Сотников

## Применение универсального вихретокового дефектоскопа ВДЗ-71 для эксплуатационного контроля авиационной техники.

**Задача.** Необходимость применения неразрушающего контроля (НК) в авиации выдвигает исключительно высокие требования к аппаратуре и квалификации разработчиков методик, что связано с большим разнообразием формы и сложностью контролируемых узлов. При этом, наиболее часто необходимо контролировать зоны концентрации напряжений: отверстия под крепежные элементы, кромки панелей, галтельные переходы и т.п. В эксплуатации НК часто необходимо проводить без удаления слоя лакокрасочного покрытия или герметика, что исключает применение метода проникающих жидкостей и ультразвукового метода. Во многих ситуациях отсутствует двухсторонний доступ, что исключает возможность применения рентгеновских методов НК. Кроме того, НК часто необходимо проводить в полевых условиях и условиях аэродромов. При эксплуатационном обслуживании самолетов оператор с аппаратурой часто должен располагаться непосредственно на крыле или стрелянке.

Поэтому при обслуживании авиационной техники наибольший объем контрольных операций выполняется вихретоковым методом НК. Большое значение вихретокового метода для авиации связано с его исключительными преимуществами, среди которых возможность контроля боковой стенки отверстий, контроля по неочищенной поверхности, отсутствие необходимости применения контактных жидкостей, небольшие габариты и вес аппаратуры и др. в авиационных обшивках с применением дефектоскопа ВД 3-71.



Рис. 1. Отработка методики выявления локальных коррозионных поражений

При выявлении дефектов во внутренних слоях многослойных авиационных узлов вихретоковый метод с применением низких рабочих частот вообще не имеет альтернативы. За последние десятилетия разработано ряд методик контроля, в том числе выявления подповерхностных дефектов коррозионного и усталостного происхождения при контроле с непораженной стороны листа, выявления дефектов под металлической обшивкой разной толщины (в том числе под ремонтной накладкой), выявления дефектов под головкой заклепок [1]. Для их реализации были разработаны специальные низкочастотные приборы, которые широко применяются в авиационной промышленности. С появлением на рынке вихретоковых приборов универсального типа, работающих в широком диапазоне частот, необходимость применения специализированных приборов отпала, таким образом многие методики могут быть легко реализованы с их помощью. На сегодняшний день на рынке появился отечественный вихретоковый универсальный дефектоскоп типа ВДЗ-71 (рис. 1). Перспективы этого прибора для авиации связаны с широким диапазоном рабочих частот, возможностью подключения вихретоковых преобразователей (ВТП) различного типа, большими возможностями по обработке и регистрации сигнала, небольшими габаритами и весом. Тем более, что возможности дефектоскопа непрерывно расширяются, что будет показано ниже.

**Решение.** Рассмотрим несколько характерных примеров применения дефектоскопа ВДЗ-71 в авиации.

### **Выявление дефектов под обшивкой.**

Рассмотрим методику выявления дефектов в виде сквозных трещин между заклепочными отверстиями в нижнем листе обшивки (т.е. через слой толщиной 1,4 мм) (рис.1). Расстояние между краями заклепок составляет 8 мм. Стандартный образец (СО) для отработки методики представлен на рис. 2. На СО предусмотрено две зоны контроля: одна зона (слева) отвечает случаю бездефектного соединения; вторая зона имитирует двухслойное соединение с трещиной, которая проходит между заклепками во втором слое. Основной помехой в этом случае является влияние заклепок и отверстий на сигнал ВТП, принимая во внимание близкое расположение заклепок. Поэтому методика контроля должна обеспечивать возможность выделения сигналов от дефекта на фоне влияния сигналов от помех, созданных заклепками.

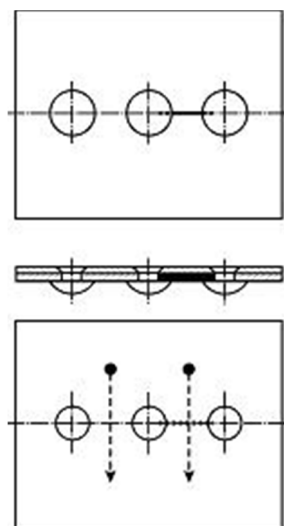


Рис. 2. Стандартный образец, имитирующий двухслойное заклепочное соединение с дефектом.

Проведенные исследования показали, что наилучшие результаты для решения данной задачи дает применение ВТП мультидифференциального типа МДФ 0801 [3]. При этом, диаметр рабочей площадки ВТП (8 мм) достаточно мал для сканирования зоны между заклепками. Методика контроля предполагает сканирование зоны между заклепками по линии, перпендикулярной направлению заклепочного ряда (показана на рис. 2 пунктиром). Перед проведением контроля необходимо провести балансирование ВТП в точке, которая расположена на расстоянии 10-12 мм от линии, соединяющей заклепки (показана на рис. 2 черным кружком). Сигнал наблюдается в режиме комплексной плоскости, что позволяет разделить сигналы от дефекта в нижнем листе от сигналов от помех, обусловленных влиянием самих заклепок. На рис. 3 показано сигнал ВТП при сканировании зоны между заклепками при отсутствии дефекта. На рис. 4 показано сигнал при сканировании зоны между заклепками при отсутствии дефекта в случае смещения линии сканирования в направлении одной из заклепок. На рис. 5 показано сигнал от дефекта. Для лучшего разделения сигналов усиление в вертикальном направлении на 6 дБ больше усиления в горизонтальном направлении.

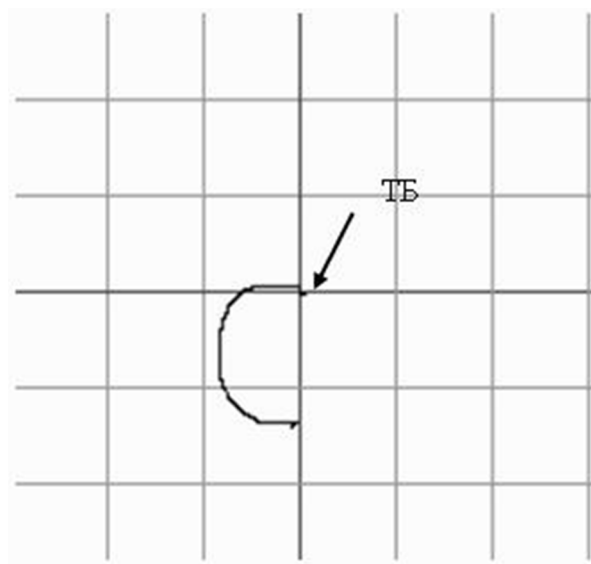


Рис. 3. Сигнал ВТП, обусловленный влиянием заклепок при симметричном сканировании.

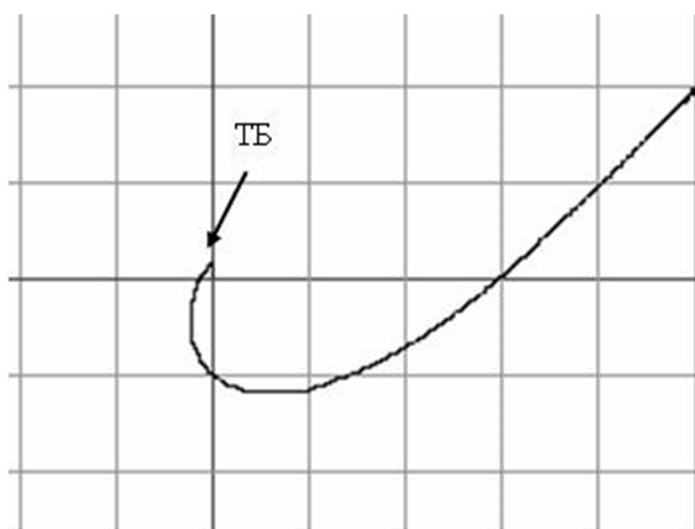


Рис. 4. Сигнал ВТП, обусловленный влиянием заклепок при смещенном сканировании.

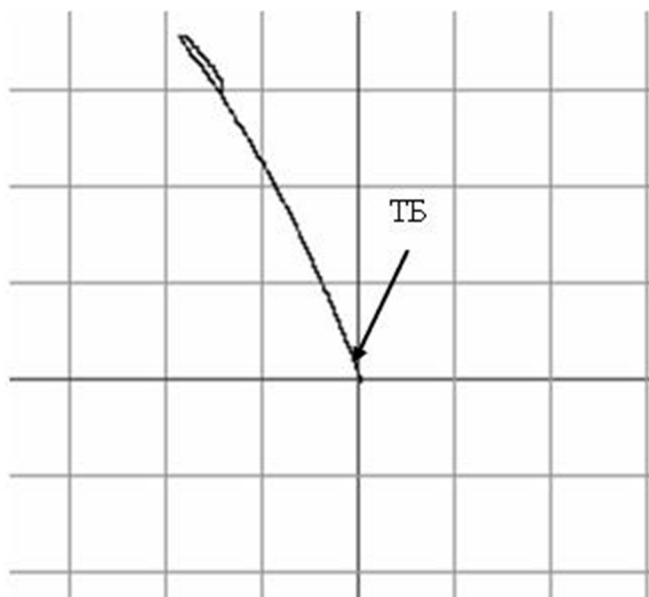


Рис. 5. Сигнал ВТП от дефекта.

На дефектограммах видно, что годографы сигналов от заклепок на рис. 3 и 4 разворачиваются от точки балансирования (ТБ на рис. 2-5) на нижнюю часть комплексной плоскости. В то же время годограф сигнала от дефекта имеет другое направление - на верхнюю часть комплексной плоскости (рис. 5). Возможность разделения сигналов в комплексной плоскости улучшается разным усилением в вертикальном и горизонтальном направлениях. Представленные дефектограммы показывают возможность четкого разделения сигналов от дефекта от сигналов от заклепок даже в случае небрежного сканирования зоны контроля по направлению годографа в комплексной плоскости.

### **Контроль барабанов авиационных колес.**

Примером успешного применения вихретокового метода в авиации является выявление дефектов в барабанах и ребордах авиационных колес из алюминиевых и магниевых сплавов. Преимущество вихретокового метода в сравнении с цветной дефектоскопией определяется возможностью выявления трещин без снятия оксидных пленок, защитного грунта и краски [4]. На многих ремонтных предприятиях гражданской авиации внедрение вихретокового контроля позволило увеличить количество посадок самолета без осмотра с 50 до 350 [4]. В литых барабанах выявляют шлаковые и флюсовые включения, окисные пленки и трещины. В штампованных барабанах выявляют трещины и окисные пленки. На первых этапах внедрения вихретокового метода для контроля барабанов дефекты было выявлено в 6 % изделий. Особенное внимание уделяют контролю галтельных переходов и реборды барабанов колес [1].



В соответствии со штатной технологией контроля применяется два типа сканирования: круговое и зигзагообразное.

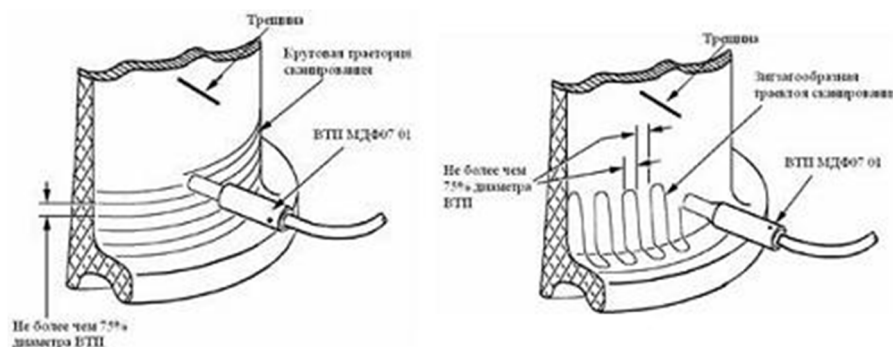


Рис. 6. Схемы сканирования при контроле колес.

При контроле колес модели C20295162 самолетов Airbus A320 производства Messier-Bugatti с помощью дефектоскопа ВДЗ-71 под слоем лакокрасочного покрытия была обнаружена трещина протяженностью 30 мм и глубиной 0,52 мм (рис. 7). Трещина была обнаружена при круговом сканировании и подтверждена зигзагообразным сканированием (рис. 6). Трещина располагалась под углом  $45^\circ$  к траектории кругового сканирования. При контроле применялся преобразователь типа МДФ 0701 на рабочей частоте 420 кГц [3]. Настройки дефектоскопа: КУ1=15 дБ, напряжение на ВТП  $U_{Г}=4$  В, основной масштаб 0,6. Пороговый уровень был настроен на СО на дефект глубиной 0,1 мм.

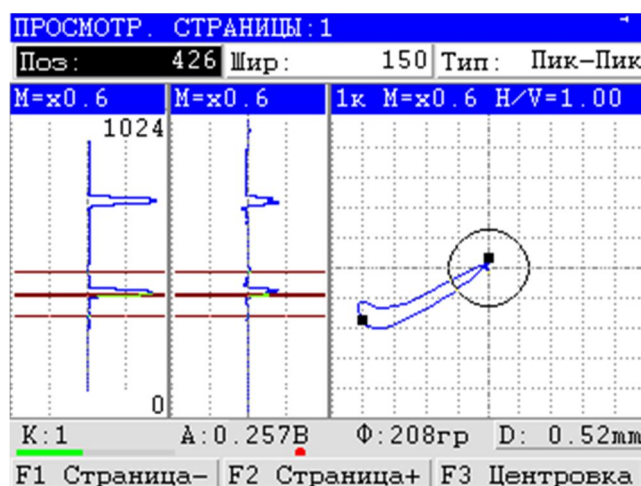


Рис. 7. Сигнал от естественного дефекта глубиной 0,52 мм на колесе.

## **Методика капиллярной дефектоскопии**

К капиллярным методам неразрушающего контроля материалов относят методы, основанные на капиллярном проникновении индикаторных жидкостей (пенетрантов) в поверхностные и сквозные дефекты. Образующиеся индикаторные следы регистрируются визуальным способом или с помощью преобразователя. С помощью капиллярных методов определяется расположение дефектов, их протяженность и ориентация на поверхности. Контроль капиллярным методом проводится в соответствии с ГОСТ 18442.

Капиллярная дефектоскопия применяется при необходимости выявления малых по величине дефектов, к которым не может быть применен визуальный контроль

Капиллярные методы используются для контроля объектов любых размеров и форм, изготовленных из черных и цветных металлов и сплавов, стекла, керамики, пластмасс и других неферромагнитных материалов. С помощью капиллярной дефектоскопии возможен контроль объектов из ферромагнитных материалов в случае, если применение магнитопорошкового метода невозможно в связи с условиями эксплуатации объекта или по другим причинам.

Капиллярная дефектоскопия применяется в таких отраслях промышленности, как энергетика, авиация, ракетная техника, судостроение, металлургия, химическая промышленность, автомобилестроение. Капиллярная дефектоскопия используется при мониторинге ответственных объектов перед приемкой и в процессе эксплуатации

В зависимости от способов получения первичной информации капиллярные методы подразделяют на:

1. Цветной (хроматический);
2. Яркостный (ахроматический);
3. Люминесцентный;
4. Люминесцентно-цветной

Процесс выявления несплошностей капиллярным методом подразделяют на пять стадий:

1. Подготовка объекта (очистка) ;
2. Заполнение полостей индикаторным пенетрантом;
3. Удаление излишков индикаторного пенетранта;
4. Нанесение проявителя;

## 5. Контроль

### **Подготовка объекта**

Перед заполнением пенетрантом все загрязняющие вещества (ржавчина, масла) и покрытия должны быть удалены с исследуемой поверхности. Очистка объекта контроля осуществляется механическим, паровым, растворяющим, химическим и другими способами с последующей сушкой. Неорганические загрязнения требуют преимущественно механической очистки, а органические – применения специальных составов (очистителей). Необходимые способы очистки определяются в технической документации на проведение контроля.

### **Заполнение полостей индикаторным пенетрантом**

Заполнение несплошностей пенетрантом может проводиться капиллярным, вакуумным, компрессионным и другими способами. Наиболее распространен капиллярный способ, при котором происходит заполнение полостей пенетрантом при смачивании поверхности с помощью распыления или нанесения кистевым способом.

Благодаря особым качествам, обеспечиваемых подбором веществ с определенными физическими свойствами (поверхностное натяжение, вязкость, плотность), пенетрант после нанесения проникает в мельчайшие несплошности, имеющие выход на поверхность контролируемого объекта. Время, необходимое для воздействия пенетранта, может варьироваться в зависимости от температуры поверхности. Холодная погода усложняет проведение технологического процесса из-за возможной конденсации воды на поверхности объекта и замедления проникновения пенетранта в полости.

### **Удаление излишков индикаторного пенетранта**

Избыток пенетранта удаляется с поверхности протиркой салфеткой, промыванием водой или очистителями, применяемыми при подготовке объекта. Пенетрант должен удаляться с поверхности, но не из полостей несплошностей. Чаще всего рекомендуется наносить очиститель на салфетку, а не на контролируемую поверхность. Увлажненную в процессе очистки поверхность подвергают естественной сушке; допускается сушка в потоке воздуха, а также протирка чистыми гигроскопическими материалами (например, салфеткой без ворса).

### **Нанесение проявителя**

Нанесение проявителя осуществляется распылением, кистевым, погружным, обливным и другими способами. Рекомендуется нанесение одного или двух-трех тонких слоев проявителя. Избыточное количество проявителя может скрывать или затемнять индикаторные следы. В процессе воздействия проявитель растворяет находящийся внутри несплошности краситель и

благодаря диффузии и адсорбции «вытягивает» его на поверхность. При правильной технологии нанесения материалов ширина контрастного следа в разы превосходит ширину дефекта, что позволяет невооруженным глазом выявлять мельчайшие трещины.

## **Контроль**

В результате примененных при цветной дефектоскопии процессов на белом фоне контрастным цветом (как правило, красным) выделяются дефекты. Индикаторные следы несплошностей проявляются после высыхания проявителя; изготовитель может рекомендовать короткий срок дополнительной выдержки (например, пять минут или более) для полного проявления индикаторных следов. Трещины, складки, несплавления в сварных швах обнаруживаются в виде цветных линий. Глубокие дефекты могут проявляться в виде точек, образующих линию. Поры обнаруживаются в виде рассеянных скоплений точек.

Особенность методики контроля сквозных дефектов (трещин, течей) на тонкостенных изделиях заключается в нанесении пенетранта и проявителя с разных сторон контролируемого изделия. Прошедший насквозь пенетрант будет хорошо виден с другой стороны контролируемого объекта.

Результат контроля оценивается визуально и может быть задокументирован с помощью фото- и видеоаппаратуры или перенесен на клейкую пленку.

При применении люминесцентных (флюоресцентных) пенетрантов исследование результатов происходит при ультрафиолетовом освещении в темном помещении. Дефекты проявляются в виде светящихся линий и точек желто-зеленых оттенков.

Наиболее удобной и часто используемой упаковкой для очистителей, пенетрантов и проявителей являются герметичные аэрозольные баллончики. При использовании баллончиков отпадает необходимость в использовании кистей, нет угрозы перерасхода или разлива материала.

Чувствительность метода капиллярной дефектоскопии определяется способностью выявления дефектов данного размера с заданной вероятностью. В качестве параметра размера принимается ширина раскрытия дефекта - поперечный размер дефекта на контролируемой поверхности. Нижний порог чувствительности ограничивается количеством пенетранта, достаточным для получения контрастного изображения. В соответствии с ГОСТ 18442 установлено пять классов чувствительности: I (ширина раскрытия дефекта – менее 1 мкм); II (от 1 мкм до 10 мкм); III (от 10 мкм до 100 мкм); IV (от 100 до 500 мкм) и технологический класс (ширина раскрытия не нормируется). Класс чувствительности устанавливает разработчик объекта контроля.

Для неглубоких и широких дефектов применимо понятие верхнего порога чувствительности, который определяется тем, что из таких дефектов пенетрант может вымываться при удалении его излишков с поверхности.

К достоинствам капиллярных методов дефектоскопии относятся простота операции контроля и применимость к широкому ряду материалов. С помощью капиллярной дефектоскопии не только выявляются поверхностные или сквозные дефекты, но и получается ценная информация об их расположении, протяженности, ориентации и форме, что, как правило, облегчает понимание причин возникновения этих дефектов.

К недостаткам капиллярной дефектоскопии следует отнести невозможность выявления внутренних несплошностей, не имеющих выхода на поверхность. Выявление поверхностных несплошностей, имеющих ширину раскрытия более 500 мкм, капиллярными методами контроля не гарантируется.

Приборы, оборудование и средства контроля, применяемые при капиллярном контроле:

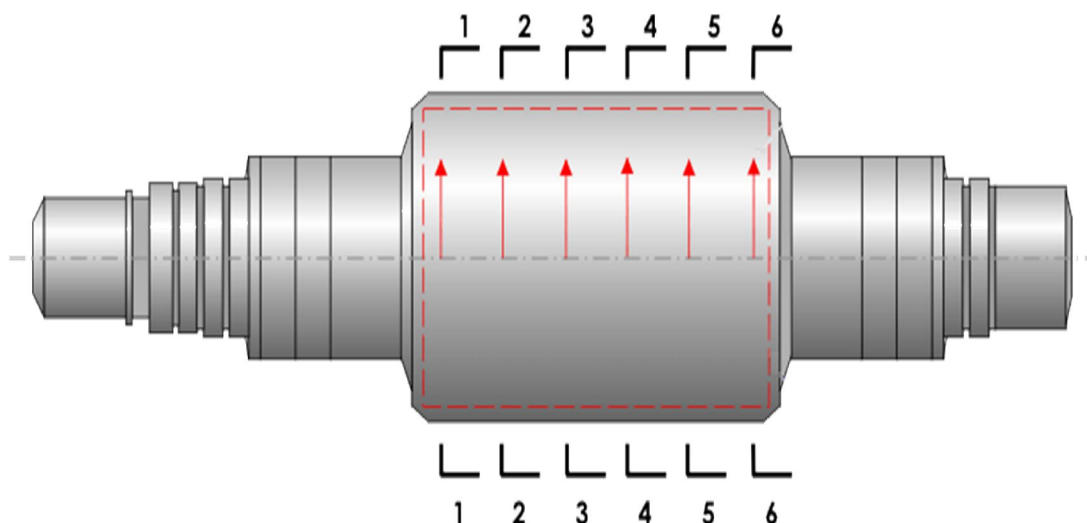
1. Наборы для капиллярной дефектоскопии (очистители, проявители, пенетранты);
2. Пульверизаторы;
3. Пневмогидропистолеты;
4. Источники ультрафиолетового излучения;
5. Контрольные образцы для капиллярной дефектоскопии

Контрольные образцы предназначены для определения чувствительности капиллярных методов, а также оценки проникающей способности пенетрантов в соответствии с ГОСТ 18442. Контрольный образец представляет собой металлическую пластину с искусственным дефектом в виде одиночной тупиковой трещины. Образец снабжен паспортом и сертификатом о калибровке, которые содержат фотографию трещины, ее размеры и инструкцию по эксплуатации. При использовании контрольного образца должны соблюдаться условия очистки и хранения. Ресурс использования контрольного образца по КД ограничен количеством возможных применений, которое регламентируется изготовителем.

### **Контроль валков прокатных станов**

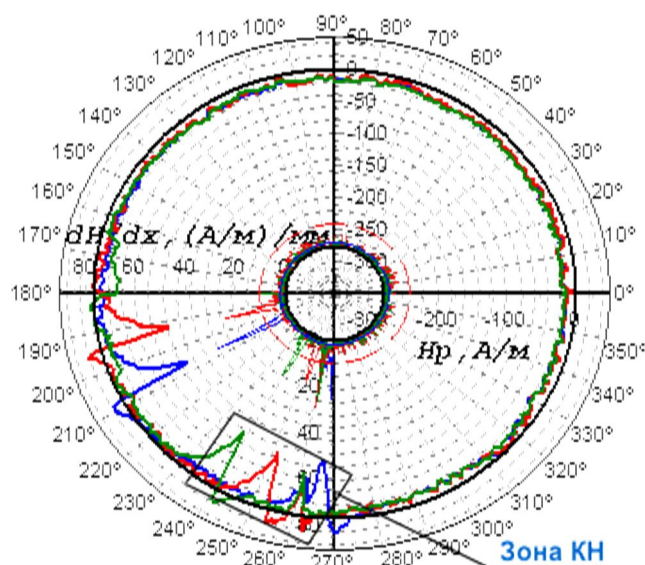
**Задача.** Контроль состояния металла с использованием метода МПМ на рабочих и опорных валках до и после выполнения на них восстановительных технологий ремонта позволяет оценить качество этих технологий, структурные изменения металла, уровень и распределение остаточных напряжений. При контроле новых валков на заводах изготовителях с использованием метода МПМ

**Решение.** На рис.1 представлена схема контроля методом МПМ по рабочей поверхности валков.

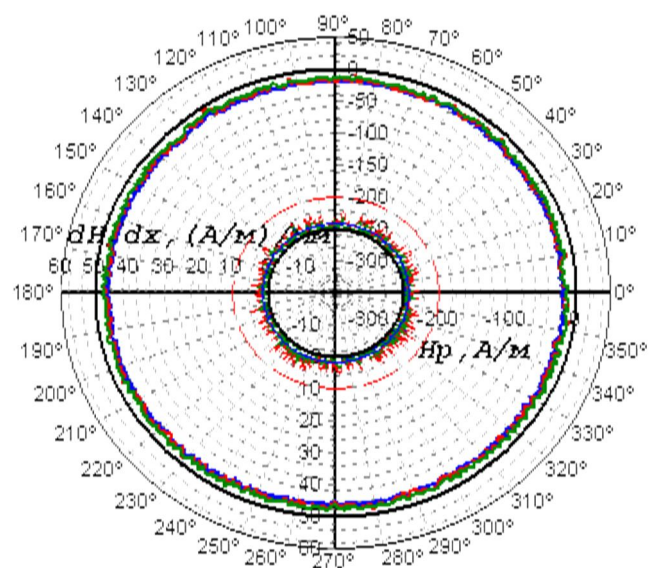


**Рис.1.** Схема контроля методом МПМ по рабочей поверхности валков: --- зона контроля рабочей поверхности вала; 1, 2, 3, 4, 5, 6 - номера сечений; -> - направление движения регистрирующего устройства прибора типа ИКН.

На рис.2 представлены результаты контроля методом МПМ опорного вала Ø350 (сечение 6 по схеме рис.1) лентопротяжной установки до термической обработки "вываркой" (рис.2,*а*) и после термической обработки (рис.2,*б*).



**Рис.2а.** Результаты контроля методом МПМ до термической обработки.



**Рис.2б.** Результаты контроля методом МПМ после термической обработки.