

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

# ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности  
1-54 01 02 «Методы и приборы контроля качества  
и диагностики состояния объектов»  
очной формы обучения*



Могилев 2023

УДК 620.179.14  
ББК 31.222  
П75

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «30» ноября 2022 г.,  
протокол № 3

Составитель д-р техн. наук, проф. В. А. Новиков

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Болотов

Приведены цель, основные теоретические положения, указаны приборы и оборудование, порядок выполнения работ, содержание отчета, контрольные вопросы, дан список литературы к лабораторным работам.

Учебно-методическое издание

## ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ

Ответственный за выпуск

С. С. Сергеев

Корректор

А. А. Подошевка

Компьютерная верстка

Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.- изд. л. . Тираж 31 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2023

## Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Определение кривой намагничивания ферромагнитного материала .....	4
2 Лабораторная работа № 2. Размагничивание объектов контроля. Определение качества размагничивания .....	8
3 Лабораторная работа № 3. Градуировка ленточного локального магнитоносителя. Исследование топографии тангенциальной составляющей поля в зоне сварного соединения.....	11
4 Лабораторная работа № 4. Изучение принципа работы и устройства коэрцитиметра КИФМ-1 .....	13
5 Лабораторная работа № 5. Изучение конструкции, принципа работы и возможности применения магнитопорошковых дефектоскопов .....	15
6 Лабораторная работа № 6. Исследование выявляемости дефектов в изделиях из ферромагнитных материалов магнитопорошковым методом.....	18
7 Лабораторная работа № 7. Написание технологической карты по магнитопорошковому контролю.....	21
8 Лабораторная работа № 8. Исследование магнитографического метода контроля качества сварных соединений .....	27
9 Лабораторная работа № 9. Исследование эффективности различных способов магнитографического контроля сварных соединений.....	30
10 Лабораторная работа № 10. Измерение глубины дефекта электропотенциальным методом .....	33
11 Лабораторная работа № 11. Изучение устройства и принципа работы магнитных толщиномеров. Проведение исследований по определению толщины объектов .....	35
12 Лабораторная работа № 12. Изучение устройства и принципа работы вихретоковых толщиномеров. ....	38
13 Лабораторная работа № 13. Изучение устройства и принципа действия вихретоковых дефектоскопов. Проведение исследований по выявлению дефектов в объектах .....	41
14 Лабораторная работа № 14. Исследование выявляемости дефектов в реальных изделиях электромагнитными методами .....	42
15 Лабораторная работа № 15. Исследование магнитографического метода контроля с намагничиванием объекта через уложенный на его поверхность магнитоноситель .....	44
16 Лабораторная работа № 16. Составление заключения о результатах контроля .....	46
Список литературы .....	48

# 1 Лабораторная работа № 1. Определение кривой намагничивания ферромагнитного материала

**Цель работы:** усвоить методику определения основной кривой намагничивания вещества.

## 1.1 Основные теоретические положения

Основная кривая намагничивания (индукции) – кривая, представляющая собой геометрическое место вершин симметричных петель магнитного гистерезиса, которые получаются при последовательно возрастающих максимальных значениях напряженности магнитного поля. Каждая точка основной кривой намагничивания получается после многократного коммутирования намагничивающего тока для получения установившегося цикла. Коммутационная (основная) кривая намагничивания является исходной для получения таких магнитных характеристик ферромагнитных материалов, как начальная, дифференциальная, максимальная магнитная проницаемость и др.

Методика выполнения измерений при определении основной кривой намагничивания материалов с коэрцитивной силой до 4 кА/м регламентируется ГОСТ 8.377–80. Измерения выполняют на образцах кольцеобразной формы с отношением наружного к внутреннему диаметру не более 1,3. На кольцевые образцы должны быть нанесены две обмотки изолированным медным проводом – измерительная и намагничивающая. Обмотки друг от друга и образец от обмоток изолируют лентой из изоляционного материала (лакоткань и т. д.). Отводимые от обмотки провода должны быть перевиты. Число витков измерительной обмотки выбирают в соответствии с чувствительностью баллистического гальванометра или веберметра таким, чтобы при измерении минимальной магнитной индукции на основной кривой намагничивания относительная погрешность не превышала  $\pm 0,5\%$ . Намагничивающая обмотка должна быть расположена равномерно по длине окружности образца поверх измерительной обмотки. Число витков  $W_1$  намагничивающей обмотки вычисляют по формуле

$$W_1 \geq \frac{\pi H (D_H + D_B)}{2I}, \quad (1.1)$$

где  $H$  – максимальное значение напряженности поля, которое требуется создать в образце, А/м;

$I$  – максимальный ток, не вызывающий нагревание обмотки и, как следствие, нагревание образца.

Кольцевые образцы размагничивают перед экспериментами посредством перемагничивания их в переменном поле с амплитудой, равномерно убывающей

от определенного максимального значения до нуля. Максимальная амплитуда размагничивающего поля должна превышать коэрцитивную силу материала образца не менее чем в 50 раз для сплавов, указанных в ГОСТ 10160–75, и не менее чем в 10 раз для остальных материалов. Конечная амплитуда, при которой разрывается цепь размагничивающего тока, должна быть не более 0,1 А/м для сплавов, указанных в ГОСТ 10160–75, и не более  $0,005H_c$  для остальных материалов.

Основную кривую намагничивания определяют, начиная с наименьшего требуемого значения напряженности поля, постепенно переходя к большим значениям. Не допускается возврат от больших значений к меньшим [1, 2].

## **1.2 Приборы и оборудование**

1 Микровольтампервеберметр типа Ф18 с дополнительным пультом управления.

2 Кольцевые образцы из низкоуглеродистой стали.

3 Обмоточный медный провод: один диаметром 0,5 мм, длиной 7 м, второй диаметром 0,2 мм, длиной 1,5 м.

4 Изоляционная лента или лакоткань.

5 Штангенциркуль.

6 Кусачки.

7 Шкурка для зачистки проводов.

8 Челнок.

## **1.3 Порядок выполнения работы**

### **1.3.1 Подготовка образцов.**

Подготовку образцов произвести следующим образом:

– измерить параметры стального кольцевого образца без обмоток и изоляционного покрытия:  $h$  – высоту образца,  $D_n$  – наружный диаметр,  $D_v$  – внутренний диаметр;

– нанести на поверхность кольцевого образца тонкий слой изоляции. Повторить замеры параметров согласно предыдущему пункту;

– нанести на поверхность образца с нанесенным слоем изоляции два витка ( $W_2$ ) изолированного медного провода  $d = 0,2$  мм. Отводимые от образца провода перевить, концы проводов зачистить;

– витки измерительной обмотки, нанесенные на образец, покрыть изоляцией;

– определить требуемое число витков намагничивающей обмотки  $W_1$  по формуле (1.1) для случая  $H = 50$  А/см,  $I = 6$  А.

Нанести равномерно на всю поверхность кольцевого образца намагничивающую обмотку. Отводимые от образца провода перевить, концы проводов очистить от лака.

### 1.3.2 Выполнение измерений.

Измерения провести в следующем порядке.

1 Собрать установку для измерения статических магнитных характеристик материалов (см. принципиальную электрическую схему на пульте управления).

2 Подключить измерительную обмотку образца к соответствующим клеммам микровольтампервеберметра типа Ф18. Включить прибор. Перевести переключатель прибора на нужный предел измерения магнитного потока. Проверить установку нуля прибора, для этого включить тумблер  $S_3$ , перевести соответствующий тумблер прибора в положение «нуль». В случае, если стрелка прибора начнет «сползать», включить тумблер «сухой элемент» и с помощью реостатов «грубо» и «точно» остановить стрелку.

*Замечание.* Если контактные концы измерительной катушки плохо зачищены или имеется обрыв провода, то стрелка прибора будет занимать крайнее положение.

3 При выключенном тумблере  $S_3$  произвести 10–12 полных коммутационных переключений минимального тока (0,5 А) в намагничивающей обмотке тумблером  $S_2$ , включить тумблер  $S_3$ , тумблер на панели прибора перевести в положение «измерение». Переключателем  $S_2$  изменить направление протекания тока на противоположное и произвести отсчет по шкале прибора (стрелка прибора должна отклоняться вправо).

4 Увеличить ток в намагничивающей катушке на 0,5 А, повторить измерения.

*Замечание.* Для расчетов необходимо использовать величину намагничивающего тока по показаниям амперметра в момент измерения магнитного потока.

5 Напряженность поля, создаваемого намагничивающей катушкой, определить по формуле

$$H_1 = \frac{w_1 I}{2\pi R_{cp}}, \quad (1.1)$$

где  $w_1$  – число витков первичной (намагничивающей) катушки;

$I$  – ток в намагничивающей катушке, А;

$R_{cp}$  – средний радиус кольцевого образца,  $R_{cp} = \frac{D_n + D_e}{4}$ .

6 Рассчитать индукцию  $B$ , Тл, в образце при соответствующих значениях тока:

$$B = \frac{\Psi}{2w_2 S},$$

где  $\psi$  – показания прибора;

$w_2$  – число витков измерительной катушки;

$S$  – сечение, охватываемое витками измерительной катушки.

7 Построить основную кривую намагничивания вещества.

### 1.4 Содержание отчета

1 Цель работы.

2 Эскиз образца.

3 Основные расчетные формулы и результаты.

4 График зависимости  $B = f(H)$ .

5 Выводы.

### Контрольные вопросы

1 Дайте определение кривой первоначального намагничивания, безгистерезисной кривой, основной кривой намагничивания.

2 В чем отличие кривых намагничивания вещества и тела?

3 Напишите основные выражения, которые характеризуют магнитное состояние вещества.

4 Что такое  $B_r$ ,  $H_c$ ,  $M_s$ ,  $\mu_a$ ,  $\mu_0$ ,  $\mu_r$ ,  $\mathfrak{N}_a$ ,  $\mu_d$ ,  $\mu_{обр}$ ?

5 Как размагничивают кольцевые образцы перед началом эксперимента?

6 Почему кривая первоначального намагничивания не является технической характеристикой материала?

7 Напишите формулу для расчета напряженности поля, создаваемого в образцах замкнутой формы при равномерном распределении обмотки по периметру образца; то же для бесконечно длинного соленоида.

8 Почему образцы для исследований должны иметь  $R_n/R_v \leq 1,3$ ?

9 Назовите характерные участки кривой первоначального намагничивания. Какие процессы протекают в ферромагнетике на этих участках?

10 Что такое домены?

11 Какие элементы и вещества относятся к ферромагнетикам?

12 Назовите единицы измерения  $B$ ,  $\mu_a$ ,  $\mu_0$ ,  $\mu_d$ ,  $\Phi$ ,  $H$ ,  $M$ .

13 Начертите график зависимости,  $\mu_a = f(H)$ .

14 Среди написанных выражений укажите верные:

а)  $Dж = B \cdot c$ ; б)  $Dж = Ом \cdot c$ ; в)  $Dж = B \cdot A \cdot c$ ; г)  $\Gamma_n = B \cdot c$ ; д)  $\Gamma_n = Ом \cdot c$ ;  
е)  $\Gamma_n = B \cdot A \cdot c$ ; ж)  $Bб = B \cdot c$ ; з)  $Bб = Ом \cdot c$ ; и)  $Bб = B \cdot A \cdot c$ .

15 Покажите, что  $\frac{[H]}{[A] \cdot [M]} = \frac{[Bб]}{[M]^2} = [Тл]$ .

16 Почему формула для определения магнитной индукции в кольцевом образце содержит в знаменателе 2?

## 2 Лабораторная работа № 2. Размагничивание объектов контроля. Определение качества размагничивания

**Цель работы:** приобрести навыки оценки качества размагничивания ферромагнитных объектов.

### 2.1 Основные теоретические положения

Детали, прошедшие магнитный контроль и признанные годными по результатам этого контроля, должны быть подвергнуты размагничиванию.

Применяют в основном два способа размагничивания: нагревание детали выше точки Кюри; воздействие на объект переменным полем с постепенно убывающей до нуля амплитудой. Лучшие результаты размагничивания получаются в случаях, когда направление размагничивающего поля совпадает с направлением поля, которым детали были намагничены. В зависимости от формы и размеров деталей такое размагничивание может производиться по-разному:

- перемещением детали через соленоид, питаемый переменным током, и удалением ее на расстояние, на котором поле соленоида ничтожно мало (обычно на расстояние, равное 3–5 диаметрам (или диагоналям) соленоида);
- уменьшением до нуля переменного тока в катушке соленоида с помещенной в него деталью (длина соленоида должна быть при этом больше длины детали);
- удалением детали из электромагнита, питаемого переменным током;
- уменьшением до нуля переменного тока в электромагните, в межполюсном пространстве которого находится размагничиваемая деталь или ее участок;
- пропуском по детали либо по стержню, вставленному в полость детали, переменного тока, амплитуда которого изменяется от максимального значения до нуля.

Деталь может быть размагничена и за один цикл, если ее намагнитить продольным постоянным магнитным полем соленоида или электромагнита до насыщения, а затем постоянным полем противоположного направления, величина которого подобрана соответствующим образом.

Качественное размагничивание обеспечивается в том случае, если начальная напряженность размагничивающего поля во всех точках объема детали, подлежащей размагничиванию, будет более пяти значений коэрцитивной силы материала (это обычно выполняется, если амплитудное значение начальной напряженности поля не меньше напряженности поля, которым деталь была намагничена). Процесс размагничивания должен включать не менее 40 периодов размагничивающего поля, равномерно убывающих по амплитуде.



Чем больше частота размагничивающего поля, магнитная проницаемость  $\mu$  материала объекта и его удельная электрическая проводимость  $\sigma$ , тем на меньшую глубину проникает размагничивающее поле. Так, если в поле частотой 50 Гц можно уверенно размагнитить образец толщиной 2 мм с коэрцитивной силой 10...15 А/см, то в поле частотой 1 Гц – 30 мм, выполненный из того же материала.

При размагничивании детали путем ее перемещения через соленоид, питаемый переменным током, максимально допустимая скорость продвижения детали через соленоид определяется по следующей формуле:

$$V_{\max} = \frac{H_{\max} (1-c) f}{\left( \frac{dH}{dx} \right)_{\max}},$$

где  $H_{\max}$  – максимальная напряженность магнитного поля соленоида в зоне прохождения размагничиваемых деталей;

$f$  – частота размагничивающего тока;

$\left( \frac{dH}{dx} \right)_{\max}$  – максимальное значение градиента магнитного поля в

направлении, параллельном оси соленоида в зоне прохождения размагничиваемых деталей;

$c$  – коэффициент, определяющий максимальное допустимое уменьшение амплитуды напряженности магнитного поля между последующим  $H_2$  и предыдущим  $H_1$  периодами,  $c = H_2/H_1$ .

Обычно достаточно, если  $c = 0,95$ .

Оценку качества размагничивания объекта производят путем определения показателя размагниченности  $K$ , выполняя измерения при вертикальном или горизонтальном расположении объекта:

$$K = C_B \frac{\alpha_2 + \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1},$$

где  $C_B$  – поправочный коэффициент, если деталь в процессе измерений располагалась вертикально;

$\alpha_1$  – отклонение стрелки измерителя напряженности поля при первом измерении, когда преобразователь располагается у конца детали;

$\alpha_2$  – то же после поворота детали вместе с преобразователем на  $180^\circ$  вокруг малой оси детали.

В большинстве случаев деталь считают размагниченной, если  $K \leq 3$ .

Если деталь сложно расположить вертикально, то ее располагают горизонтально, ориентируя с севера на юг, показатель размагниченности определяют по формуле, аналогичной приведенной выше, в которой вместо поправочного коэффициента  $C_B$  используется  $C_L$ .

Оценку качества размагничивания крупногабаритных объектов определяют путем измерения тангенциальной составляющей напряженности поля у поверхности объекта. Считают, что объект размагничен, если остаточная напряженность поля не превышает значения, указанного в техническом условии на объект.

## ***2.2 Приборы и оборудование***

1 Измеритель магнитной индукции ИОН-3, миллитесламетр ТП2-2У, измеритель магнитных полей ИМП-1.

2 Неферромагнитная штанга.

3 Соленоид.

4 Источник питания В-24М, ВСА-5К или IRPS 60 В / 20 А.

## ***2.3 Порядок выполнения работы***

1 Выполнить задание (по указанию преподавателя) по определению характера изменения напряженности по сечению детали цилиндрического или прямоугольного сечения. Сделать выводы.

2 Определить показатель размагниченности ферромагнитной штанги.

3 Если  $K > 3$ , то произвести размагничивание штанги, предварительно определив максимально допустимую скорость перемещения детали в соленоиде, и повторить измерения.

## ***2.4 Содержание отчета***

1 Цель работы.

2 Описание основных способов размагничивания.

3 Описание методики исследований.

4 Оценка качества размагничивания объекта.

5 Расчет максимально допустимой скорости перемещения детали в соленоиде при ее размагничивании.

6 Выводы.

## ***Контрольные вопросы***

1 В каких случаях недопустима повышенная остаточная намагниченность объектов?

2 Назовите основные способы размагничивания деталей.

3 В чем заключаются трудности размагничивания массивных деталей?

4 От чего зависит максимально допустимая скорость перемещения детали при ее размагничивании с помощью соленоида, запитанного переменным током?

5 Что такое показатель размагниченности  $K$ ?

6 Опишите методику определения показателя размагниченности.

7 Каков предельно допустимый уровень воздействия постоянных магнитных полей на человека?

### **3 Лабораторная работа № 3. Градуировка ленточного локального магнитоносителя. Исследование топографии тангенциальной составляющей поля в зоне сварного соединения**

*Цель работы:* ознакомиться с физическими основами исследования топографии магнитного поля с помощью ленточных локальных магнитоносителей; приобрести практические навыки измерений напряженности магнитного поля с использованием промежуточного носителя информации.

#### **3.1 Основные теоретические положения**

При магнитографическом контроле интерес представляет распределение напряженности магнитного поля непосредственно у поверхности сварного шва. В этом случае применение известных методов магнитных измерений весьма затруднительно из-за больших размеров преобразователей. Кроме того, известные магнитные преобразователи трудно выставить у криволинейной поверхности шва, чтобы измерить соответствующую составляющую напряженности магнитного поля. Измерение тангенциальной составляющей напряженности поля непосредственно у поверхности шва в этом случае рационально производить с помощью ленточных локальных магнитоносителей (ЛЛМ). ЛЛМ представляет собой полоску магнитной ленты шириной 1,5...2 мм. Важной особенностью ЛЛМ является то, что его магнитный слой имеет толщину 5...25 мкм, т. е. представляет собой исключительно малую массу ферромагнетика по сравнению объектом исследований. Поэтому можно считать, что ЛЛМ не может существенно исказить измеряемое им магнитное поле. Кроме того, магнитный слой ЛЛМ, плотно прижатый к поверхности образца, в силу непрерывности тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля на поверхности раздела двух сред с различной магнитной проницаемостью, позволяет регистрировать тангенциальную составляющую напряженности поля внутри изделия. Специальные исследования показали, что при использовании намагничивающих устройств, применяющихся в магнитографической дефектоскопии, тангенциальные составляющие напряженности магнитных полей на обеих сторонах образца приблизительно одинаковы. Это свидетельствует о том, что индукция по толщине образца приблизительно одинаковая. Поэтому, если измерить тангенциальную составляющую напряженности поля на поверхности образца с одной его стороны, можно по кривой намагничивания материала определить значение индукции в соответствующем сечении изделия.

### ***3.2 Приборы и оборудование***

- 1 Дефектоскоп магнитографический МДУ-2У.
- 2 Микровольтампервеберметр типа Ф-18.
- 3 Бесконечно длинный соленоид.
- 4 Магнитная лента типа И4701-35, И4732-35.
- 5 Немагнитная штанга.
- 6 Штангенциркуль.
- 7 Изолированный медный провод  $d = 0,2 \dots 0,5$  мм.
- 8 Источник питания постоянного тока ВСА-5К, IPS60V/20A.
- 9 Намагничивающее устройство.
- 10 Изоляционная лента.
- 11 Сварной образец.
- 12 Металлическая линейка.
- 13 Электрическая катушка для размагничивания магнитной ленты.

### ***3.3 Порядок выполнения работы***

- 1 Изготовить ЛЛМ шириной 1,5 мм и длиной 150 мм.
- 2 Проградуировать ЛЛМ в однородном магнитном поле соленоида.
- 3 Используя градуировочную кривую, исследовать распределение тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля в зоне сварного соединения.

### ***3.4 Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Описание методики градуировки ЛЛМ.
- 3 Градуировочная кривая для ЛЛМ.
- 4 Описание методики исследования распределения тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля в зоне сварного соединения.
- 5 Результаты исследований.
- 6 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Почему ЛЛМ можно использовать для исследования топографии магнитного поля на поверхности выпуклости шва сварного соединения?
- 2 Расскажите методику градуировки ЛЛМ.
- 3 Влияет ли на вид градуировочной кривой ширина ЛЛМ?
- 4 Напишите формулу для определения напряженности магнитного поля внутри соленоида с помощью микровольтампервеберметра.
- 5 Какой соленоид называется бесконечно длинным?
- 6 Почему величину магнитного потока в соленоиде можно определить только при включении или выключении тока в обмотке соленоида?

7 Расскажите методику исследования распределения напряженности магнитного поля в зоне выпуклости шва сварного соединения.

8 Поясните характер экспериментальных зависимостей.

## **4 Лабораторная работа № 4. Изучение принципа работы и устройства коэрцитиметра КИФМ-1**

**Цель работы:** изучить устройство и принцип работы коэрцитиметра КИФМ-1; приобрести навыки работы с прибором.

### **4.1 Основные теоретические положения**

Коэрцитиметр КИФМ-1 предназначен для измерения коэрцитивной силы материала с целью контроля качества термической и химико-термической обработки ферромагнитных стальных и чугуновых изделий, а также механических свойств стального проката при наличии корреляционной связи между контролируемыми параметрами и коэрцитивной силой. Эта связь определяется индивидуально потребителями для каждого объекта контроля.

Коэрцитивная сила по индукции – это величина, равная напряженности магнитного поля, необходимого для изменения магнитной индукции от остаточной до нуля. Коэрцитиметрический метод контроля основан на зависимости формы семейства петель гистерезиса, в частности коэрцитивной силы, как от химического состава материала, так и от макро- и микронеоднородностей, механических напряжений, размеров зерна и т. д. Эти факторы, одновременно влияя на магнитные характеристики материала, изменяют их часто в противоположных направлениях. Поэтому, как правило, не удается разделять влияние каждого фактора и только в некоторых случаях можно исследовать влияние одного или нескольких главных факторов на форму петли магнитного гистерезиса.

К сталям, имеющим хорошую корреляционную связь между коэрцитивной силой и твердостью, относятся углеродистые стали после закалки на мартенсит и ряд легированных сталей (20Х13, 30Х13, 12ХР3А, 18Х2Р4РА, 45Х, 65Г и т. д.).

Магнитными методами контролируют твердость, глубину поверхностно упрочненных закалкой или цементацией слоев. Определяется некоторое усредненное значение коэрцитивной силы в поверхностном слое и сердцевине детали.

Контроль механических свойств и качества термообработки по значению коэрцитивной силы осуществляется коэрцитиметрами по величине напряженности магнитного поля, необходимой для размагничивания участка детали. Для осуществления контроля намагничивают участок детали, пропуская постоянный или пульсирующий ток по намагничивающей обмотке электромагнита. После этого по той же обмотке пропускают постоянный ток

противоположного направления. Состояние полного размагничивания определяется с помощью измерительного прибора, подключенного к феррозонду. В этом состоянии по величине размагничивающего тока судят о коэрцитивной силе контролируемого участка детали. Для калибровки прибора обязательно применение образцов с известными значениями механических параметров. Применение коэрцитиметра для контроля закаленных сталей с большой твердостью достаточно эффективно. При контроле магнитомягких материалов погрешность может быть значительной. Основными мешающими факторами при контроле механических характеристик по коэрцитивной силе являются, во-первых, изменение зазора между магнитопроводом и поверхностью изделия, а во-вторых, изменение скорости уменьшения намагничивающего тока.

Зазор между полюсами электромагнита и поверхностью детали вносит наибольшую случайную погрешность. Существует несколько путей уменьшения этой погрешности. Наиболее простой – введение начального зазора, например, с помощью немагнитной прокладки. Недостаток этого способа состоит в том, что одновременно падает чувствительность метода измерения. Поэтому начальный зазор вводят тогда, когда требуется производить разбраковку деталей с большим допуском погрешности.

Подготовка прибора к работе:

- подключить преобразователь к блоку измерения через разъем, расположенный на задней стенке корпуса прибора;
- проверить установку механического нуля миллиамперметра и микроамперметра. Если стрелки приборов не стоят на нулевых отметках, их следует подвести к ним при помощи арретиров;
- установить ручки переменных резисторов «грубо» и «плавно» в левое крайнее положение;
- переключатель «пределы измерения» установить в положение 3, а переключатель «чувствительность» – в положение 1;
- подключить с помощью сетевого шнура прибор к сети 220 или 360 В.

## **4.2 Приборы и оборудование**

- 1 Коэрцитиметр КИФМ-1.
- 2 Набор образцов.

## **4.3 Порядок выполнения работы**

1 Изучить методические рекомендации и инструкцию по эксплуатации коэрцитиметра КИФМ-1.

2 Используя контрольные образцы КР-1 и КР-2, построить градуировочную прямую.

3 Проконтролировать образцы для исследований и построить график зависимости  $H_c = f(T_{omn.})$ . Совместить его с графиком  $HRC = f(T_{omn.})$ . Сделать выводы.

*Замечание:* Твердость указана в единицах HRC материала образцов.

№ 1 – 26 HRC, № 3 – 28 HRC, № 4 – 32 HRC, № 5 – 34 HRC, № 6 – 32 HRC, № 7 – 33 HRC, № 8 – 28 HRC, № 9 – 22 HRC.

#### **4.4 Содержание отчета**

- 1 Цель работы.
- 2 Градуировочная прямая.
- 3 Результаты экспериментальных исследований.
- 4 Выводы.

#### **Контрольные вопросы**

- 1 Дайте определение коэрцитивной силы по намагниченности и индукции.
- 2 Каково назначение коэрцитиметра КИФМ-1?
- 3 Для контроля каких материалов может быть использован прибор?
- 4 Назовите марки сталей, имеющих высокую корреляционную связь между  $H_c$  и HRC.
- 5 Каковы минимальные размеры объекта контроля?
- 6 Каковы основные мешающие факторы при контроле механических характеристик по коэрцитивной силе?
- 7 Как устроены преобразователи коэрцитиметра КИФМ-1?
- 8 Можно ли с помощью преобразователей коэрцитиметра КИФМ-1 проконтролировать твердость материала фасонных изделий?
- 9 Изобразите конструкцию сердечника преобразователя, используемого в коэрцитиметре.

### **5 Лабораторная работа № 5. Изучение конструкции, принципа работы и возможности применения магнитопорошковых дефектоскопов**

**Цель работы:** изучить устройство и приобрести навыки работы с дефектоскопами для магнитопорошкового контроля.

#### **5.1 Основные теоретические положения**

Дефектоскоп МД-М предназначен для проведения неразрушающего контроля изделий из ферромагнитных материалов с относительной магнитной проницаемостью не менее 40. Используется для контроля в автомобильной, авиационной, железнодорожной и других видах техники магнитопорошковым методом с целью выявления поверхностных и подповерхностных дефектов в их материале. Он относится к специализированным средствам контроля и рассчитан для работы в цеховых, лабораторных или полевых условиях [1–3].

Дефектоскоп позволяет контролировать различные по форме и размерам изделия, их сварные швы, наружные поверхности отверстий и другие зоны путем намагничивания отдельных участков или изделия в целом. Контроль осуществляется с помощью набора намагничивающих устройств, питаемых переменным или импульсным токами. Дефектоскоп обеспечивает при проведении магнитопорошкового метода возможность использования двух способов контроля изделий: на остаточной намагниченности и в приложенном поле, позволяет осуществлять циркулярное и продольное намагничивание.

Дефектоскоп обеспечивает качественное автоматическое размагничивание объектов контроля в целом или по участкам с применением прилагаемого комплекта устройств к дефектоскопу. Конструктивно он выполнен из трех функционально законченных самостоятельных модулей (дефектоскопов):

- 1) модуль импульсного тока МД-И формирует импульсное магнитное поле в изделии при намагничивании с помощью кабеля или электроконтактов;
- 2) модуль соленоида МД-С позволяет проводить намагничивание и размагничивание изделий переменным магнитным полем соленоида;
- 3) модуль электромагнита МД-Э создает в изделии постоянное магнитное поле при намагничивании и убывающее магнитное поле меняющейся полярности при размагничивании с применением электромагнита.

### **Технические характеристики.**

*Модуль импульсного тока МД-И.*

Регулировка тока:

- в намагничивающем кабеле – от 100 до 4500 А;
- через электроконтакты – от 100 до 1200 А.

Длительность импульса импульсного тока – 1,4...1,8 мс.

Намагничивание изделий осуществляется:

- одиночным импульсом тока;
- повторяющимися импульсами тока одной полярности с частотой повторения 0,7...1,7 Гц.

Частота автоматического повторения разнополярных убывающих по величине импульсов тока от заданного значения до нуля в режиме размагничивания – 1 Гц.

Длительность автоматического процесса размагничивания по заданной программе (регулируется) – 30, 60, 120 с.

*Модуль электромагнита МД-Э.*

Напряженность постоянного магнитного поля при токе через обмотку 5 А в центре воздушного зазора при расстоянии 100 мм между центрами полюсных наконечников электромагнитов – не менее 230 А/см.

Регулируемая сила тока в обмотке электромагнита – от 0,1 до 5 А.

Длительность автоматического процесса размагничивания разнополярными импульсами, убывающими по амплитуде до нуля, по встроенной программе – 30, 60, 120 с.

*Модуль соленоида МД-С.*



Максимальная напряженность магнитного поля в центре соленоида при питании его от модуля – не менее 390 А/см.

Напряженность магнитного поля в центре соленоида при питании его непосредственно от сети ( $220 \pm 22$ ) В – не менее 700 А/см.

Длительность тока в соленоиде при контроле способом остаточной намагниченности (СОН) (регулируется) – от 1-го до 20-го периодов.

Режим «ток – пауза» (регулируется):

– длительность тока – от 1 до 10 с;

– длительность паузы – от 1 до 10 с.

Длительность автоматического процесса размагничивания по заданной программе (регулируется) – 30, 60, 120 с.

Максимальная величина тока в обмотке соленоида, подключенного к модулю, – не более 2,5 А.

## ***5.2 Приборы и оборудование***

1 Дефектоскоп магнитопорошковый переносной модульный МД-М, МД-50П, МД-01ПК.

2 Устройства для полюсного намагничивания.

3 Устройство для циркулярного намагничивания.

## ***5.3 Порядок выполнения работы***

1 Изучить инструкции по эксплуатации приборов МД-М, МД-50П, МД-01ПК.

2 Ознакомиться с техническими характеристиками приборов.

3 Ознакомиться с блок-схемами приборов МД-М и МД-50П.

4 Ознакомиться с органами управления приборов МД-М и МД-50П.

5 Ознакомиться с панелями управления приборов МД-М и МД-50П.

6 Ознакомиться с конструктивными особенностями намагничивающих устройств дефектоскопа на основе постоянных магнитов МД-01ПК.

7 Ознакомиться с порядком выполнения работ с использованием дефектоскопов и вопросами техники безопасности.

8 Произвести намагничивание и размагничивание объектов с помощью различных устройств дефектоскопов.

## ***5.4 Содержание отчета***

1 Цель работы.

2 Краткое описание назначения и технических характеристик приборов.

3 Описание структурных составляющих приборов и панелей управления приборов.

4 Описание последовательности технологических операций, выполняемых с использованием вспомогательных технических средств и пультов управления

дефектоскопов, при полюсном и циркулярном намагничивании и размагничивании объектов.

5 Краткое описание мер безопасности при выполнении контроля с использованием приборов МД-М, МД-50П, МД-01ПК.

### ***Контрольные вопросы***

1 Каково назначение приборов МД-М, МД-50П, МД-01ПК?

2 Назовите основные технические характеристики приборов.

3 Каковы структурные составляющие приборов МД-М, МД-50П?

4 Выполните полюсное и циркулярное намагничивание и размагничивание объектов.

5 Назовите основные меры безопасности при использовании приборов МД-М, МД-50П, МД-01ПК.

## **6 Лабораторная работа № 6. Исследование выявляемости дефектов в изделиях из ферромагнитных материалов магнитопорошковым методом**

***Цель работы:*** усвоить методику контроля ферромагнитных изделий магнитопорошковым методом.

### ***6.1 Основные теоретические положения***

Магнитопорошковый метод основан на обнаружении магнитных полей рассеяния над дефектами с помощью ферромагнитных частиц. Магнитопорошковой дефектоскопии подвергаются объекты исключительно из ферромагнитных материалов: некоторые стали, никель, кобальт, гадолиний и ряд сплавов. Контроль методом магнитного порошка можно производить способом приложенного поля и способом остаточной намагниченности. Для обнаружения дефектов применяют сухой порошок, магнитную суспензию или быстро высыхающую магнитогумированную пасту.

В качестве порошка могут быть использованы чистая, без примесей, окалина, обожженный крокус, магнетит, полученный химическим путем, стружка, возникающая при шлифовании стальных изделий.

Суспензия обычно готовится из перечисленных порошков и трансформаторного масла. Для снижения вязкости в масло добавляют керосин. Применяют также водные суспензии.

### **Пример состава магнитной суспензии, г/л.**

Черный магнитный порошок (ТУ 6-14-1009–74 ) .....	20–25.
Хромпик калиевый $K_2Cr_2O_7$ .....	$4 \pm 1$ .
Сода кальцинированная $Na_2CO_3$ .....	$10 \pm 1$ .
Эмульгатор ОП-7 или ОП-10 .....	$5 \pm 1$ .
Вода водопроводная .....	1 л.

При контроле частицы магнитного порошка перемещаются по поверхности детали и скапливаются в виде валиков над дефектами. Форма скопления порошка соответствует очертаниям выявляемых дефектов.

Чувствительность магнитопорошкового метода контроля зависит от размера частиц порошка, его магнитных свойств, напряженности приложенного намагничивающего поля, формы и ориентации дефектов, состояния и формы поверхности контролируемого изделия.

Магнитопорошковым методом могут быть обнаружены дефекты раскрытием 0,001 мм и больше. Хорошо выявляются поверхностные дефекты, имеющие резкие очертания. Могут также обнаруживаться сравнительно крупные дефекты на глубине до 6 мм. Наиболее четко выявляются несплошности, ориентированные перпендикулярно намагничивающему полю.

В практике магнитопорошкового контроля хорошо зарекомендовали себя дефектоскопы МД-50П, МД-01ПК, МД-М и др.

## ***6.2 Приборы и оборудование***

- 1 Дефектоскопы магнитопорошковые МД-50П, МД-01ПК, МД-М.
- 2 Порошок магнитный черный ТУ 6-14-1009–74, концентрат магнитного порошка, порошок буровато-красный, магнитно-люминесцентный порошок.
- 3 Набор образцов.
- 4 Груша резиновая.
- 5 Средство для обезжиривания FAIRI.

## ***6.3 Порядок выполнения работы***

Изучить ГОСТ 21105–87; разработать методику магнитопорошкового контроля конкретных объектов и произвести их контроль.

При разработке методики контроля обосновываются и подробно описываются все операции, выполняемые при контроле заданного объекта, в следующей последовательности.

- 1 Определить  $\mu_{r \max}$  материала контролируемого изделия. Сделать вывод относительно возможности разработки методики контроля согласно ГОСТ 21105–87.
- 2 Определить условный уровень чувствительности.
- 3 Выбрать способ магнитопорошкового контроля.
- 4 Выбрать вид, способ и схему намагничивания.
- 5 Произвести подготовку к контролю.
- 6 Определить род тока.
- 7 Определить режим намагничивания.
- 8 Выбрать тип дефектоскопа.
- 9 Указать требуемую шероховатость поверхности объекта контроля.
- 10 Выбрать цвет магнитного порошка.
- 11 Выбрать дисперсионную среду; приготовить магнитную суспензию на основе концентрата магнитного порошка.

12 Выбрать способ нанесения магнитного порошка, суспензии или магнитогумированной пасты.

13 Произвести осмотр детали по результатам контроля.

14 Определить типичные признаки дефекта по картине осаждения порошка.

15 Произвести удаление порошка с поверхности объекта.

16 Выбрать способ размагничивания объекта контроля и произвести размагничивание объекта.

#### **6.4 Содержание отчета**

1 Цель работы.

2 Основные положения методики магнитопорошкового контроля конкретного объекта.

3 Результаты контроля объектов (фотографии).

4 Выводы.

#### **Контрольные вопросы**

1 В каком случае производят контроль изделий магнитопорошковым методом на остаточной намагниченности? В приложенном поле?

2 Почему частицы магнитного порошка скапливаются над дефектами?

3 Каковы основные виды намагничивания при МПД?

4 Какие факторы влияют на чувствительность контроля магнитопорошковым методом?

5 Как размагнитить контролируемый объект? Для чего надо размагничивать изделия после контроля?

6 Какие вещества входят в состав магнитной суспензии?

7 В чем сущность магнитопорошкового метода контроля?

8 В чем сущность «сухого» и «мокрого» методов?

9 Какова чувствительность магнитопорошкового метода контроля?

10 Как проконтролировать качество магнитной суспензии?

11 Что такое «мнимые» дефекты?

12 Как обнаружить трещину, расположенную на дне риски?

13 Как наносят магнитный порошок, магнитную суспензию на объект контроля?

14 Как осматривают детали при магнитопорошковом методе контроля?

15 Как контролируют сварные соединения и литые изделия?

16 Как контролируют детали сложной формы?

17 Каковы особенности продольного (полюсного) намагничивания?

18 Как определяют режим намагничивания при контроле способом приложенного поля? Способом остаточной намагниченности?

19 Как определяют режим намагничивания при комбинированном виде намагничивания?

20 Как экспериментально определяют  $H_{mp}$  при полюсном намагничивании?

21 По каким формулам определяют требуемое значение тока при циркулярном намагничивании?

22 Для чего применяют магнитные пасты? Магнитогумированные пасты?

23 Как контролируют детали с темной поверхностью?

24 Каковы основные требования техники безопасности при магнитопорошковом контроле.

## **7 Лабораторная работа № 7. Написание технологической карты по магнитопорошковому контролю**

**Цель работы:** приобрести практические навыки написания технологической карты по магнитопорошковому контролю.

### **7.1 Краткое руководство по разработке технологической карты магнитопорошкового контроля**

При разработке технологической карты следует пользоваться ГОСТ 21105–87 и отраслевыми нормативными документами. ГОСТ 21105–87 распространяется на магнитопорошковый метод контроля объектов из ферромагнитных материалов с относительной магнитной проницаемостью не менее 40. При написании технологической карты нужно руководствоваться следующим.

1 Эскиз или рисунок контролируемого изделия должен давать общее представление об объекте контроля без излишней детализации.

2 Подготовка к контролю должна включать:

- подготовку объекта к операциям контроля;
- проверку работоспособности дефектоскопов;
- проверку качества дефектоскопических материалов.

При подготовке объекта с контролируемой поверхностью необходимо удалить продукты коррозии, остатки окалины, масляные *загрязнения* и при необходимости следы лакокрасочных покрытий.

Проверку работоспособности дефектоскопов и качества дефектоскопических материалов осуществляют при помощи стандартных образцов предприятий, специально изготовленных или отобранных из числа забракованных изделий с дефектами, размеры которых соответствуют принятому уровню чувствительности.

3 Условный уровень чувствительности определяется в зависимости от минимального раскрытия  $\Delta$  недопустимого дефекта:

- А, если  $\Delta = 2,0$  мкм;
- Б, если  $\Delta = 10,0$  мкм;
- В, если  $\Delta = 25$  мкм.

Если метод контроля позволяет, например, обнаруживать трещины раскрытием 5 мкм, то достигим уровень чувствительности Б, а А – нет.

4 *Выбор способа магнитопорошкового контроля.* Способ остаточной намагниченности (СОН) более удобен и прост в осуществлении. Поэтому в равных условиях ему следует отдавать предпочтение.

СОН применяют при одновременном выполнении следующих четырех условий:

1)  $H_c > 1000$  А/м;

2)  $B_r \geq 0,5$  Тл;

3) если достигается требуемый уровень чувствительности (последнее определяется по графикам на рисунке 7.1; с этой целью из точек  $H_c$  и  $B_r$  соответствующих осей координат восстанавливают перпендикуляры до их пересечения; если точка пересечения перпендикуляров находится на кривой или выше кривой соответствующего уровня чувствительности, то требуемый условный уровень чувствительности достигим);

4) если толщина немагнитного покрытия на поверхности объекта контроля не превышает 30 мкм (для авиационных деталей – 20 мкм).

Если не выполняется хотя бы одно из перечисленных выше условий, то применяют способ приложенного поля (СПП).

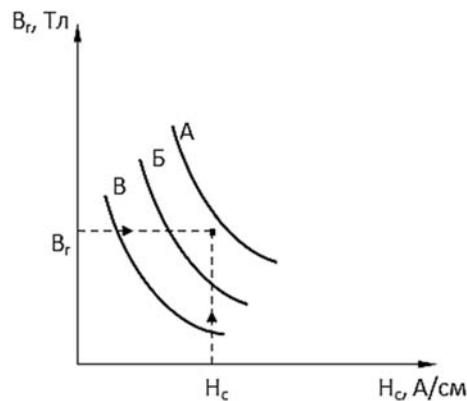


Рисунок 7.1 – Определение возможности достижения при контроле требуемого условного уровня чувствительности

Контроль СПП производят также в следующих случаях: контролируемая деталь изготовлена из магнитомягкого материала; имеет сложную форму или малое удлинение (отношение  $l/d < 3...5$ ); деталь контролируют с целью обнаружения подповерхностных дефектов, расположенных на глубине более 0,01 мм, или дефектов, находящихся под слоем немагнитного покрытия толщиной более 30 мкм; мощность дефектоскопа недостаточна для намагничивания всей детали вследствие больших её размеров; если контролируют небольшие участки крупногабаритного объекта с помощью переносных электромагнитов или постоянных магнитов.

5 Намагничивание объекта контроля (вид, способ и схема намагничивания).

Согласно ГОСТ 21105–87 при МПД применяют четыре вида намагничивания: циркулярное, полюсное, комбинированное и во вращающемся магнитном поле. В большинстве случаев может быть использован любой вид, однако предпочтение следует отдавать более простому в осуществлении. Выбирают такие способ и схему намагничивания, чтобы угол  $\alpha$  между вектором напряженности намагничивающего поля и направлением распространения дефекта был близок к  $90^\circ$ .

6 Если ориентация дефектов не известна, то объект контроля намагничивают в двух взаимно перпендикулярных направлениях. При одном из них  $H_{mp}$  необходимо увеличить в 1,4 раза.

Если дефекты имеют различную ориентацию, то можно применить комбинированный вид намагничивания или намагничивание во вращающемся поле. Комбинированный вид намагничивания применяют только при контроле СПП. При этом вектор напряженности намагничивающего поля поворачивается или вращается. Намагничивание во вращающемся магнитном поле осуществляют при контроле СОН.

При оценке выполнения данного пункта учитывают не только правильность выбора вида, способа и схемы намагничивания, но и создание наиболее рациональных условий контроля: выстраивание объектов контроля в цепочки, применение удлинителей, применение центрирующих втулок и т. д. при малом размагничивающем факторе объектов контроля.

Обычно, если деталь контролируют СОН, то намагничивание зоны контроля производят с помощью электроконтактов, применяя импульсный, переменный или постоянный ток. При контроле СПП намагничивание объекта осуществляют с помощью электромагнитов.

7 *Род тока.* Применяют постоянный, переменный промышленной и повышенной частоты, выпрямленный (однополупериодный, двухполупериодный и трехфазный) или импульсный ток. Импульсный ток обычно применяют для циркулярного и полюсного намагничивания. Для циркулярного, полюсного и комбинированного намагничивания применяют переменный, выпрямленный и постоянный токи. Считают, что постоянный ток наиболее удобен для выявления внутренних дефектов, находящихся на глубине до 2...3 мм. Однако детали с толщиной стенки более 20 мм не следует намагничивать постоянным током, т. к. детали после контроля трудно размагнитить. Кроме того, такие дефекты можно выявить с помощью переменного (и импульсного) тока, если амплитуду увеличить в 1,5–2,5 раза по сравнению с амплитудой тока, рассчитанной для выявления поверхностных дефектов.

8 *Режим намагничивания.* Если применяют способ приложенного поля, то требуемую напряженность поля  $H_{mp}$  определяют по графикам в зависимости от коэрцитивной силы  $H_c$  и условного уровня чувствительности (рисунок 7.2).

Если применяют способ остаточной намагниченности, то  $H_{mp}$  равно напряженности магнитного поля, необходимой для получения  $B_{r\max}$ . Это значение принимают из таблиц.

Если на объект контроля нанесено немагнитное покрытие толщиной более 20 мкм, то режим намагничивания следует увеличить в  $K$  раз в соответствии с графиком (рисунок 7.3).

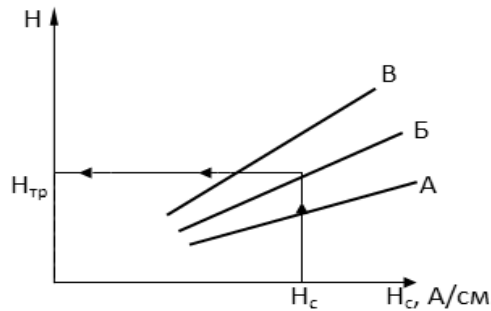


Рисунок 7.2 – Определение режима намагничивания при контроле способом приложенного поля

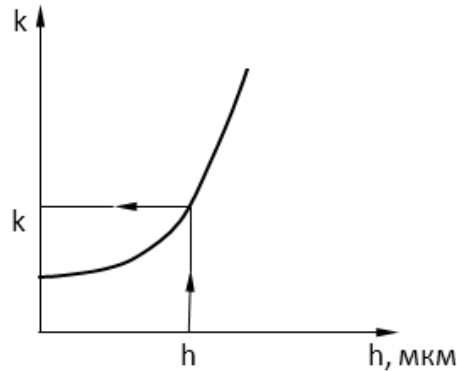


Рисунок 7.3– Определение коэффициента увеличения режима намагничивания из-за наличия немагнитного покрытия на поверхности объекта

9 *Намагничивающий ток.* Если применяют циркулярный вид намагничивания, то можно определить намагничивающий ток по формулам:

$I = 3H_{mp}d$  – при намагничивании цилиндрического объекта диаметром  $d$ ;

$I = 2H_{mp}a$  – при намагничивании пластины сечением  $a \times b$ , т. е.  $a/b \geq 10$ ;

$I = 2H_{mp}(a + b)$  – при намагничивании бруска сечением  $a \times b$ , т. е.  $1/10 < a/b < 10$ ;

$I = 1,5H_{mp}\sqrt{l^2 + c^2}$  – при контроле крупногабаритных изделий (где  $l$  – расстояние между токоподводящими электродами;  $a$  – ширина;  $b$  – толщина пластины;  $c$  – ширина контролируемой зоны;  $H_{mp}$  – тангенциальная составляющая напряженности магнитного поля на поверхности объекта контроля).

В приведенных выше формулах единицы измерения величин должны быть согласованы. При контроле СОН напряженность поля  $H_{mp}$  соответствует техническому насыщению материала детали (выбирают из таблиц – напряженность поля, необходимая для получения  $B_{r \max}$ ). При контроле СПЗ значение  $H_{mp}$  определяют по графикам (см. рисунок 7.2).



Если применяют комбинированный вид намагничивания, то при использовании постоянного полюсного и переменного циркулярного магнитных полей напряженность поля полюсного намагничивания определяют при помощи графиков (см. рисунок 7.2, режим приложенного поля). Напряженность поля циркулярного намагничивания устанавливают в 2–3 раза больше напряженности поля полюсного намагничивания, если применяют водную суспензию, а также суспензию на основе масла РМ. Если же дисперсионной средой суспензии является трансформаторное масло, то напряженности магнитных полей при комбинированном намагничивании могут быть одинаковыми. Напряженности полей также должны быть одинаковыми, если в комбинированном намагничивании объекта участвуют токи одного рода.

10 *Тип дефектоскопа.* При МПД широкое применение нашли дефектоскопы МД-М, МД-50П, МД-01ПК, ПМД-70 и др. Их выбор следует производить, основываясь на технических характеристиках.

11 *Требуемая шероховатость поверхности.* Условный уровень чувствительности А достигается при параметре шероховатости контролируемой поверхности  $Ra \leq 2,5$  мкм, уровни чувствительности Б и В – при  $Ra \leq 10$  мкм. При выявлении подповерхностных дефектов, а также при  $Ra > 10$  чувствительность метода снижается, и условный уровень чувствительности не нормируется. При контроле изделий с немагнитными покрытиями с увеличением покрытия чувствительность метода понижается.

12 *Цвет порошка.* Черные магнитные порошки применяют для контроля деталей со светлой поверхностью. При контроле деталей с черной поверхностью используют магнитно-люминесцентный порошок, а осмотр производят в ультрафиолетовом свете. Для этих же целей может быть использован красный магнитный порошок, а также порошок черного цвета, если поверхность детали предварительно покрыть слоем белой нитрокраски (толщиной до 20 мкм). Применяют также светлые магнитные порошки.

13 *Дисперсионная среда.* Для нанесения магнитного порошка на поверхность объекта применяют способы магнитной суспензии, сухого магнитного порошка и магнитогумированной пасты. Чаще применяют способ магнитной суспензии. В качестве дисперсионной среды используются вода с различными добавками, минеральные масла, керосин, смесь трансформаторного масла с керосином. При способе приложенного поля (СПП) с циркулярным намагничиванием не допускается применять керосиновую или керосино-масляную суспензию. Для приготовления суспензий не допускается использовать керосин с температурой вспышки ниже 50 °С.

14 *Нанесение магнитного порошка, суспензии или магнитогумированной пасты.* Магнитную суспензию на контролируемую поверхность наносят путем полива из шланга, резиновых груш, бачков, пипеток, а также погружения в ванну, аэрозольным способом.

Сухой магнитный порошок наносят на контролируемую поверхность при помощи различных распылителей, погружением объекта в емкость с порошком, а также способом воздушной взвеси. Способ воздушной взвеси применяют для

выявления подповерхностных дефектов, а также дефектов, находящихся под слоем немагнитного покрытия толщиной от 100 до 200 мкм.

Магнитогумированную пасту приготавливают непосредственно перед применением и наносят на контролируемую поверхность в жидком виде. Способ магнитогумированной пасты применяют при контроле внутренних стенок полостей диаметром менее 20 мм при отношении глубины к диаметру не менее 1 к 10.

15 *Осмотр детали.* Осмотр производят без применения и с применением оптических средств (1,25...24 крат).

Осмотр при контроле СОН производят непосредственно после извлечения детали из ванны или полива после стекания основной массы суспензии, если применяют керосиновую или водную суспензию, и не ранее 4...6 мин, когда применяют масляную.

При контроле СПП осмотр производят во время и после нанесения суспензии.

16 *Типичные признаки дефекта по картине осаждения порошка.* Закалочные трещины – накопление порошка имеет вид плотных извилистых рельефных линий.

Шлифовочные трещины – скопление магнитного порошка происходит в виде тонких четких линий, представляющих сетку или короткие черточки.

Усталостные трещины выявляются в виде резко очерченных плотных четких линий, полос или жилок большей частью в местах концентраций напряжений.

Термические трещины расположены на поверхностях трения и выявляются, как и шлифовочные.

17 *Размагничивание объектов контроля.* Размагничивание изделий производят с помощью демагнитизаторов или непосредственно в дефектоскопе переменным магнитным полем с убывающей до нуля амплитудой. Максимальная амплитуда размагничивающего поля должна быть не менее максимальной напряженности намагничивающего поля. Количество циклов – не менее 40.

18 *Проверка качества размагничивания объекта контроля.* Проверку качества размагничивания деталей производят с помощью измерительных приборов ФП-1, ПКФ-1 и др. Показатель размагниченности  $K$  не должен превышать, как правило, 3.

$$K = C_B \frac{\alpha_2 + \alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} \leq 3,$$

где  $C_B$  – поправочный коэффициент, если деталь в процессе измерений располагалась вертикально;

$\alpha_1$  – отклонение стрелки измерителя напряженности магнитного поля при первом измерении, когда преобразователь располагается у конца детали;

$\alpha_2$  – то же, после поворота детали вместе с преобразователем на  $180^\circ$  вокруг малой оси детали.

При определении коэффициента размагниченности деталь располагают вертикально, а если это условие выполнить трудно, то горизонтально с севера

на юг. В последнем случае в приведенной выше формуле вместо коэффициента  $C_B$  используют  $C_G$ .

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Чем обусловлены трудности контроля мелких деталей сложной формы?
- 2 В чем сложность магнитопорошковой дефектоскопии (МПД) деталей с резьбовой поверхностью?
- 3 Как контролируют детали с резьбовой поверхностью?
- 4 Как намагничивают пружины при МПД?
- 5 Как контролируют детали вида шайб, если внутренний и наружный диаметры близки?
- 6 Как контролируют детали вида шайб, если внутренний и наружный диаметры сильно отличаются?
- 7 Как намагничивают полые детали при их МПД на наличие продольных дефектов наружной и внутренней поверхности?
- 8 Чем обусловлены трудности обнаружения дефектов МПД в соединениях, выполненных ручной дуговой сваркой?
- 9 Как следует контролировать сварные соединения?
- 10 Чем обусловлены трудности контроля литья?
- 11 Как уменьшить при контроле литых деталей фон на поверхности?
- 12 Как выявить плены и включения в литых деталях?
- 13 Какой должна быть концентрация магнитного порошка в суспензии (не магнитно-люминесцентного) при контроле резьб?
- 14 Где наиболее интенсивно накапливаются длинные цепочки магнитных частиц?
- 15 Какие факторы влияют на интенсивность магнитной коагуляции?
- 16 Под действием каких сил уединенные частицы магнитного порошка скапливаются над дефектами?
- 17 С какой чувствительностью могут контролироваться сварные соединения с выпуклостями шва, выполненные автоматической дуговой сваркой?
- 18 Назначение магнитных паст при МПД.

## **8 Лабораторная работа № 8. Исследование магнитографического метода контроля качества сварных соединений**

***Цель работы:*** приобрести навыки контроля ферромагнитных изделий магнитографическим методом.

### ***8.1 Основные теоретические положения***

Метод магнитографического контроля заключается в намагничивании контролируемого участка ферромагнитного изделия вместе с прижатым к его поверхности магнитоносителем (магнитной лентой), фиксации на нем

возникающих в местах дефектов магнитных полей рассеяния и последующем воспроизведении полученной записи. Магнитные поля рассеяния в местах дефектов возникают вследствие различной магнитной проницаемости металла изделия и дефекта. Таким образом, магнитографический метод контроля состоит из следующих операций: намагничивания контролируемого образца с записью полей дефектов на магнитную ленту и считывания записи с индикацией полученных сигналов на специальных дефектоскопах. Для намагничивания объектов контроля чаще всего применяют электромагниты с П-образным сечением, а контроль производят в приложенном магнитном поле. О наличии дефекта в изделии судят по характерному дипольному сигналу на экране осциллографа дефектоскопа. Чтобы определить, является ли дефект недопустимым, применяют эталонные магнитные ленты. Эталонные ленты получают при контроле испытательных образцов, которые представляют собой часть контролируемого изделия, сварной шов которого выполнен по той же технологии, что и шов изделия, качество которого проверяется. В отдельных местах в корне шва испытательный образец содержит естественные или искусственные дефекты, которые являются наименьшими допустимыми согласно техническим условиям на объект контроля. Эталонную ленту получают с использованием рабочих намагничивающих устройств. Их контроль осуществляют при рабочих режимах намагничивания. При контроле сравнивают амплитуду сигнала, обусловленного дефектом, в контролируемом изделии с амплитудой сигнала от наименьшего недопустимого дефекта в испытательном образце. Если амплитуда сигнала от дефекта в изделии меньше браковочного уровня, то дефект допустим.

## ***8.2 Приборы и оборудование***

- 1 Дефектоскоп магнитографический МДУ-2У.
- 2 Источники питания ВСА-5К, IRPS 60В/20А.
- 3 Намагничивающее устройство.
- 4 Катюшка для размагничивания магнитной ленты.
- 5 Набор образцов.

## ***8.3 Порядок выполнения работы***

- 1 Изучить методические указания к лабораторной работе и другую литературу, ориентируясь на вопросы для самоконтроля.
- 2 Настроить дефектоскоп по эталонной магнитной ленте.
- 3 Проконтролировать плоский образец, имеющий дефект в виде углубления, для случаев дефекта наружной и внутренней поверхностей ( $I = 3 \text{ А}$ ). Зарисовать сигналограмму для дефектного и качественного участков образца.
- 4 Проконтролировать образец, содержащий шесть сквозных отверстий. Сделать выводы.

5 Проконтролировать образец с компактным дефектом при токах 1...8 А. Сделать выводы. Аналогичные исследования выполнить, используя поляризованную магнитную ленту.

6 Проконтролировать образец, содержащий цепочку пор, дважды:

- намагничивая образец поперек цепочки пор (традиционный способ);
- намагничивая образец вдоль цепочки пор.

В обоих случаях считывание записи с ленты следует производить вдоль линии намагничивания.

7 Для образцов, имеющих одинаковую толщину и разную глубину дефекта, построить график зависимости  $A = f(h_{def})$ .

8 Сравнить внешний вид образцов, выполненных автоматической сваркой под флюсом и сваркой в среде CO<sub>2</sub>. Сделать выводы.

9 Проконтролировать дефектный и бездефектный участки сварного шва при токе в катушке намагничивающего устройства  $I = 16$  А. Зарисовать сигналограммы.

10 Для сварного образца построить график зависимости  $A = f(I)$ , где ток равен 4, 8, 12, 16, 20 А. Сделать выводы.

#### **8.4 Содержание отчета**

1 Цель работы.

2 Результаты экспериментальных исследований.

3 Выводы.

#### **Контрольные вопросы**

1 В чем сущность магнитографического метода контроля?

2 Почему при намагничивании объектов контроля над дефектами образуются магнитные поля рассеяния?

3 Поясните физику процесса записи магнитных полей дефектов на размагниченную ленту.

4 Как получают поляризованную магнитную ленту и в чем особенности записи на нее магнитных полей дефектов?

5 Каковы достоинства и недостатки магнитографического метода контроля?

6 Почему при контроле сварных соединений изделий из низкоуглеродистых и некоторых низколегированных сталей рекомендуют изделие намагничивать поперек шва?

7 В чем сущность записи магнитных полей рассеяния дефектов на скользящий магнитоноситель?

8 Изобразите вид сигналограмм при контроле дефектной и бездефектной пластины, дефектного и бездефектного сварных образцов.

9 Суперпозиция каких полей записывается на магнитную ленту при контроле сварных соединений изделий из низкоуглеродистых и низколегированных сталей?

10 Изобразите вид топографии внешнего поля, поля выпуклости шва и результирующего поля на поверхности соединения при намагничивании поперек шва.

11 Какое соотношение между толщиной полюсов электромагнита и толщиной объекта контроля должно быть при магнитографическом контроле?

12 Что такое предельная и реальная чувствительности?

13 Какова приблизительно чувствительность магнитографического контроля плоских изделий? Сварных соединений?

14 Расшифруйте обозначение типа магнитной ленты И4701-35.

15 Что понимают под величиной дефекта и глубиной его залегания при магнитографическом контроле?

16 Как влияют вид и тип дефекта, ориентация его в пространстве на чувствительность метода?

17 Как определить режим намагничивания и выбрать тип магнитной ленты при контроле?

18 Почему кривая  $A = f(I)$  имеет максимум?

19 Почему при намагничивании объекта контроля вдоль цепочки пор и считывании записи вдоль направления остаточной намагниченности ленты происходит повышение разрешающей способности метода?

20 Почему при намагничивании сварного соединения вдоль выпуклости шва и считывании записи с ленты вдоль линии намагничивания одиночные поры и шлаковые включения обнаруживаются лучше, чем при намагничивании шва в поперечном направлении?

21 Почему при намагничивании вдоль шва не обнаруживаются непровары и трещины, ориентированные вдоль шва? Почему не наблюдаются помехи, соответствующие краям шва?

## **9 Лабораторная работа № 9. Исследование эффективности различных способов магнитографического контроля сварных соединений**

**Цель работы:** приобрести практические навыки по экспериментальному сравнению эффективности различных способов магнитографического контроля.

### **9.1 Основные положения**

Под предельной чувствительностью метода контроля понимают наименьшие размеры модели дефекта, уверенно обнаруживаемого при заданной настройке аппаратуры. Реальная чувствительность характеризует наименьшие размеры реального дефекта, обнаруживаемого в контролируемом объекте. Считается, что дефект обнаруживается уверенно, если отношение амплитуд «сигнал/шум» не менее 2. В сварных соединениях изделий из низкоуглеродистых и ряда низколегированных сталей дефекты сплошности

(непровары, подрезы, трещины, цепочки пор) ориентированы вдоль продольной оси шва. При магнитографическом контроле рекомендуют такие соединения намагничивать в поперечном направлении, т. к. вектор напряженности внешнего поля в этом случае будет ориентирован перпендикулярно направлению дефектов, поэтому и их выявляемость будет наилучшей. Однако при намагничивании сварного соединения в поперечном направлении выпуклость шва создает значительную неоднородность поля в зоне контроля. Объясняется это тем, что на ее выступающей поверхности образуются магнитные полюсы, которые создают в шве и его окрестностях поле, направленное навстречу внешнему полю. Чем меньше ширина и больше высота выпуклости, тем слабее намагничены шов. Особенно малая индукция в плоскости симметрии шва. Поэтому выявляемость дефектов, расположенных в указанном сечении шва, наихудшая. Так, при применении магнитографического метода контроля сварных соединений в традиционном исполнении могут не обнаруживаться протяженные дефекты величиной более 20 %, поры и шлаковые включения – до 80 %...90 % от толщины основного металла. В настоящее время разработан ряд эффективных способов магнитографического контроля, которые позволили повысить чувствительность метода на наличие компактных дефектов в 4–5 раз, протяженных (включая разноориентированные) – до 5 раз, разрешающую способность метода – от 10 до 40 раз в зависимости от глубины залегания дефекта.

## ***9.2 Приборы и оборудование***

- 1 Дефектоскоп магнитографический МДУ-2У.
- 2 Источник питания постоянного тока ВСА-5К.
- 3 Намагничивающее устройство.
- 4 Набор образцов.
- 5 Штангенциркуль.

## ***9.3 Порядок выполнения работы***

1 Ознакомиться с описанием способов магнитографического контроля, позволяющих повысить чувствительность и разрешающую способность метода.

2 Проконтролировать сварной образец традиционным способом магнитографического контроля при различном значении тока в катушке намагничивающего устройства (вектор напряженности поля направлен перпендикулярно продольной оси шва).

3 Проконтролировать сварное соединение, намагничивая сварной шов в продольном направлении и считывая запись вдоль линии намагничивания. Сделать выводы.

4 Тот же образец проконтролировать, используя намагничивающую систему в виде пластины прямоугольного сечения и двух пластин со скосом кромки, устанавливаемую с обратной стороны шва (образец проконтролировать на дефектном и бездефектном участках шва).

5 Плоский образец, содержащий цепочку пор, проконтролировать дважды: намагничивая поперек и вдоль цепочки дефектов. Сделать выводы относительно разрешающей способности обоих способов.

6 Описанные в п. 5 исследования провести, считывая запись вдоль и поперек направления намагничивания. Сделать выводы, объяснить причины отличия сигналограмм.

#### ***9.4 Содержание отчета***

1 Цель работы.

2 Описание сущности применяемых способов магнитографического контроля.

3 Краткое описание выполненных экспериментов.

4 Вид сигналограмм.

5 Выводы.

#### ***Контрольные вопросы***

1 Почему при традиционном методе магнитографического контроля не всегда удовлетворительно обнаруживаются дефекты сплошности?

2 Почему труднее всего обнаруживаются дефекты, расположенные в корне шва?

3 Почему при выполнении пункта 4 подраздела 9.3 стык пластин со скосом кромки не обнаруживается как мнимый дефект?

4 Каковы физические основы изученных способов повышения чувствительности и разрешающей способности метода?

5 Почему при намагничивании вдоль шва не обнаруживаются непровары и трещины, ориентированные вдоль шва?

6 Что такое разрешающая способность метода?

7 В каком случае чувствительность метода выше: при намагничивании объекта контроля вдоль или поперек цепочки пор?

8 В каком направлении следует считывать запись с магнитной ленты?

9 В чем заключается принцип раздельного контроля в магнитографической дефектоскопии?

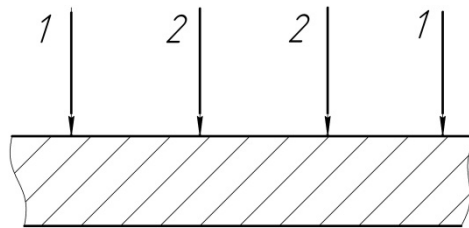


## 10 Лабораторная работа № 10. Измерение глубины дефекта электропотенциальным методом

**Цель работы:** приобрести практические навыки измерений глубины трещин.

### 10.1 Основные теоретические положения

**Определение толщины листовых материалов.** Метод контроля основан на измерении падения электрического потенциала между электродами 2–2 при пропускании тока через объект контроля (ОК) с помощью электродов 1–1 (рисунок 10.1).



1–1 – токоподводящие электроды; 2–2 – измерительные электроды

Рисунок 10.1 – Расположение электродов при контроле электропотенциальным методом

Так как падение напряжения зависит от сопротивления участка электрической цепи между местами контакта электродов 2, то при постоянном расстоянии между электродами 2 для данного материала ОК это сопротивление зависит от толщины стенки объекта. Имеются сведения о применении метода для контроля толщин стенок от 1 до 20 мм.

На результаты измерений сильное влияние оказывает состояние поверхности, возможное наличие трещин.

**Определение глубины трещин.** При измерении глубины трещины расстояние между электродами 2 целесообразно устанавливать не более 2 мм (рисунок 10.2).

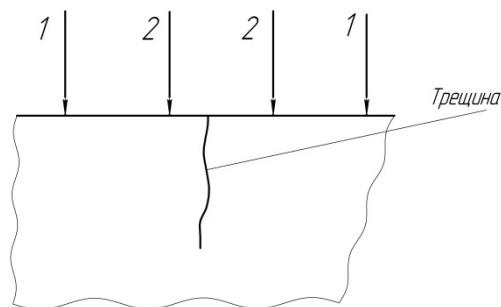


Рисунок 10.2 – Схема измерения глубины трещин электропотенциальным методом

Между токовыми электродами 1 пропускают ток не более 6 А с частотой около 1500 Гц. Применение тока высокой частоты объясняется тем, что вследствие скин-эффекта токовые линии концентрируются вблизи поверхности и плотно огибают имеющуюся трещину, что позволяет повысить достоверность контроля. Погрешность измерения указана в инструкции по эксплуатации прибора.

После обнаружения трещин в объекте для измерения их глубины используется электропотенциальный трещиномер 281М. Этот прибор предназначен для контроля деталей из ферромагнитных сталей, он обеспечивает определение глубины трещин, выходящих на поверхность и предварительно обнаруженных.

*Технические характеристики.* Диапазон оценки глубины трещины – от 0,5 до 100,0 мм. Диапазон измерения глубины трещин – от 0,5 до 30,0 мм. Предел допускаемой погрешности измерений от глубины трещины контрольного образца  $L_{mp}$  – не более  $(0,1L_{mp} + 0,2)$  мм. Раскрытие трещин – не более 3 мм. Радиус кривизны контролируемых поверхностей, выпуклой и вогнутой, – не менее 15 мм. Питание трещиномера автономное от аккумулятора 8,4 В.

## ***10.2 Приборы и оборудование***

- 1 Измеритель глубины трещин 281М.
- 2 Контрольный образец.
- 3 Образцы с естественными трещинами: Т-образной формы; в форме диска; щит электродвигателя; с наплавленными выпуклостями шва.
- 4 Шкурка для зачистки контролируемой поверхности.
- 5 Микроскоп и штангенциркуль для измерения размеров трещин.

## ***10.3 Порядок выполнения работы***

- 1 Изучить инструкцию по эксплуатации электропотенциального измерителя глубины трещин 281М.
- 2 Настроить прибор по контрольному образцу.
- 3 Подготовить образцы. В месте измерения глубины трещины зачистить поверхность образца. Раскрытие трещин не должно превышать 3 мм.
- 4 Измерить глубину трещин с помощью прибора.

## ***10.4 Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Физические основы электропотенциального метода контроля.
- 3 Эскизы образцов.
- 4 Последовательность выполнения измерений.
- 5 Результаты измерений.
- 6 Выводы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Как следует подготавливать объект к контролю прибором 281М?
- 2 Объекты из каких материалов контролируют электропотенциальным методом?
- 3 Назовите основные технические характеристики трещиномера 281М.
- 4 Можно ли измерить глубину трещин, которые не выходят на поверхность объекта?
- 5 Почему при измерении глубины трещин применяют токи высокой частоты?
- 6 Каков диапазон измеряемых толщин стенок объектов электропотенциальным методом?
- 7 Какова погрешность измерения при контроле прибором 271М?

## **11 Лабораторная работа № 11. Изучение устройства и принципа работы магнитных толщиномеров. Проведение исследований по определению толщины объектов**

**Цель работы:** изучить устройство и принцип работы магнитных толщиномеров; приобрести навыки работы с приборами.

### **11.1 Основные теоретические положения**

1 *Толщиномеры отрывного (пондеромоторного) типа* предназначены для измерения толщины немагнитных и слабомагнитных покрытий на ферромагнитных материалах. Метод основан на измерении силы притяжения постоянного магнита или сердечника электромагнита к поверхности детали, на которую нанесено покрытие. При увеличении толщины немагнитного (или слабомагнитного, например, никелевого) покрытия сила притяжения понижается. Силу притяжения магнита определяют с помощью пружинного устройства.

#### *2 Толщиномеры магнитоэлектрического типа.*

Действие преобразователей основано на определении изменения напряженности магнитного поля в цепи постоянного магнита или электромагнита при изменении расстояния между ним и ферромагнитным объектом вследствие изменения толщины покрытия. При увеличении толщины немагнитного покрытия увеличивается общее магнитное сопротивление цепи, а следовательно, и магнитный поток, действующий на преобразователь.

#### *3 Индукционные толщиномеры.*

Их действие основано на измерении магнитного сопротивления магнитной цепи, состоящей из ферромагнитной основы (детали), преобразователя прибора и немагнитного зазора между ними. Преобразователь состоит из трех катушек,

возбуждающей и двух измерительных, находящихся по разные стороны от возбуждающей обмотки и включенных встречно. Вдали от ферромагнитного объекта ЭДС, возникающие в измерительных катушках, взаимно компенсируются. При приближении к ферромагнитному объекту магнитная симметрия нарушается и появляется сигнал, величина которого коррелирует с расстоянием до объекта (толщиной покрытия).

#### *4 Магнитоиндуктивные толщиномеры.*

Магнитоиндуктивный метод основан на измерении изменения индуктивного сопротивления электрической катушки, питаемой переменным током низкой частоты, при изменении расстояния от катушки до ферромагнитного объекта. Данное изменение оценивают по падению напряжения на резисторе или другом элементе измерительной схемы, вызванному изменением силы тока, питающего обмотку.

#### *5 Магнитодинамические толщиномеры.*

При магнитодинамическом методе преобразователь содержит постоянный магнит с магнитомягким полюсным наконечником, на котором жестко закреплена многovitковая измерительная катушка. Он также содержит охватывающий цилиндрический магнитомягкий корпус, замыкающий магнитную цепь с ОК.

При установке преобразователя на поверхность ферромагнитного объекта с покрытием на ферромагнитном основании возникает магнитный отпечаток, величина которого зависит от толщины покрытия. При удалении преобразователя вверх от поверхности объекта происходит изменение магнитного потока, пронизывающего контур измерительной катушки и в ней возникает ЭДС, которая коррелирует с толщиной покрытия.

Если следующая точка измерения будет находиться рядом с предыдущей, то в катушке возникнет дополнительная ЭДС, что приведет к погрешности измерения. Чтобы уменьшить погрешность следует размагнитить предыдущий участок. Для этого используют вспомогательную размагничивающую катушку, находящуюся на наружной стороне магнитомягкого корпуса, которая запитывается от источника переменного тока и удаляется от поверхности объекта перед началом измерений, либо эта катушка закрепляется жестко и на нее подаются два импульса тока противоположного направления, величина которых определяется экспериментально, чтобы размагнитить предыдущий участок объекта.

Наличие в преобразователе магнитомягкого корпуса повышает намагниченность материала ОК, что приводит к увеличению чувствительности преобразователя к измеряемой толщине покрытия и к расширению диапазона измеряемых толщин, а также снижает краевой эффект, повышая точность измерения этой толщины.

Электрическая схема преобразователя содержит интегрирующую цепочку, поэтому результаты измерений практически не зависят от скорости удаления преобразователя от объекта.

## ***11.2 Приборы и оборудование***

- 1 Толщиномеры: карандашного типа, Акулова МТА-2, ДТ-156, МТЦ-2М.
- 2 Имитаторы ферромагнитного основания и немагнитного покрытия.
- 3 Микрометр.

## ***11.3 Порядок выполнения работы***

- 1 Изучить устройство и принцип действия магнитных толщиномеров.
- 2 Построить градуировочные кривые для измерения толщины покрытия с помощью толщиномера МТА-2.
- 3 Произвести калибровку тощиномера ДТ-156, оценить погрешности измерения немагнитных покрытий.
- 4 Измерить толщину немагнитных покрытий с помощью толщиномера МТЦ-2М.
- 5 Исследовать влияние магнитных свойств основы, на которую нанесено немагнитное покрытие.
- 6 Исследовать влияние краевого эффекта на показания прибора.

## ***11.4 Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Описание методик исследований.
- 3 Результаты исследований.
- 4 Выводы.

## ***Контрольные вопросы***

- 1 Каково назначение и принцип действия магнитных толщиномеров МТА-2 и МТА-3Н, ДТ-156, МТЦ-2М?
- 2 Укажите достоинства и недостатки приборов.
- 3 Позволяют ли приборы выполнять измерения толщины покрытий на выпуклых и вогнутых поверхностях?
- 4 На каком минимальном расстоянии от края изделия можно получить достоверный результат?
- 5 Какие требования предъявляются к шероховатости поверхности основного металла при измерении толщины покрытий?
- 6 Влияет ли напряженное состояние никелевого покрытия на показания толщиномеров МТА-3Н?

## **12 Лабораторная работа № 12. Изучение устройства и принципа работы вихретоковых толщиномеров**

**Цель работы:** изучить устройство и принцип работы вихретоковых толщиномеров; приобрести навыки работы с приборами.

### ***12.1 Основные теоретические положения***

*12.1.1 Толщиномеры вихретоковые.* Вихретоковые методы позволяют контролировать толщину однослойных покрытий при различных сочетаниях материалов покрытия и основы, за исключением случая диэлектрических покрытий на изделиях из диэлектриков.

При контроле проводящих покрытий электромагнитными методами сравнительно просто обеспечивается независимость результатов измерения от влияния вариаций зазора между преобразователем и изделием на результаты измерений, а в случае тонких проводящих покрытий на ферромагнитной основе – линейная зависимость выходного сигнала измерительного устройства от толщины покрытия. Это создает благоприятные условия для использования этих методов для решения задач толщинометрии проводящих покрытий на изделиях из различных сплавов и, прежде всего, гальванических покрытий на изделиях из ферромагнитных материалов.

Эффективно также применение вихретоковых методов для контроля тонких проводящих покрытий на изделиях из диэлектриков и диэлектрических покрытий – на изделиях из немагнитных сплавов. Следует отметить, что в последнем случае почти невозможно подавить влияние изменений зазора между преобразователем и изделием, что приводит к существенным ошибкам при контроле тонких покрытий на изделиях с низкой частотой обработки поверхности. К важным достоинствам вихретоковых методов можно отнести высокую локальность измерения и сравнительно простую и приборную реализацию. В настоящее время разработано много различных типов вихретоковых толщиномеров, предназначенных для контроля толщины анодных, лакокрасочных, пластмассовых и других диэлектрических покрытий на изделиях из немагнитных сплавов.

*12.1.2 Толщиномеры типа ВТ.* Толщиномеры этого типа с различными номерами разработок отличаются диапазонами контролируемых толщин, а также сочетанием материалов основания и покрытия, для которых они предназначены.

Приборы построены на базе амплитудно-фазовых схем (рисунок 12.1). Генератор Г создает переменный ток необходимой частоты в обмотке преобразователя П, в компенсаторе К и фазовращателе ФВ. Компенсатор обеспечивает необходимую начальную настройку с тем, чтобы получить на входе усилителя сигналы от измерения параметров контролируемого объекта КО с определенными значениями амплитуды и фазы.

Сигналы с усилителя переменного тока  $У$  поступают на один из входов фазового детектора  $ФД$ , на второй вход которого подается опорное напряжение с фазовращателя  $ФВ$ , создающего сдвиг фаз опорного напряжения относительно тока генератора  $Г$ , чтобы изменение мешающего параметра не влияло на входное напряжение фазового детектора  $ФД$ . С выхода фазового детектора  $ФД$  напряжение постоянного тока, несущее информацию о толщине, поступает на усилитель постоянного тока  $УПТ$  и далее на индикатор  $И$ , показывающий значение толщины покрытия.

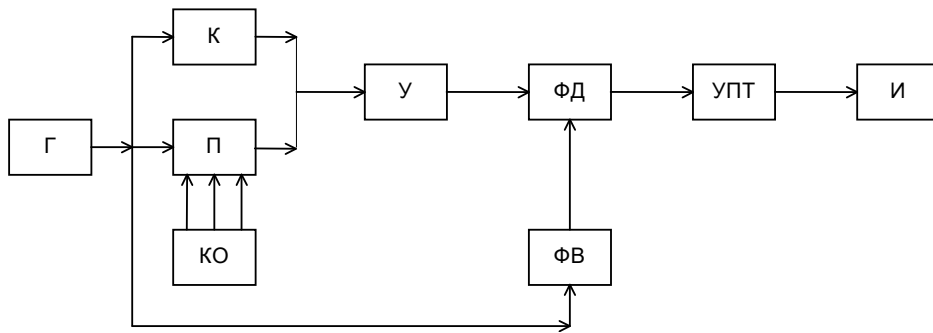


Рисунок 12.1 – Структурная схема толщиномера ВТ

Например, толщиномеры диэлектрических покрытий ВТ-30Н и ВТ-40НЦ могут быть использованы также для контроля толщины покрытий на электропроводящих ферромагнитных основаниях благодаря их специальной настройке. Для этого необходимо установить нулевую точку шкалы на основании без покрытия, а на объекте с максимальным (но известным) значением толщины покрытия установить это известное значение путем регулировки чувствительности толщиномера.

Погрешность в измерении толщины диэлектрического покрытия состоит из погрешности, вызванной нестабильностью работы электронной аппаратуры, и погрешности, обусловленной изменением свойств контролируемого объекта. В первую очередь здесь следует учитывать возможные загрязнения поверхности контролируемого объекта, которые непосредственно влияют на показания прибора, различные отклонения поверхности контролируемого изделия от допустимых норм (большая шероховатость, наличие крупных частиц, малый радиус кривизны, близость края объекта и т. д.).

К погрешности приводит также изменение электромагнитных свойств материала основания и иногда – покрытия. Погрешность может возникать за счет изменения удельной электрической проводимости или магнитной проницаемости материала, например, из-за отклонения химического состава, несоблюдения режима термообработки, больших механических напряжений и т. п. Особенно чувствительно к различным отклонениям от технологического режима значение магнитной проницаемости, которое может изменяться даже в готовом изделии, например, за счет намагничивания.

## ***12.2 Приборы и оборудование***

- 1 Вихретоковые толщиномеры ТМ-4, ДТ-156.
- 2 Измерительный микроскоп.
- 3 Микрометр.
- 4 Набор образцов.

## ***12.3 Порядок выполнения работы***

1 Изучить методические рекомендации, инструкции по эксплуатации вихретоковых толщинометров ТМ-4 и ДТ-156.

2 Провести настройку толщинометров, используя имеющиеся в комплекте прибора образцовые меры толщины покрытий.

3 С помощью толщинометров ТМ-4 и ДТ-156 выполнить измерения толщин покрытий на образцах.

4 Исследовать влияние шероховатости поверхности основания на результаты измерений.

5 Исследовать влияние электропроводности основания, а также краевого эффекта контролируемой детали на результаты измерений.

## ***12.4 Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Назначение вихретоковых толщинометров и принцип их действия.
- 3 Описание настройки прибора.
- 4 Графическое представление результатов экспериментов.
- 5 Анализ результатов измерений, определение погрешностей.
- 6 Выводы.

## ***Контрольные вопросы***

- 1 Назначение и принцип действия вихретоковых толщинометров.
- 2 Достоинства и недостатки указанных приборов.
- 3 Из-за каких причин могут быть погрешности в измерении толщины диэлектрического покрытия?
- 4 Как влияют шероховатость поверхности основания, его электропроводность, близость края изделия на результаты измерений?



### **13 Лабораторная работа № 13. Изучение устройства и принципа действия вихретоковых дефектоскопов. Проведение исследований по выявлению дефектов в объектах**

**Цель работы:** изучить устройство и принцип работы вихретоковых дефектоскопов FD-2, FD-3, ВД 3-71 НК IVУ; приобрести практические навыки работы с приборами.

#### **13.1 Основные теоретические положения**

Вихретоковый неразрушающий контроль – вид неразрушающего контроля, основанный на анализе взаимодействия электромагнитного поля вихретокового преобразователя с электромагнитным полем вихретоковых токов, наводимых в контролируемом объекте.

В качестве измерительного преобразователя при вихретоковом контроле используются индуктивные катушки. Основные принципы вихретокового контроля рассмотрим на примере прибора с накладным преобразователем. Преобразователь состоит из возбуждающей обмотки, подключенной к генератору переменного тока, и измерительной обмотки, подключенной к блоку измерения. Электромагнитное поле преобразователя возбуждает в плоском объекте контроля вихревые токи; их плотность максимальна на поверхности электропроводящего объекта в контуре, диаметр которого близок к диаметру возбуждающей обмотки. Электромагнитное поле вихревых токов противоположно первичному полю возбуждающей обмотки. В измерительной обмотке преобразователя наводится ЭДС, определяемая потокоцеплением, и изменяется ее полное сопротивление. Регистрируя напряжение на зажимах катушки или сопротивление с помощью блока измерения, получают информацию о свойствах контролируемого объекта или о положении преобразователя относительно него.

ЭДС измерительной обмотки несет информацию о толщине листа, о его удельной электрической проводимости, о магнитной проницаемости, о состоянии поверхности, о наличии и размерах дефектов. ЭДС измерительной обмотки преобразователя зависит от зазора и ориентации оси преобразователя, скорости его движения относительно листа. Удельная электрическая проводимость и магнитная проницаемость, в свою очередь, определяются многими факторами, например, химсоставом и структурой материала листа, его температурой, наличием механических напряжений и т. д.

Отсутствие контакта между преобразователем и объектом позволяет осуществлять контроль на очень высоких скоростях. Результаты контроля слабо зависят от параметров окружающей среды.

Вихретоковые методы применяются для дефектоскопии, структуроскопии, толщинометрии, измерения параметров вибраций. Методы применяют в основном для контроля качества электропроводящих объектов: металлов, сплавов, графита, электролитов, полупроводниковых структур. Из-за скин-эффекта глубина зоны контроля не превышает нескольких миллиметров.

### ***13.2 Приборы и оборудование***

- 1 Вихретоковые дефектоскопы FD-2, FD-3, ВД 3-71 НК IVУ.
- 2 Образцы для контроля.
- 3 Микрометр, штангенциркуль.

### ***13.3 Порядок выполнения работы***

- 1 Изучить устройство и принцип работы вихретоковых дефектоскопов.
- 2 Проконтролировать образцы, содержащие дефекты различной глубины, для случаев расположения дефектов на наружной и внутренней относительно преобразователя поверхности.
- 3 Исследовать влияние края изделия на выявляемость дефектов.
- 4 Исследовать влияние шероховатости поверхности контролируемого объекта на результаты контроля.
- 5 Исследовать влияние расстояния от преобразователя до контролируемого объекта на результаты контроля.

### ***13.4 Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Краткое описание сущности вихретокового метода контроля.
- 3 Краткое описание методики исследований.
- 4 Основные экспериментальные зависимости, их анализ, выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Опишите принцип работы вихретоковых дефектоскопов.
- 2 Укажите основные технические данные дефектоскопов.
- 3 Что такое эффективная магнитная проницаемость?
- 4 По какой формуле рассчитывается эффективная магнитная проницаемость?
- 5 По какой формуле определяется обобщенный параметр?

## **14 Лабораторная работа № 14. Исследование выявляемости дефектов в реальных изделиях электромагнитными методами**

***Цель работы:*** приобрести навыки практического применения полученных знаний при неразрушающем контроле реальных объектов.

### ***14.1 Основные теоретические положения***

Вначале целесообразно проанализировать объект контроля: возможные дефекты, наиболее вероятные места их расположения, ориентацию и т. д. Так, в сварных соединениях изделий из низкоуглеродистых сталей трещины маловероятны и могут образовываться лишь в местах ликвации серы и фосфора, а также концентрации механических напряжений. Дефекты в соединениях из таких

материалов ориентированы вдоль шва. В протяженных емкостях, работающих под давлением, трещины ориентируются вдоль продольной оси емкости, т. к. поперечные напряжения больше продольных, например, наружные трещины отвода трубы, работающей под давлением, располагаются на выпуклой наружной поверхности и ориентированы вдоль трубы. Большинство непроваров в сварных соединениях, выполненных сваркой плавлением, находится в корне шва.

Для выбора вида контроля целесообразно воспользоваться таблицами, где оценка вида неразрушающего контроля производится по пятибалльной шкале. После определения предпочтительных видов контроля обосновывают выбор метода. Затем определяют способ контроля и схему его реализации. При этом нужно руководствоваться следующим. Вихретоковые методы позволяют контролировать в основном поверхностный слой толщиной до 3 мм объекта из токопроводящего материала (чаще ферромагнитного). Эти методы пока широко не применяют при контроле сварных швов, т. к. электропроводность отдельных зон шва и околошовной зоны значительно меняется, что создает большие помехи при выявлении дефектов сварки.

Магнитопорошковый метод контроля в основном используют для обнаружения поверхностных и подповерхностных трещин в ферромагнитных объектах. Требуемая шероховатость поверхности при условном уровне чувствительности А не должна превышать 2,5 мкм, а при Б или В – 10 мкм.

При магнитографическом контроле сварных соединений целесообразно производить раздельное обнаружение компактных и протяженных дефектов (включая разноориентированные). Считывание записи с ленты следует осуществлять вдоль направления ее остаточной намагниченности. Чувствительность метода контроля выше при намагничивании объекта поперек, а разрешающая способность – вдоль цепочки несплошностей [1–4].

### ***14.2 Приборы и оборудование***

- 1 Дефектоскопы магнитопорошковые МД-М, МД-50П, МД-01ПК.
- 2 Дефектоскоп магнитографический МДУ-2У.
- 3 Дефектоскопы вихретоковые FD-2, FD-3, ВД 3-71 НК IVУ.
- 4 Толщиномеры магнитные МТА-2, МТ-41НЦ.
- 5 Толщиномеры вихретоковые ВТ-10НЦ, ТМ-4.
- 6 Трещиномер 281М.
- 7 Коэрцитиметр КИФМ-1.
- 8 Образцы для исследований.

### ***14.3 Порядок выполнения работы***

- 1 Ознакомиться с методическими рекомендациями.
- 2 Проанализировать объект контроля.
- 3 Выбрать вид, метод и способ контроля.
- 4 Описать методику контроля.
- 5 Проконтролировать объект.
- 6 Отметить места дефектов и указать их вид и количество.
- 7 Сделать выводы.

### **14.4 Содержание отчета**

- 1 Цель работы.
- 2 Эскизы образцов, их характеристики.
- 3 Основные предпосылки при выборе вида, метода и способа контроля.
- 4 Описание методики контроля.
- 5 Результаты контроля.
- 6 Выводы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Как ориентированы поверхностные трещины в отводах труб высокого давления?
- 2 Каковы наиболее вероятные места расположения непроваров в односторонних и двусторонних сварных соединениях?
- 3 Какова требуемая шероховатость поверхности объекта контроля при магнитопорошковом методе контроля?
- 4 Как отличить при магнитографическом методе контроля непровар переменной величины от цепочки пор?

## **15 Лабораторная работа № 15. Исследование магнитографического метода контроля с намагничиванием объекта через уложенный на его поверхность магнитноситель**

**Цель работы:** приобрести практические навыки применения постоянных магнитов при магнитографическом контроле изделий из ферромагнитных материалов.

### **15.1 Основные теоретические положения**

Существует большое количество изделий из ферромагнитных материалов, которые необходимо контролировать на наличие поверхностных и подповерхностных трещин. Это отводы труб энергоустановок, балки несущих конструкций, винты речных и морских судов, лопасти летательных аппаратов, шейки коленчатых валов, оси и опоры вагонов, буровое оборудование, стенки осевых каналов роторов турбин ГРЭС и др. Такие объекты иногда покрыты слоем краски или в процессе эксплуатации подвергаются коррозии. Использование для их контроля радиационных методов не гарантирует обнаружения трещин малого раскрытия. Акустические методы дефектоскопии требуют тщательной механической подготовки поверхности контролируемого изделия и не всегда эффективны при обнаружении поверхностных и подповерхностных несплошностей. Капиллярные методы позволяют обнаруживать только наружные и сквозные дефекты и имеют жесткие требования по качеству поверхности объекта контроля. Применяемый для

обнаружения трещин магнитопорошковый метод позволяет получить наглядную картину расположения дефектов, но является индикаторным, требует трудоемкой зачистки поверхности контролируемого изделия и сопряжен с неудобством использования магнитной суспензии, массивных намагничивающих устройств или электроконтактов, мощных источников питания. Наиболее рациональным в этом случае является магнитографический метод контроля (МГК). Он характеризуется высокой производительностью, наглядностью и экономичностью, не требует предварительной механической подготовки поверхности контролируемого изделия. К тому же метод относится к магнитному виду контроля, который имеет самую высокую чувствительность при обнаружении поверхностных и подповерхностных дефектов. Однако существующие в настоящее время устройства для реализации МГК отличаются большими габаритами, необходимостью изготовления дополнительных полюсных наконечников и использования мощных источников питания. Поэтому весьма часто предпочтение отдается другим методам контроля, несмотря на их низкую производительность и большую трудоемкость.

Для повышения удобства, производительности и мобильности МГК, снижения потребления электроэнергии, расширения области применения метода за счет возможности контроля труднодоступных мест, небольших деталей, а также объектов, находящихся во взрывоопасных помещениях, шахтах, под водой и т. д., предложено осуществлять намагничивание контролируемого изделия вместе с плотно прижатой к его поверхности магнитной лентой постоянным магнитом путем перемещения магнита непосредственно над поверхностью ленты. Высокая чувствительность метода при малой массе магнита достигается за счет значительного увеличения напряженности поля, действующего в зоне дефекта вблизи полюса магнита, за счет контроля в приложенном поле, а также небольшого фона помех, т. к. перемещаемый над поверхностью ленты магнит равномерно намагничивает ее по всей площади.

### ***15.2 Приборы и оборудование***

- 1 Магнитографический дефектоскоп МДУ-2У.
- 2 Магнитная лента типа И4701-35, И4732-35.
- 3 Постоянный магнит.
- 4 Электрическая катушка для размагничивания магнитной ленты.
- 5 Образцы для исследований.
- 6 Немагнитные прокладки.
- 7 Микрометр.
- 8 Угломер.

### ***15.3 Порядок выполнения работы***

- 1 Исследовать влияние угла наклона перемещаемого магнита на величину амплитуды сигнала от дефекта и вид сигналаграммы.

2 Исследовать влияние толщины немагнитной прокладки между образцом и магнитной лентой на амплитуду сигнала от дефекта.

3 Исследовать влияние глубины залегания дефекта на его выявляемость при исследуемом способе контроля.

### ***15.4 Содержание отчета***

- 1 Цель работы.
- 2 Описание сущности способа МГК.
- 3 Результаты исследований.
- 4 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Опишите способ МГК.
- 2 Почему достигается высокая чувствительность метода при небольшой массе магнита?
- 3 Укажите достоинства способа МГК.

## **16 Лабораторная работа № 16. Составление заключения о результатах контроля**

***Цель работы:*** приобрести практические навыки составления заключения о результатах магнитографического контроля изделий.

### ***16.1 Основные теоретические положения***

Оценку качества стыковых сварных швов проводят по результатам анализа информации, полученной в процессе контроля. Основными характеристиками выявленного дефекта являются:

- амплитуда и длительность сигнала от дефекта на экране импульсной индикации дефектоскопа или уровень диаграммы на носителе регистратора;
- условная протяженность дефекта вдоль сварного шва при заданной чувствительности дефектоскопа;
- условное расстояние между соседними дефектами;
- расположение дефектов по ширине шва.

При оформлении результатов контроля в лабораторном журнале и на бланке заключения следует пользоваться условными обозначениями дефектов, применяемыми в радиографической дефектоскопии:

- трещина вдоль шва – Тв;
- трещина поперек шва – Тп;
- трещина разветвленная – Тр;
- непровар в корне – Нк;
- отдельная пора – П;

- цепочка пор – ЦП;
- скопление пор – СП;
- отдельное шлаковое включение – Ш;
- цепочка шлаковых включений – ЦВ;
- скопление шлаковых включений – СШ.

При составлении заключения о выявленных дефектах при магнитографической дефектоскопии ферромагнитных объектов дефектоскопист должен руководствоваться ГОСТ 25225–82:

- при обнаружении в шве трещин фиксируется только их длина;
- при обнаружении непроваров, шлаковых включений и пор фиксируется их относительная величина, например, «больше 10 %» или «меньше 10 %», кроме того:

а) для непроваров – их суммарная протяженность с указанием протяженности отдельных непроваров;

б) для одиночных пор и шлаковых включений – их количество на определенной длине шва (длина шва указывается в нормативной документации на контроль);

в) для цепочки пор и шлаковых включений – их общая протяженность.

### **Примеры составления заключения о результатах контроля.**

1 Если при магнитографическом контроле обнаружены трещины суммарной длиной 40 мм (на участке протяженностью  $L = 500$  мм, установленной технической документацией на контроль), то в заключении должна быть сделана запись:  $\Sigma T 40$ .

2 На участке сварного шва длиной  $L = 500$  мм обнаружено пять пор, из которых три величиной более 10 % и две – менее 10 %.

Запись в заключении: 5П (3П > 10 %, 2П < 10 %).

3 Обнаружено две цепочки пор: одна длиной  $l = 15$  мм, величиной более 10 %, вторая  $l = 20$  мм, величиной менее 10 % (протяженность шва  $L = 500$  мм).

Запись в заключении: ЦП15 > 10 %, ЦП20 < 10 %.

4 Обнаружено три непровара. Два из них имеют величину более 10 % от толщины и длину  $l_1 = 40$  мм и  $l_2 = 80$  мм, а один величину менее 10 % и длину  $l_3 = 50$  мм ( $L = 500$  мм).

Запись в заключении:  $\Sigma H 170$  (Н 40 > 10 %, Н 80 > 10 %, Н 50 < 10 %).

5 На участке сварного шва протяженностью 500 мм обнаружено пять одиночных пор, из которых три величиной более 10 % и две – менее 10 %. Выявлено также две цепочки пор: одна длиной  $l = 15$  мм и величиной более 10 %, вторая –  $l = 20$  мм и величиной менее 10 %. На указанном участке еще обнаружено три непровара (два из них имеют величину более 10 % и длину  $l_1 = 40$  мм и  $l_2 = 80$  мм, а один величину менее 10 % и длину  $l_3 = 50$  мм).

Запись в заключении: 5П (3П > 10 %, 2П < 10 %); ЦП15 > 10 %, ЦП 20 < 10 %,  $\Sigma H 170$  (Н40 > 10 %, Н80 > 10 %, Н50 < 10 %).

## Список литературы

1 **Новиков, В. А.** Магнитный контроль в вопросах / В. А. Новиков. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2020. – 344 с.: ил.

2 **Борисов, В. И.** Источники и приемники физических полей и излучений: учебное пособие / В. И. Борисов, В. А. Новиков, С. С. Сергеев. – Старый Оскол: ТНТ, 2022. – 368 с.: ил.

3 Приборы и методы электромагнитного контроля: методические рекомендации к курсовому проектированию / Сост. В. А. Новиков. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2019. – 29 с.

4 **Федосенко, Ю. К.** Вихретоковый контроль: учебное пособие / Ю. К. Федосенко, П. Н. Шкатов, А. Г. Ефимов; под ред. В. В. Ключева. – Москва: Спектр, 2018. – 224 с.