

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР  
КУЙБЫШЕВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО  
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. С. П. КОРОЛЕВА

И. М. МАКАРОВСКИЙ

# ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Лабораторный практикум  
по курсу  
«Техническая эксплуатация самолетов и двигателей»

Рассмотрен и одобрен редакционным советом института  
20 июня 1971 года

КУЙБЫШЕВ, 1972

Лабораторный практикум по разделу «Физические методы дефектоскопии» составлен в соответствии с учебной программой курса «Техническая эксплуатация самолетов и двигателей».

Практикум содержит краткое изложение физической сущности, назначения и основных технических данных ряда наиболее распространенных в условиях эксплуатации самолетов методов дефектоскопии, а также методические указания по выполнению лабораторных работ. Содержание лабораторных работ выбрано с учетом действующих регламентов технического обслуживания, а также рекомендаций по применению физических методов дефектоскопии. Каждая из шести лабораторных работ рассчитана на три учебных часа.



Игорь Мстиславович Макаровский

## ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Лабораторный практикум  
по курсу «Техническая эксплуатация самолетов и двигателей»

Редактор *Н. А. Сидаренко*. Тех. редактор *Н. М. Каленюк*.

Корректор *Е. П. Михайлова*

Подписано в печать 15/XII-1972 г. Объем 6 п. л. Тираж 1000 экз  
Формат бумаги 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Цена 28 коп.

Куйбышевский авиационный институт имени С. П. Королева,  
г. Куйбышев, ул. Молодогвардейская, 151.  
Тип. изд-ва «Волжская коммуна», г. Куйбышев, пр. Карла Маркса, 201.  
Заказ № 8818.

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения надежности летательных аппаратов не может быть успешно решена без широкого внедрения в процесс их изготовления и эксплуатации современных методов и средств неразрушающего контроля.

Особое значение контроль без разрушения при современном уровне технологии приобретает для конструкций, работающих при малых запасах прочности в условиях знакопеременных нагрузжений, вибраций, колебаний температуры и агрессивных сред.

Необходимый объем информации о техническом состоянии критических элементов конструкции при этом получают только путем комплексного, технически обоснованного выбора методов и средств контроля. Это положение целиком распространяется и на выбор физических методов дефектоскопии, которые являются основными методами неразрушающего контроля прочностных характеристик конструкций.

Эффективность применения физических методов дефектоскопии для неразрушающего контроля силовых элементов авиационных конструкций видна на примере работы многих ремонтных и эксплуатационных подразделений гражданской авиации. Здесь благодаря успешному и грамотному применению дефектоскопической аппаратуры созданы условия, необходимые для существенного повышения качества технического обслуживания и ремонта авиатехники.

Необходимо отметить, что условия и характер применения дефектоскопической аппаратуры в эксплуатационных и ремонтных подразделениях различны. Если технология контроля деталей в процессе ремонта близка к технологии контроля в процессе изготовления, т. е. общезвестна, то контроль в условиях эксплуатации имеет ряд специфических особенностей.

Так, например, при магнитно-порошковом методе в условиях эксплуатации используют главным образом переносные, малогабаритные дефектоскопы. Токовихревой метод представлен исключительно высокочастотными дефектоскопами с накладными датчиками малого диаметра. Ультразвуковой метод используют только в эхоимпульсном ручном варианте контроля с нормальными и призматическими датчиками. Капиллярный метод используют, главным образом, в качестве подтверждающего метода контроля и только в красочном (цветном) варианте с пленочным проявителем.

Методы проникающих излучений в силу их низкой производительности, сложности защиты от излучений, а также относительно низкой чувствительности к трещине, распространения в эксплуатации не получили.

Перечень контрольных операций, выполняемых с использованием физических методов дефектоскопии, постоянно расширяется. Это связано с увеличением технических ресурсов авиационной техники, ростом требований к обеспечению безопасности полетов, а также совершенствованием технологического процесса в авиаремонтных и эксплуатационных подразделениях гражданской авиации.

## Лабораторная работа № 1

### МАГНИТНО-ПОРОШКОВЫЙ МЕТОД ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

**Цель работы** — знакомство с физической сущностью магнитно-порошкового метода дефектоскопии, его назначением и технологией проведения контроля. Работа предусматривает также ознакомление с методикой и аппаратурой лабораторного анализа дефектоскопических материалов, используемых в процессе магнитно-порошкового контроля деталей.

#### Теоретическая часть

##### ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ МАГНИТНО-ПОРОШКОВОГО МЕТОДА ДЕФЕКТΟΣКОПИИ. НАЗНАЧЕНИЕ МЕТОДА

Магнитно-порошковый метод дефектоскопии предназначен для обнаружения дефектов в виде нарушений сплошности поверхностного слоя ферромагнитных деталей. При этом уверенно выявляются несплошности, выходящие на поверхность материала и лежащие на небольшой глубине (до 2 мм).

Магнитно-порошковый метод позволяет выявлять несплошности в виде трещин (различного происхождения), флокенов, волосовин, непроваров, расслоений, а также другие дефекты с раскрытием около 0,001 мм. Метод магнитного порошка допускает контроль деталей после оксидирования, окраски или нанесения металлических покрытий (без удаления последних).

Многолетний опыт практического применения магнитно-порошкового метода в условиях ремонтных и эксплуатирующих подразделений ГА показал высокую надежность, относительную простоту проведения контроля и универсальность применения. Если учесть при этом, что большая часть силовых элемен-

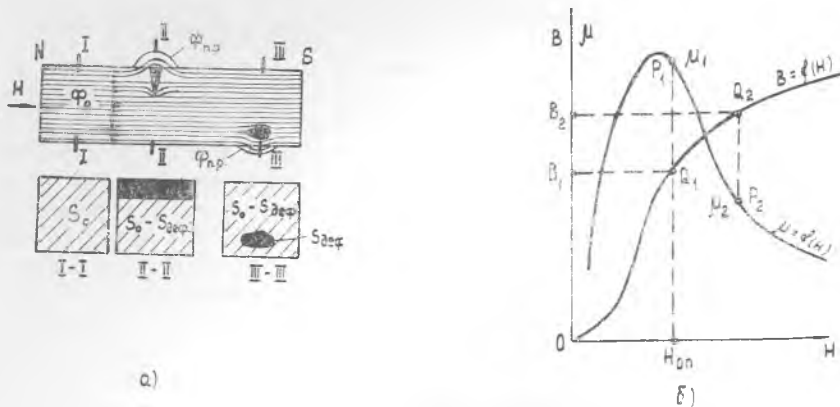


Рис. 1.1. Характер распределения магнитного потока в ферромагнитном материале с дефектом

*a* — картина распределения магнитного потока; *б* — кривые изменения магнитного состояния материала.

тов самолета наиболее подверженных разрушению изготовлена из ферромагнитных материалов, то можно считать магнитно-порошковый метод дефектоскопии основным методом эксплуатационного контроля.

### Основной принцип

В основу магнитно-порошкового метода дефектоскопии положена возможность обнаружения различного рода несплошностей ферромагнитных материалов по картине осевшего (контрастного с поверхностью) магнитного порошка.

При намагничивании ферромагнитных деталей в местах магнитной неоднородности материала (несплошностях) возникают интенсивные магнитные поля рассеивания. Они отличаются высокой неоднородностью (напряженность поля резко убывает при удалении от края дефекта) и строгой локализацией. Эти особенности полей рассеивания создают благоприятные условия для их обнаружения с помощью подвижных ферромагнитных частиц, затягиваемых к краям дефекта.

Интенсивность полей рассеивания определяет чувствительность магнитно-порошкового метода дефектоскопии. Это обстоятельство приводит к необходимости более подробного изучения механизма их возникновения.

Рассмотрим явления, происходящие при намагничивании ферромагнитного материала с дефектом (рис. 1.1 *a*). При помещении его в магнитное поле действующая индукция  $B$  зависит от величины напряженности поля  $H$  и магнитных характеристик материала  $\mu B = \mu H$ .

Пусть при некоторой напряженности поля  $H_{\text{оп}}$  индукция на участке (удаленном от дефекта) достигла величины  $B_1$ , которой соответствует точка  $Q_1$  на кривой  $B=f(H)$  (рис. 1.16). Магнитная проницаемость материала при этом определяется положением точки  $P_1$  на кривой  $M=f(H)$ , находящейся как раз за значением  $\mu_{\text{max}}$  (рис. 1.16). Магнитный поток  $\Phi_0$  доброкачественной части  $\Phi_0=B_1 \cdot S_0$ , где  $S_0$  — площадь сечения I—I.

В силу неразрывности магнитного потока индукция в дефектном сечении определится как  $B_2 = \frac{\Phi_0}{(S_0 - S_{\text{деф}})}$ , где  $(S_0 - S_{\text{деф}})$  — площадь сечения II—II или III—III.

Новому значению индукции соответствует точка  $Q_2$  на кривой  $B=f(H)$ , а ей, в свою очередь, точка  $P_2$  на кривой  $\mu=f(H)$ . В силу условий выбора величины  $H_{\text{оп}}$  магнитная проницаемость в дефектном сечении (точка  $P_2$ ) будет меньше проницаемости материала доброкачественной части (точка  $P_1$ ), т. е.  $\mu_1 > \mu_2$ .

Таким образом, большему значению индукции должно соответствовать меньшее сечение, которое при этом обладает меньшей магнитной проницаемостью. В результате этого часть магнитного потока выходит в полость дефекта, а также рассеивается в среде над дефектом (рис. 1.1а, сечение II—II). Естественно, что при глубоком расположении дефекта возникают более слабые поля рассеивания, поскольку в этом случае прослойка материала над дефектом сглаживает искажения магнитного поля (рис. 1.1а сечение III—III).

## Магнитные порошки и суспензии

В магнитно-порошковой дефектоскопии для обнаружения магнитных полей рассеивания дефекта используют частицы ферромагнитных порошков, изготовленных из окиси-закиси железа  $\text{Fe}_3\text{O}_4 = \text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , а также частицы ферромагнитной окиси железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\gamma$  — фаза). В ряде случаев используют порошки из окалина железа или отходов стали, а также порошки из ферритов и чистого железа. Наиболее распространен магнитный порошок  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . В практике эксплуатационного контроля его получают путем восстановления сухого железного сурика  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (при температуре  $600 \div 900^\circ\text{C}$ ) в атмосфере продуктов неполного сгорания керосина. Цвет получаемого порошка черный, диаметр частиц  $0,1 \div 100$  мкм.

При контроле деталей с темной или цветной поверхностью используют порошки, имеющие желтую, красную или светло-серую окраску. В последние годы ведутся успешные изыскания способов изготовления порошков, флуоресцирующих в ультрафиолетовом свете. Применение флуоресцирующих порошков открывает путь к полной автоматизации магнитно-порошковой дефектоскопии и резкому повышению чувствительности метода.

Магнитные порошки наносят на поверхность детали в сухом виде, а также в виде суспензий. В качестве жидкой основы суспензии обычно используют различные сорта минеральных масел, керосин или воду. Вязкость суспензии выбирают в пределах  $6 \div 25$  с. *стокс*, исходя из возможностей ее нанесения и перемешивания. Осаждение порошка над дефектом происходит путем притяжения не отдельных частиц порошка, а удлинённых цепочек частиц, формирующихся в суспензии под действием общего поля детали, а также полей рассеивания над дефектом. Размер цепочек во многом определяет чувствительность метода. Формирование цепочек удлинённой формы ( $\geq 0,2$  мм), обеспечивающих высшую чувствительность метода, возможно лишь при использовании высококачественных магнитных порошков с размером частиц около 10 мкм.

Установлено, что скорость роста цепочек и их конечные размеры зависят от следующих факторов:

напряженности магнитного поля в месте формирования цепочки;

магнитных и геометрических характеристик порошка;

вязкости основы суспензии;

концентрации порошка в суспензии;

времени действия поля на суспензию.

В более вязких суспензиях формирование цепочек и их передвижение к краям дефекта происходит значительно медленнее, чем в жидких, исходя из чего вязкость суспензии выбирают минимально возможной.

Для увеличения чувствительности магнитно-порошкового метода в ряде случаев используют искусственное формирование цепочек путем подмагничивания суспензии внешним магнитным полем. На процесс формирования цепочек (магнитную коагуляцию) большое влияние оказывает концентрация порошка в суспензии. Варьируя концентрацию, можно в широких пределах «регулировать» чувствительность магнитно-порошкового метода. Это обстоятельство имеет решающее значение при работе на переносных дефектоскопах, у которых отсутствует плавная регулировка режимов намагничивания деталей. Основные рекомендуемые составы суспензий приведены в таблице 1.1.

### Чувствительность магнитно-порошкового метода

Чувствительность магнитно-порошкового метода характеризуется минимальными размерами дефекта (раскрытие, глубина, длина), при которых он продолжает уверенно обнаруживаться. В ряде случаев чувствительность метода характеризуют надежностью обнаружения мелких дефектов. Чувствительность магнитно-порошкового метода определяют следующие факторы:

напряженность магнитного поля в момент обнаружения дефекта;



Таблица 1.1

Технология контроля	Способ нанесения суспензии	Вязкость, (с. ст.) при 20°C	Концентрация порошка, г/литр	Компоненты
В приложенном магнитном поле (на самолете)	Полив детали из бачка емкостью до 1 литра	21,1	20÷30	МК—8 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
В приложенном магнитном поле (вне самолета)	Полив детали из бачка емкостью до 1 литра	3,6	20÷30	Керосин <sup>1</sup> Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> <sup>2</sup>
В приложенном магнитном поле тока	Полив деталей из бачка или насоса	21,1	10÷20	МК—8 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
На остаточном магнитном поле детали	Полив от насоса	21,1	20÷30	МК—8 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
	Погружение в ванну	4÷21,1	30÷40	Смесь МК—8 и керосина
Комбинированное намагничивание	Полив от насоса	21,1	20÷30	МК—8 Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
На остаточном магнитном поле детали (контроль деталей с резкими концентраторами)	Погружение в ванну (со строгой ориентацией положения)	3,6	5÷6	Керосин Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>

Примечания: 1. При составлении суспензии необходимо использовать осветительный керосин (пиронафт) с температурой вспышки не ниже 30°C (ГОСТ 92—50).  
2. В качестве магнитного порошка следует использовать специальный магнитный порошок черного цвета, выпускаемый Кемеровским заводом (МРТУ № 6—14—74—68) с магнитно-весовой пробой не ниже 7 г и средним диаметром частиц около 10 мкм (отстой в этиловом спирте менее 18 см).

характер и глубина залегания дефекта;  
диаметр частиц порошка и его магнитные характеристики;  
используемая технология контроля.

Высшая чувствительность метода достигается при напряженностях намагничивающего поля, соответствующих максимальной магнитной проницаемости материала детали. Изменение напряженности как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения приводит к снижению чувствительности метода. На рис. 1.2 приведена одна из экспериментальных зависимостей выявляемости мелких шлифовочных трещин от величины напряженности намагничивающего поля.

Выявляемость дефектов в значительной степени определяется также их геометрическими характеристиками и глубиной залегания под поверхностью детали. С увеличением размеров дефектов выявляемость на поверхности детали и в глубине материала резко повышается. С изменением геометрии и в глубины залегания дефектов изменяется также и необходимая напряженность намагничивающего поля. Так, например, усталостные и закалочные трещины, выходящие на поверхность детали, надежно выявляются уже при напряженностях намагничиваю-

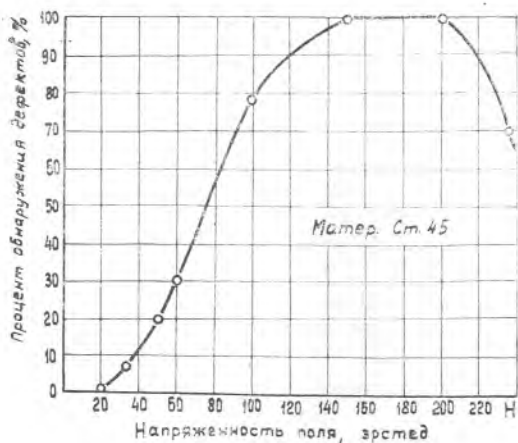


Рис. 1.2. Выявляемость мелких дефектов в зависимости от напряженности намагничивающего поля.

шего поля около 20 эрстед. На рис. 1.3 приведена экспериментальная зависимость между необходимой напряженностью намагничивающего поля и формой дефекта ( $K_{\phi}$ ).

Чувствительность магнитно-порошкового метода в значительной степени зависит также от магнитных и геометрических характеристик порошка. На рис. 1.4а и 1.4б приведены экспериментальные зависимости выявляемости мелких дефектов от магнитных свойств порошка и диаметра его частиц.

Существенное влияние на выявляемость дефектов оказывает используемая технология контроля и характер намагничивающего магнитного поля. Исследования показывают, что наиболее эффективным способом выявления подповерхностных дефектов является контроль деталей в приложенном магнитном поле. Это объясняется тем, что намагничивается практически все сечение детали (поверхностный эффект отсутствует). Сравнительная эффективность различных технологий магнитно-порошкового метода контроля (для подповерхностных дефектов) приведена на рис. 1.5.

### ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАГНИТНО-ПОРОШКОВЫМ МЕТОДОМ

Контроль деталей магнитно-порошковым методом включает следующие операции:

подготовку деталей к контролю;

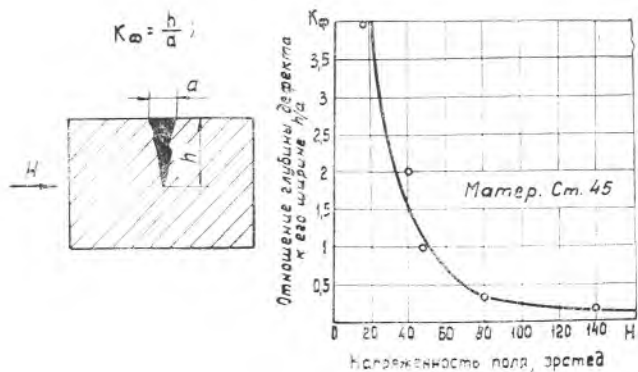


Рис. 1.3. Выявляемость поверхностных дефектов в зависимости от их формы и напряженности намагничивающего поля.

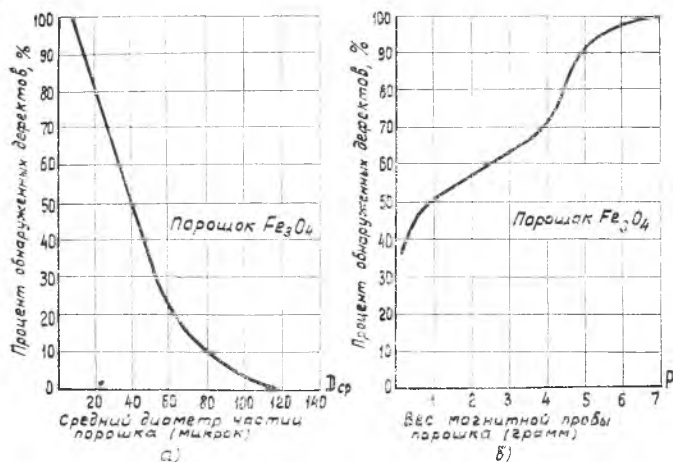


Рис. 1.4. Выявляемость мелких дефектов в зависимости от диаметра частиц  $a$  и магнитно-весовой пробы порошка б

намагничивание деталей;  
 обработку поверхности магнитным порошком (проявление);  
 оценку результатов контроля;  
 размагничивание деталей.

### Подготовка деталей к магнитному контролю

Подготовка деталей к проведению магнитного контроля проводится с целью получения высокого контраста осевшего магнитного порошка и обеспечения смачиваемости поверхности суспен-

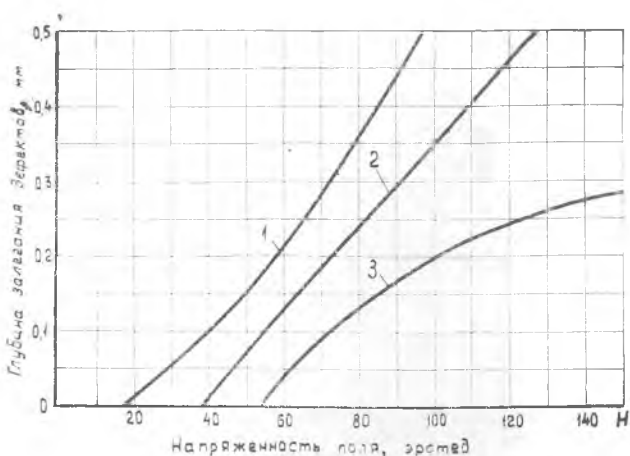


Рис. 1.5. Выявляемость подповерхностных дефектов в зависимости от глубины залегания, напряженности намагничивающего поля и технологии контроля

1 — контроль в приложенном поле; 2 — контроль на остаточной намагниченности детали от постоянного тока; 3 — контроль на остаточной намагниченности детали от переменного тока

зией. Повышение качества механической обработки поверхности имеет значение только при необходимости выявления мелких дефектов типа волосовин и флокенов. При выявлении грубых дефектов (закалочные, «усталостные» трещины и т. д.) качество механической обработки поверхности существенного влияния на чувствительность не оказывает. Метод магнитного порошка допускает контроль деталей после оксидирования, окраски или нанесения металлических покрытий (цинкование, кадмирование, хромирование) при толщине покрытий менее 50 мкм. При контроле деталей с темной поверхностью повышение контраста осевшего порошка достигается за счет нанесения тонких слоев белой краски.

Очистка поверхности детали от загрязнений производится бензином Б-70 с последующим обдувом воздухом или протиркой ветошью. Для предупреждения возможности проникновения суспензии во внутренние полости детали все отверстия, сообщающие поверхность детали с внутренними полостями, замазываются густой чистой смазкой (ЦИАТИМ-201).

### Намагничивание деталей

Намагничивание является основной операцией магнитного контроля, от качества выполнения которой во многом зависит надежность обнаружения дефектов. При контроле на остаточной намагниченности деталей напряженность намагничивающего по-

для получения высших значений чувствительности метода выбирается из условий приведения материала детали в состояние, близкое к магнитному насыщению ( $H_{\text{насыщ}}$ , таблица 1.2).

При контроле в приложенном магнитном поле напряженность намагничивания должна соответствовать условиям приведения материала детали в состояние максимальной магнитной проницаемости ( $0,5H_{\text{насыщ}}$ ). Чрезмерное повышение напряженности намагничивающего поля приводит к снижению чувствительности метода к дефектам. В то же время пороки детали (риски и царапины  $K_{\Phi} \leq 2$ ) могут быть обнаружены и приняты за дефекты. При выборе условий намагничивания, в зависимости от характера предполагаемого дефекта, целесообразно придерживаться режимов, рекомендуемых таблицей 1.3. Режим «повышенной жесткости» при этом применяется только для сталей, имеющих поле насыщения более 100 эрстед (80 а/см).

В зависимости от ориентации дефекта используют несколько типов намагничивающих полей:

- циркулярное магнитное поле;
- продольное магнитное поле;
- комбинированное магнитное поле и т. д.

При выборе типа намагничивающего поля необходимо учитывать, что для получения высокой чувствительности метода направление магнитно-силовых линий должно быть перпендикулярным плоскости раскрытия дефекта. Дефекты, ориентированные под углом менее  $20^\circ$  к направлению силовых линий поля или поверхности детали (расслоения), магнитно-порошковым методом вообще не обнаруживаются. На рис. 1.6 представлены некоторые типы намагничивающих полей и способы их получения.

**Циркулярное поле** используют для обнаружения продольно и радиально (по отношению к оси детали) ориентированных де-

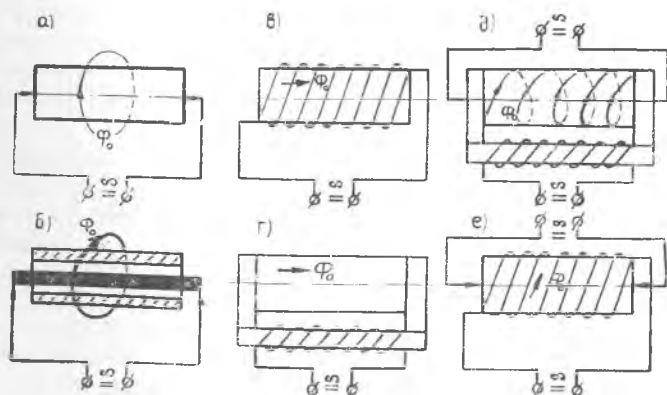


Рис. 1.6. Основные варианты способов намагничивания деталей.

Таблица 1.2

Марка стали	Термическая обработка	Коэффициентная сила, эрстед.	Остаточная индукция, Br (гаус)	Поле насыщения $H_{насыщ.}$ эрстед
30ХГСА	В состоянии поставки (нормализована). Закалка с 880° в масле, отпуск при 570°, охлаждение в масле.	11	—	50
		12	15300	65
	Закалка с 880° в масле, отпуск при 510°, охлаждение в масле	13	14700	90
Ст. 45	В состоянии поставки (нормализована). Закалка с 840° в воде, отпуск при 160°, охлаждение на воздухе.	5	—	35
		12	11800	120
	Закалка с 840° в воде, отпуск при 450°, охлаждение на воздухе	10	15500	80
38ХМЮА	Закалка с 940° в масле, отпуск при 650°, охлаждение в воде (азотированная)	14	10000	200
ШХ-15	Закалка с 840° в масле, отпуск при 160°, охлаждение на воздухе	22	7900	220
18ХНВА	Закалка с 860° на воздухе, отпуск при 160°, охлаждение на воздухе (цементированная)	33	7050	180
Ст.50	Без термообработки (после штампа)	5	—	40
40ХНМА	Закалка с 850° в масле, отпуск при 580°, охлаждение в воде	15	15700	110
38ХА	Закалка с 860° в масле, отпуск при 550°	12	14500	60
У—8	Закалка с 800° в масле, отпуск при 580°, охлаждение на воздухе	20	14000	120
30ХГСНА	Закалка с 880° в масле, отпуск при 580°, охлаждение в масле	32	13900	90

Таблица 1.3

Режим контроля	Для каких деталей рекомендуется	Какие дефекты обнаруживает	Напряженность магнитного поля в момент намагничивания Н
Повышенной жесткости	Контроль деталей с высокой концентрацией напряжений и полированной поверхностью выше $\nabla 10$	Практически 100% всех дефектов, а также глубокие риски	120 эрстед (96 а/см)
Стандартный	Контроль высоконагруженных деталей с чистовой обработкой поверхности выше $\nabla B$	Все дефекты высотой более 0,05 мм, 80% шлифовочных трещин, 50% дефектов на глубине менее 0,5 мм	67 эрстед (54 а/см)
Пониженной жесткости	Для деталей с грубой и получистой обработкой поверхности выше $\nabla 3$	Все существенные дефекты, выходящие на поверхность детали. Часть мелких дефектов.	40 эрстед (32 а/см)
Отбраковка по грубым дефектам	Для деталей с грубой и получистой обработкой поверхности выше $\nabla 3$	Дефекты с высотой $\geq 0,5$ мм (трещины)	20 эрстед (16 а/см)

фектов. Циркулярное поле (поле тока) получают путем пропускания электрического тока через тело детали (рис. 1,6 а) или через специальный токопровод с высокой электропроводностью, помещенный внутрь детали (рис. 1.6,б). Для получения циркулярного поля обычно используют короткий, но мощный импульс электрического (постоянного или переменного) тока. Время пропускания тока обычно выбирают в пределах от 0,001 до 1 сек.

**Продольное магнитное поле** используют для обнаружения дефектов, ориентированных поперек продольной оси детали. Продольное поле получают путем помещения детали в поле соленоида, электромагнита или постоянного магнита. На рис. 1.6 в, г показано положение детали при продольном намагничивании в соленоиде (гибким кабелем) и электромагните. При намагничивании в соленоиде необходимо, чтобы длина соленоида была больше длины детали, т. к. эффективному намагничиванию подвергается только та часть детали, которая находится внутри соленоида. Это положение распространяется также и на работу с электромагнитом.

**Комбинированное магнитное поле** используют только в условиях массового контроля, т. е. в том случае, когда время на проведение контроля ограничено. Комбинированное поле целесообразно использовать также в случаях, когда отсутствуют предварительные сведения о возможной ориентации дефекта. Комбинированное поле получают путем одновременного наложения на деталь двух взаимно-перпендикулярных полей: циркулярного и продольного. Направление магнитной силовой линии комбинированного поля имеет вид спирали различного шага (в зависимости от величины продольной и циркулярной составляющих поля).

На рис. 1.6д и 1.6е представлены схемы получения комбинированного поля. Комбинированное намагничивание всегда можно заменить раздельным продольным и циркулярным намагничиванием.

### Расчет режимов намагничивания

При циркулярном намагничивании деталей расчет тока производят из выражения

$$I_n = \frac{H \cdot D}{4} = 0,25 HD \text{ ампер.}$$

где  $D$  — диаметр детали в контролируемом сечении, мм;

$H$  — напряженность магнитного поля на поверхности детали (табл. 3), эрстед.

Существенное влияние на степень намагниченности деталей оказывают характер используемого электрического тока и способ получения магнитных полей. Эти факторы учитывают путем введения специальных поправочных коэффициентов:

$K_T^-$  1,5 — для переменного тока;

$K_T^+$  1 — для постоянного тока;

$K_T^{np}$  = 0,5 — для приложенного поля.

Тогда с учетом характера намагничивающего тока и способа получения магнитных полей детали расчет тока намагничивания в циркулярном поле ведут из выражения

$$I_n = K_T \cdot \frac{H \cdot D}{4} = 0,25 K_T \cdot H \cdot D \text{ ампер.}$$

При продольном намагничивании деталей в соленоиде расчетный ток намагничивания определяют с учетом постоянной соленоида  $K_{сол}$  из выражения

$$I_n = \frac{H \cdot K_T}{K_{сол}} \text{ ампер.}$$



Постоянную соленоида  $K_{\text{сол}}$  берут по паспорту дефектоскопа или определяют из выражения

$$K_{\text{сол}} = \frac{0,4 \cdot \pi W}{l} \cdot \cos \alpha,$$

где  $W$  — число витков соленоида;

$l$  — длина соленоида, см;

$\alpha$  — угол, образованный диагональю и продольной осью соленоида.

Форма и размеры детали существенно влияют на величину тока, питающего соленоид. Вследствие этого после внесения детали в соленоид необходимо провести корректировку питающего его тока.

При намагничивании деталей с использованием гибкого кабеля с небольшим числом витков ( $\cos \alpha \approx 0,8$ ) ток намагничивания определяют из упрощенной зависимости

$$I_{\text{н}} \approx \frac{H \cdot l \cdot k_{\text{T}}}{W} \text{ ампер},$$

где  $H$  — требуемая напряженность намагничивающего поля, (табл. 3), эрстед;

$l$  — длина намотки кабеля, см;

$W$  — число витков кабеля.

При получении продольного магнитного поля в цепи электромагнита величина намагничивающего тока вычисляется из выражения

$$I_{\text{н}} = \frac{H \cdot l_{\text{м}} \cdot k_{\text{T}}}{W} \text{ ампер},$$

где  $l_{\text{м}}$  — длина магнитной силовой линии с учетом длины детали, см;

$W$  — число витков обмотки электромагнита;

$H$  — требуемая напряженность намагничивающего поля, (табл. 3), эрстед.

При этом расчете принимают, что площадь сечения детали на контролируемом участке не превышает площади сечения магнитопровода электромагнита.

### Источники магнитного поля

По магнитным характеристикам все ферромагнитные материалы условно можно разбить на магнитомягкие и магнитожесткие.

Магнитомягкие ферромагнитные материалы характеризуются узкой петлей гистерезиса и соответственно низкими значениями коэрцитивной силы  $H_c$  и остаточной индукции  $B_r$ . К таким материалам относятся все инструментальные и конструкционные стали в состоянии отжига или нормализации (таблица 1.2).

Для магнитожестких материалов характерна широкая петля гистерезиса, значительная величина коэрцитивной силы и остаточной индукции ( $H_c \geq 10$  эрстед,  $B_2 \geq 10000$  гс). К этой группе материалов относится большая часть углеродистых низколегированных сталей в состоянии закалки.

Магнитожесткие материалы способны сохранять высокую степень намагниченности даже после прекращения действия внешнего источника магнитного поля. Это явление обычно используют при магнитном контроле деталей по методу остаточных магнитных полей. Однако получение остаточных магнитных полей, достаточных для последующего магнитного контроля, сопряжено с необходимостью получения напряженностей намагничивающих полей, близких к порогу насыщения. Требуемая для проведения контроля напряженность магнитного поля может быть получена при меньших затратах энергии. Этого достигают путем совмещения контроля с действием внешнего источника магнитного поля. Магнитный контроль деталей с использованием энергии внешнего источника поля известен как метод приложенного магнитного поля. Для его проведения достаточно иметь источник магнитного поля с напряженностью около половины от необходимой для контроля по методу остаточных магнитных полей. В силу этого отпадает необходимость и в мощных источниках электрической энергии.

Метод приложенного магнитного поля позволяет контролировать детали, изготовленные как из магнитожестких, так и из магнитомягких материалов. Однако при контроле в приложенном магнитном поле внешний источник энергии остается включенным до окончания обработки детали суспензией.

### **Обработка поверхности магнитным порошком (проявление)**

По окончании процесса намагничивания или одновременно с намагничиванием (при использовании приложенного поля) деталь равномерно и обильно поливается (погружается на  $20 \div 60$  сек) хорошо перемешанной суспензией. При поливе напор суспензии должен быть слабым, а струя темного цвета. В процессе полива деталь необходимо располагать так, чтобы суспензия беспрепятственно стекала со всех участков ее поверхности.

Сухие магнитные порошки наносят на поверхность детали распылителем, просеиванием через сито или путем погружения детали в сосуд с порошком. Для облегчения передвижения частиц порошка к дефекту деталь необходимо слегка встряхивать или обдуть струей воздуха (при слабом давлении).

В целях увеличения зрительного контраста картины дефек-

тов после обработки порошком деталь можно погрузить на несколько секунд в сосуд с чистым керосином (но не промывать!).

### Оценка результатов контроля

Картина осаждения магнитного порошка на дефектах различного происхождения имеет ряд характерных особенностей.

Закалочные, ковочные, штамповочные, сварочные и усталостные трещины проявляются обычно в виде прямых или зигзагообразных линий различного направления, с резким плотным осаждением магнитного порошка.

Флокены обнаруживаются в виде отдельных искривленных или прямолинейных черточек, расположенных в одиночку или группами, с контрастным осаждением магнитного порошка.

Волосовины выявляются в виде прямых или слегка изогнутых по волокну тонких черточек с различной интенсивностью осаждения магнитного порошка.

Шлифовочные трещины обнаруживаются в виде характерной сетки или тонких параллельных линий, ориентированных попеременно направления шлифования с контрастным осаждением магнитного порошка.

Подповерхностные дефекты имеют, как правило, размытую картину осаждения магнитного порошка и низкую повторяемость результатов.

Магнитный порошок иногда осаждается также и в местах магнитной неоднородности материала, не связанной с наличием дефектов. Это явление возникает чаще всего в местах наклепа материала (удары, клейма), в зонах резкой структурной неоднородности (граница ферромагнитного материала и аустенитного сварного шва, карбидная, аустенитная или ферритная полосчатость), при резких изменениях площади поперечного сечения, на острых кромках, рисках, галтельных переходах, впадинах резьбы и т. д.).

Поскольку осаждением магнитного порошка на «ложных» дефектах не связано с нарушением сплошности материала, оно не является основанием для выбраковки деталей. Основным способом разделения «ложных» и настоящих дефектов является повторный магнитный контроль. Повторный контроль проводят, как правило, с изменением режимов намагничивания, концентрации порошка в суспензии и после полного размагничивания детали. В отдельных случаях используют также местную зачистку поверхности надфилем или наждачным полотном. Дефекты, в отличие от «ложных» осадений порошка, продолжают выявляться независимо от проведенных мероприятий.

Осмотр деталей необходимо проводить при местном, направленном освещении лампы с рефлектором или в пучке отфильтрованного ультрафиолетового света (при использовании флуорес-

цирующих магнитных порошков). Освещенность поверхности детали при осмотре в дневном свете должна составлять не менее 300 люкс. При осмотре в УФС — не менее 300 «черных» люкс. Допускается осмотр отдельных участков деталей через лупу 3—5-кратного увеличения.

### Размагничивание деталей

После проведения магнитного контроля детали необходимо размагнитить, в противном случае наличие остаточной намагниченности может привести к ряду вредных последствий: повышенному износу трущихся пар из-за прилипания продуктов износа к поверхности намагниченной детали, нарушению нормальной работы навигационных приборов (компасов), увеличению скорости коррозии вращающихся деталей в результате возникновения вихревых токов.

Размагничивание осуществляется путем помещения намагниченной детали в переменное магнитное поле с постепенно убывающей амплитудой напряженности. Начальное значение напряженности размагничивающего поля обычно выбирают большим или равным величине остаточной напряженности поля детали. Детали не требуют специального размагничивания, если после проведения контроля они подвергаются нагреву до температуры выше  $400\div 500^{\circ}\text{C}$ . Причиной исчезновения остаточной намагниченности в этом случае является быстрое снижение величины коэрцитивной силы материала при повышении температуры (приближении к точке Кюри). При размагничивании используют те же типы полей, что и при намагничивании деталей (рис. 1.6).

При размагничивании необходимо следить за тем, чтобы направление размагничивающего поля совпадало с направлением остаточных полей детали. Соблюдение этого условия позволяет провести качественное размагничивание с наименьшими затратами энергии.

Размагничивание продольно намагниченных деталей обычно проводят в соленоиде или электромагните с питанием от источника переменного тока. Величина питающего тока постепенно снижается от расчетных значений до нуля. Уменьшение величины размагничивающего поля осуществляется за счет постепенного удаления детали от соленоида или электромагнита на расстояние до 1 метра.

Размагничивание циркулярно намагниченных деталей осуществляют по схеме циркулярного намагничивания с плавным снижением величины питающего переменного тока.

При размагничивании деталей, контроль которых проводился по методу остаточного магнитного поля, величину тока размагничивания выбирают равной (или несколько большей) половине тока намагничивания. При размагничивании деталей,

контролируемых по методу приближенного магнитного поля, исходное значение тока размагничивания выбирают равным или несколько большим тока намагничивания.

Для контроля качества размагничивания (остаточной намагниченности) деталей используют специальные приборы (полюсоискатель ФП-1, прибор контроля размагниченности ПКР-1), а также подсобные средства (компас, металлические щупы или опилки).

Повышению качества размагничивания крупных деталей способствует снижение частоты питающего тока до 10—15 *пер/мин*, а также увеличение начальной напряженности размагничивающего поля. При питании размагничивающего устройства от сети *H* переменного тока (50 *пер/сек*) эффективно размагничиванию (в силу наличия поверхностного эффекта) подвергается только поверхностный слой детали (5÷8 *мм*). При этом наличие внутренних намагниченных слоев материала может привести к повторному «намагничиванию» детали в процессе ее работы.

### ДЕФЕКТОСКОПЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАГНИТНО-ПОРОШКОВЫМ МЕТОДОМ

По своему назначению и конструктивному оформлению дефектоскопы, предназначенные для проведения контроля деталей по магнитно-порошковому методу можно подразделить на три группы: стационарные, передвижные и переносные. В каждой группе дефектоскопы различаются между собой величиной намагничивающего тока, степенью универсальности, габаритами контролируемых деталей и т. д.

К числу стационарных универсальных дефектоскопов, позволяющих проводить полный комплекс операций магнитного контроля на крупных деталях следует отнести выпускаемые нашей промышленностью дефектоскопы УМД-9000, МД-77, УМДЭ-10000, У604-64.

Для контроля средних и мелких деталей предназначены стационарные дефектоскопы УМДЭ-2500,  $F_x$ —100/1500, МДА—3—408, МД—3М, МД—4, ЦНВ—3 и ряд других.

Для контроля массивных деталей и узлов без демонтажа с самолета предназначен ряд передвижных дефектоскопов типа У601-64, ПМДА-52, ДМП-2, ДМП-3. Эти дефектоскопы позволяют намагничивать детали постоянным или переменным током, а также проводить весь комплекс операций магнитно-порошкового метода контроля в условиях ангара и оборудованных стоянок самолетов.

В практике ремонта и технического обслуживания самолетов и вертолетов часть деталей контролируется в полевых условиях. В этих случаях обычно используют переносные магнитные дефектоскопы типа 77ПМД-3М или ПМД-3-408. Особен-

Наименование и тип прибора	Краткая техническая характеристика	Область применения
Универсальный стационарный магнитный дефектоскоп УМД—10000	Сила намагничивающего тока плавно регулируется от 0 до 12000 <i>a</i> . Размеры детали: длина 6000 <i>мм</i> , диаметр 1000 <i>мм</i> . Намагничивание комбинированное и раздельное. Автоматическое размагничивание	Крупные и средние детали. Дефекты любого происхождения на глубине до 2 <i>мм</i>
Универсальный стационарный магнитный дефектоскоп УМД—9000	Максимальный ток циркулярного намагничивания 10000 <i>a</i> . Напряженность магнитного поля при продольном намагничивании до 500 <i>эрстед</i> . Размеры детали: длина 1600 <i>мм</i> , диаметр 800 <i>мм</i> . Намагничивание комбинированное и раздельное	Та же
Универсальные стационарные магнитные дефектоскопы УМДЭ—2500 (УМДЭ—1000)	Снабжен электронно-ионным управлением. Намагничивание комбинированное и раздельное. Размагничивание автоматическое. Габариты детали: длина 1700 <i>мм</i> , диаметр 370 <i>мм</i> . Максимальный ток циркулярного намагничивания 4000 <i>a</i>	Контроль деталей небольших и средних размеров
Универсальный стационарный магнитный дефектоскоп МДА—3	Крепление детали вертикальное. Максимальный намагничивающий ток 600 <i>a</i> . Габариты детали: длина 900 <i>мм</i> , диаметр 400 <i>мм</i> . Намагничивание циркулярное и продольное	Контроль деталей средних размеров
Модернизированный стационарный магнитный дефектоскоп МД—77М	Намагничивание постоянным током до 600 <i>a</i> . Габариты детали: длина 1800 <i>мм</i> . Намагничивание циркулярное и продольное	Контроль разнообразных авиационных деталей
Передвижной магнитный дефектоскоп ДМП—2	Плавная регулировка намагничивающего тока: до 1500 <i>a</i> переменного и до 400 <i>a</i> постоянного. Комплект принадлежностей для местного продольного намагничивания. Насосная станция для подачи суспензии. Питание 220 <i>в</i> переменного тока. Потребляемая мощность до 8 <i>квт</i> . Вес с приспособлениями 260 <i>кг</i> . Намагничивание циркулярное и продольное	Обнаружение поверхностных и подповерхностных дефектов на авиационных деталях. Контроль крупных деталей по участкам

Наименование и тип прибора	Краткая техническая характеристика	Область применения
Переносный магнитный дефектоскоп 77ПМД—3М	Прибор смонтирован в чемодане 630×330×210 мм. Питание от сети переменного тока 220 в и постоянного тока 27 в. Вес прибора не более 30 кг. Потребляемая мощность не более 700 вт. Намагничивание простое	Выявление дефектов авиационных деталей (непосредственно на самолете без предварительного демонтажа)

ностью указанных дефектоскопов является их сравнительная компактность, а также возможность питания от автономных источников электроэнергии [9]. Основные технические данные некоторых отечественных дефектоскопов приведены в таблице 14.

### Практическая часть

#### ПРИГОТОВЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ СУСПЕНЗИИ И КОНТРОЛЬ ЕЕ КАЧЕСТВА

##### Приготовление жидкой основы суспензии

Работа включает следующее:

- выбор исходной вязкости основы суспензии;
- подбор процентного содержания компонентов основы суспензии.

##### Порядок выполнения работы

В зависимости от выбранного способа нанесения суспензии в соответствии с рекомендациями, приведенными в таблице 1, произвести подбор вязкости основы суспензии. При составлении

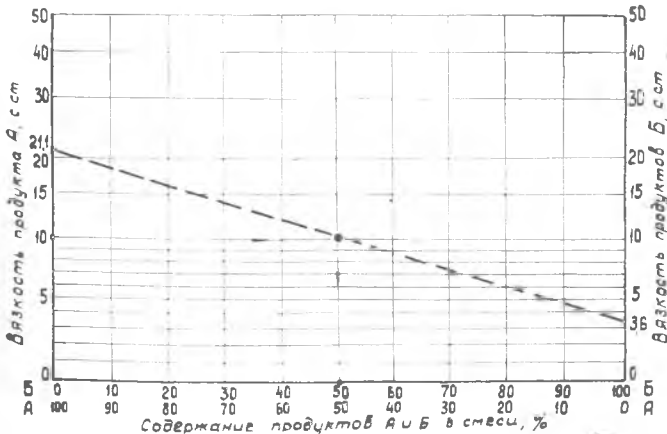


Рис. 1.7. Номограмма для определения вязкости смеси нефтепродуктов.

суспензии из нескольких компонентов их процентное содержание вычисляется по номограмме (рис. 1.7).

Порядок определения соотношения компонентов жидкой основы суспензии по номограмме следующий:

1) на шкале вязкости продукта А отметить вязкость загустителя суспензии (МК-8—21,1 с. стокс);

2) на шкале вязкости продукта Б отметить вязкость основы суспензии (керосин — 3,6 с. стокс);

3) соединить полученные точки прямой линией;

4) из точки пересечения полученной линии с линией требуемой вязкости основы суспензии опустить перпендикуляр. Его положение указывает на требуемое соотношение продуктов А и Б (керосина и масла).

### Контроль качества магнитного порошка

Работа включает следующее:

контроль среднего диаметра частиц порошка;

контроль магнитной восприимчивости порошка.

#### Порядок выполнения работы

Средний диаметр частиц порошка определяется методом отстаивания взвеси порошка в этиловом спирте. Работа ведется на установке, представленной на рис. 1.8.

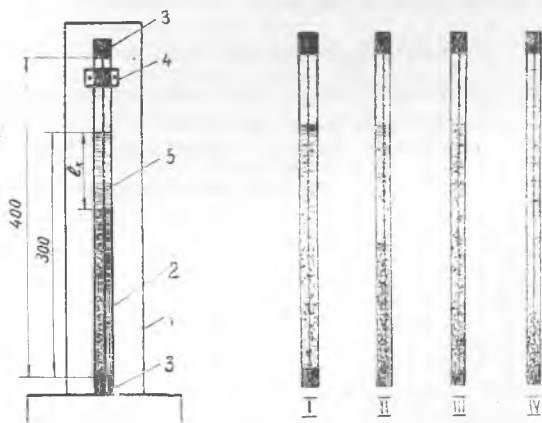


Рис. 1.8. Установка для контроля величины частиц порошка.

1 — штатив; 2 — мерная трубка; 3 — пробка; 4 — хомут; 5 — шкала. I — равномерно перемешанная суспензия, II — осаждение неоднородного порошка, III — осаждение однородного порошка; IV — осаждение однородного (крупного) порошка.

Операции необходимо производить в следующей последовательности:

1) отвесить 3 грамма исследуемого порошка;



- 2) налить в стеклянную трубку длиной 40 см этиловый спирт до половины объема;
- 3) всыпать навеску порошка в трубку и тщательно перемешать до получения однородной суспензии;
- 4) долить спирт до отметки 30 см, вновь тщательно перемешать;
- 5) поместить трубку в штатив, оборудованный миллиметровой шкалой, и включить секундомер (песочные часы);
- 6) через три минуты измерить высоту просвечивающей суспензии  $l_x$ .

Порошок считается пригодным к работе, если высота «мутной» суспензии после 3-х минут отстоя более 18 см, что соответствует порошку со средним диаметром частиц около 10 микрон.

Контроль магнитной восприимчивости порошка, являющейся комплексным показателем магнитных характеристик, производится методом оценки магнито-весовой пробы на установке, представленной на рис. 1.9.

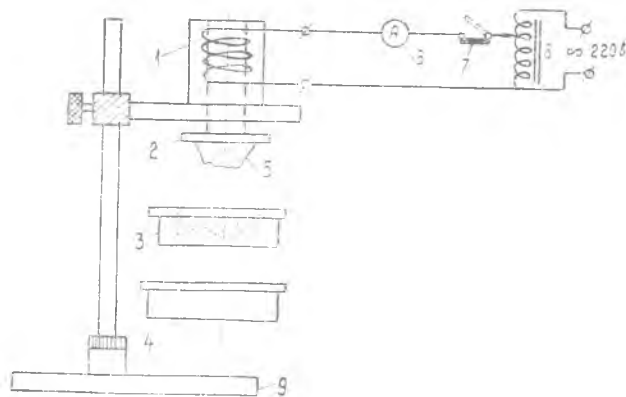


Рис. 1.9. Установка для контроля магнитных характеристик порошка.

1 — электромагнит; 2 — диск (дюраль); 3 — чашка с порошком; 4 — чашка для сбора порошка; 5 — проба порошка; 6 — амперметр; 7 — тумблер питания; 8 — автотрансформатор; 9 — штатив.

Последовательность операций:

- 1) засыпать исследуемый порошок в мерную чашку и выровнять линейной по верхнему торцу (без утрамбовки);
- 2) включить установку в сеть с напряжением 220 в и автотрансформатором (реостатом) установить ток электромагнита 1,3 а.
- 3) отключить питание;
- 4) поднести мерное кольцо с порошком вплотную к диску электромагнита и включить питание;

5) через 5÷10 сек плавно опустить мерное кольцо на 10÷15 см;

6) после прекращения осыпания порошка подвести под прилипший к диску порошок чашку для сбора навески;

7) отключить питание электромагнита;

8) взвесить навеску порошка (вес чашки для сбора порошка указан на ее днище).

Магнитно-весовая проба определяется по данным трех измерений. Порошок считается пригодным к работе, если его магнитно-весовая проба составляет не менее 7 г.

### Приготовление суспензии

Работа включает следующее:

выбор концентрации магнитного порошка;

приготовление однородной магнитной суспензии.

Работа ведется в следующей последовательности:

1) в зависимости от характера предполагаемого дефекта, конструктивного оформления детали и способа нанесения суспензии (см. таблицу 1) произвести подбор исходной концентрации магнитного порошка;

2) отвесить необходимое количество магнитного порошка (из расчета получения 100 см<sup>3</sup> суспензии);

3) в сосуд с расчетным количеством загустителя (масла) всыпать навеску порошка и тщательно перемешать до получения однородной суспензии;

4) долить расчетное количество жидкой основы (керосина) и вновь тщательно перемешать суспензию.

### Контроль качества суспензии по эталону

Работа включает следующее:

проверку качества суспензии по эталону с трещиной;

оценку пригодности суспензии по характеру выявленных дефектов эталона.

Контроль качества суспензии ведется по способности выявления эталонных дефектов. Эталоны содержат дефекты, видимые невооруженным глазом, и дефекты, соответствующие верхнему пределу чувствительности магнитно-порошкового метода.

Последовательность операций:

1) погрузить заранее намагниченный эталон в хорошо перемешанную суспензию;

2) через 20÷30 секунд извлечь эталон из суспензии и осмотреть;

3) сравнить картину оседания порошка на эталонных дефектах с паспортными данными. Суспензия считается пригодной к

работе, если выявлены все указанные в паспорте эталона дефекты.

## РАСЧЕТ РЕЖИМОВ КОНТРОЛЯ ДЛЯ ИССЛЕДУЕМОЙ ДЕТАЛИ (деталь предлагается в виде эскиза)

Последовательность операций:

- 1) уточнить наименование детали, марку стали, термическую обработку;
- 2) по таблице 2 уточнить основные магнитные характеристики материала детали ( $B_r$ ,  $H_c$ ,  $H_{насыщ}$ );
- 3) выбрать метод контроля и способ намагничивания исходя из особенностей топографии предполагаемого дефекта, а также геометрических и магнитных характеристик детали;
- 4) выбрать режим намагничивания (таблица 3) исходя из требуемого уровня чувствительности и состояния поверхности детали;
- 5) произвести расчет тока намагничивания;
- 6) по результатам расчета тока намагничивания и учитывая особенности конструкции детали, подобрать дефектоскопическую аппаратуру (таблица 4);
- 7) выбрать схему и способ размагничивания, определить ток размагничивания.

### СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Краткое изложение физической сущности магнитно-порошкового метода дефектоскопии.
  2. Данные по подбору и контролю качества компонентов суспензии.
  3. Данные по расчету режимов контроля.
- 
-

## Лабораторная работа № 2

### КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ МАГНИТНО-ПОРОШКОВЫМ МЕТОДОМ

**Цель работы** — ознакомление с основными данными, назначением и конструкцией магнитных дефектоскопов, а также приобретение практических навыков контроля деталей с использованием дефектоскопической аппаратуры, работающей по магнитно-порошковому методу.

#### Теоретическая часть

##### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ДЕФЕКТΟΣКОПА $F_x-100/1500$ («ХОИБАХ») НАЗНАЧЕНИЕ ДЕФЕКТΟΣКОПА

Универсальный стационарный магнитный дефектоскоп  $F_x-100/1500$  предназначен для обнаружения поверхностных и подповерхностных дефектов в ферромагнитных деталях различной конфигурации и размеров. Дефектоскоп позволяет намагничивать детали циркулярным, продольным и комбинированным магнитным полем.

Циркулярное намагничивание осуществляется переменным током с плавной регулировкой.

Продольное намагничивание осуществляется при помощи электромагнита, питаемого постоянным током от автономной системы (мотор-генератор), или в соленоиде с питанием от сети переменного тока.

Комбинированное намагничивание достигается путем одновременного пропуска через деталь переменного тока и магнитного потока от электромагнита. Дефектоскоп позволяет про-

водить качественное размагничивание деталей с использованием затухающего циркулярного поля с питанием от сети переменного тока, а также размагничивание в поле электромагнита с ручной коммутацией питающего тока. Размагничивание может быть проведено и в затухающем переменном поле соленоида с питанием от сети.

Наличие автономной насосной станции для подачи суспензии позволяет проводить обработку детали при использовании как приложенного, так и остаточного магнитного поля.

### Основные технические данные дефектоскопа

Максимальный ток циркулярного намагничивания — 1500 а (плавная регулировка от 0 до 1500 а).

Максимальная напряженность поля электромагнита — 240 эрстед (плавная регулировка от 0 до 100 в). Напряженность поля электромагнита (без учета длины детали) может быть определена по формуле

$$H = 3V,$$

где  $v$  — напряжение питания электромагнита, в;

максимальная потребляемая мощность 10 кВт;

производительность насоса подачи суспензии около 1 л/мин;

освещенность детали не менее 1000 лк.;

питание от сети переменного трехфазного тока 220 в (50 гц).

### Принципиальная схема дефектоскопа

В принципиальную схему дефектоскопа входят следующие элементы (рис. 2.1):

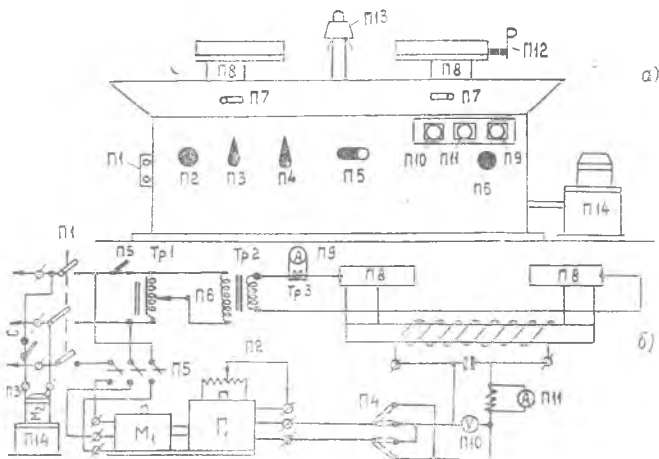


Рис. 2.1. Принципиальная схема (а) и панель управления (б) дефектоскопа  $F_x - 100/1500$  «Хойбах».

магнитный пускатель (П<sub>1</sub>);  
 понижающий автотрансформатор (Тр<sub>1</sub> 220/0 в с плавной регулировкой);  
 силовой понижающий автотрансформатор 220/6 в (Тр<sub>2</sub>);  
 трансформатор тока 1500/5 а (Тр<sub>3</sub>);  
 мотор-генератор (М<sub>1</sub>—Г<sub>1</sub>) 110 в постоянного тока мощностью 1 кВт;  
 шунтовой реостат (П<sub>2</sub>);  
 электромагнит с подвижными полюсами (П8) и обмоткой;  
 килоамперметр (П9), вольтметр (П10) с пределами 2000 а и 120 в и амперметр с шатуном (П11) на 10 а;  
 переключатели, насосная станция, розетки, осветитель и т. д.

### Конструкция дефектоскопа

Дефектоскоп выполнен в виде сварного каркаса, покрытого сверху литой ванной. Все электрические цепи, трансформаторы, мотор-генератор, обмотка электромагнита находятся в нижней части дефектоскопа за съемными панелями (рис. 2.2а).

В верхней части дефектоскопа (над ванной для сбора суспензии) находятся подвижные полюсные наконечники (П8), фиксируемые от проворота стопорами (П7). Подача правого наконечника для зажима детали производится ручкой (П12). Фиксация положения левого наконечника достигается стопором. Для стока из ванны и повторного использования суспензии в дне ванны имеется отверстие. Непосредственно под ванной в поле зрения оператора находятся килоамперметр (П9), ампер-

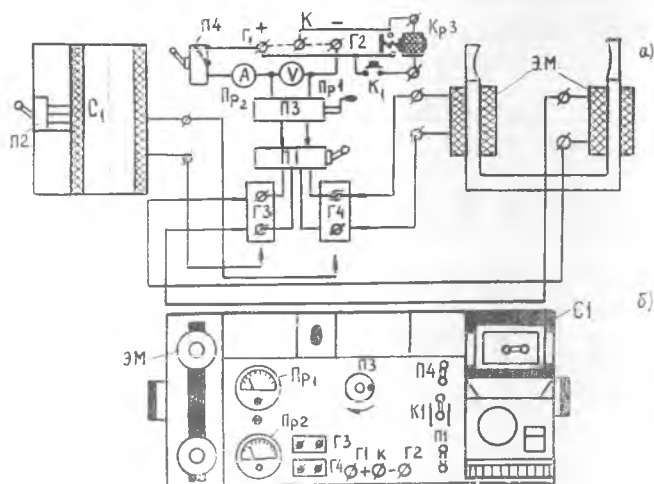


Рис. 2.2. Принципиальная схема (а) и панель управления (б) дефектоскопа 77ПМД-ЭМ.

метр (П11) и вольтметр (П10). Осветитель (П13) обеспечивает возможность точной ориентации света при контроле.

На переднюю панель дефектоскопа вынесены следующие органы управления:

П1 — включение магнитного пускателя. Ручка служит для подключения дефектоскопа к сети переменного тока.

П2 — регулировка тока возбуждения генератора. Ручка служит для плавного изменения напряжения питания электромагнита.

П3 — включение подачи суспензии. Ручка служит для подачи питания на мотор электропомпы (П14).

П4 — перемены полярности питания электромагнита. Ручка служит для коммутации тока электромагнита при размагничивании.

П5 — изменение рода работы дефектоскопа. Ручка служит для коммутации питания на силовой трансформатор («циркулярное намагничивание»), мотор-генератор («полюсное намагничивание») или для их совместной работы («комбинированное намагничивание»).

П6 — изменение тока циркулярного намагничивания. Ручка управляет изменением напряжения питания силового трансформатора (Тр2).

## Руководство по эксплуатации дефектоскопа

### *Подготовка дефектоскопа к работе*

1. Перед подачей питания к дефектоскопу проверить положение ручек:

- П1 — выключено,
- П2 — влево до упора,
- П3 — выключено,
- П4 — в среднем положении,
- П5 — выключено (ручка вверх).
- П6 — влево до упора.

2. Включить АЗСы на электрошите (3 фазы).

3. Включить осветитель П13.

4. Включить П3 и проверить подачу суспензии по шлангу.

### *«Циркулярное» намагничивание*

1. Установить на полюсные наконечники (П8) свинцовые «подушки».

2. Ручкой П11 крепко (усилие на ручке 10÷15 кг) зажать между полюсными наконечниками подготовленную к контролю деталь (токопровод).

3. Нажать кнопку П1 включения дефектоскопа.

4. Установить ручку П5 в положение «циркулярно» (ручка вниз).

## ВНИМАНИЕ!

Операция настройки дефектоскопа для исключения перегрева детали не должна занимать более 2—3 секунд!

Во избежание попаданий брызг расплавленного свинца в глаза при проведении настройки и последующего намагничивания детали необходимо пользоваться защитными очками!

5. Настроить дефектоскоп. Для этого ручкой П6 установить указанный в инструкционной карте рабочий ток.

6. Произвести намагничивание детали. Для этого перевести ручку П5 в положение «циркулярно» на 1÷2 сек. и вернуть в положение «выключено».

7. Отключить дефектоскоп, нажав кнопку П1.

8. Провести обработку детали суспензий. После окончания суспензии осмотреть деталь.

9. Все ручки управления вернуть в исходное положение.

### *Полюсное (продольное) намагничивание*

1. Зажать деталь между полюсными наконечниками П8 (свинцовые «подушки» необходимо удалить).

2. Включить дефектоскоп кнопкой П1.

3. Ручку П4 перевести в положение «Включена полюсность».

4. Ручку П5 перевести в положение «Полюсное намагничивание».

5. Намагнитить деталь. Для этого установить напряжение и ток соленоида в соответствии с указаниями инструкционной карты.

6. При контроле в приложенном магнитном поле провести обработку детали суспензий. После окончания стекания суспензии отключить дефектоскоп кнопкой П1. Осмотреть деталь.

7. При контроле на остаточном поле детали через 1÷2 сек. выключить дефектоскоп кнопкой П1 и провести обработку детали суспензией. После стекания суспензии осмотреть деталь.

8. Все ручки вернуть в исходное положение.

### *Продольное намагничивание в поле соленоида*

1. Зажать соленоид полюсными наконечниками П8 рукояткой П12 (свинцовые «подушки» не устанавливать).

2. Поместить деталь в соленоид (участок детали, на котором возможно появление дефекта, должен находиться внутри соленоида).

3. Провести операции настройки дефектоскопа и намагничивания в соответствии с режимом «Циркулярного намагничивания» (пункты 3, 4, 5, 6).

4. Отключить дефектоскоп кнопкой П1.



5. Обработать деталь суспензией. После окончания стекания суспензии деталь осмотреть.

#### *Размагничивание в циркулярном поле*

1. Подготовить дефектоскоп к работе в соответствии с режимом циркулярного намагничивания (пункты 1, 2, 3, 4).
2. Ручкой П6 установить ток, равный половине тока намагничивания и плавно (за 2—3 сек) снизить до нуля.
3. Отключить дефектоскоп кнопкой П1.
4. Провести проверку качества размагничивания детали.
5. Все ручки вернуть в исходное положение.

#### *Размагничивание в продольном поле электромагнита (коммутацией тока)*

1. Подготовить дефектоскоп к работе в соответствии с режимом полюсного (продольного) намагничивания (пункты 1, 2, 3, 4, 5).
2. Размагнитить деталь. Для этого ручку П4 непрерывно переводить из положения «Включена полюсность» в положение «Переключена полюсность» (с частотой 1 переключение в секунду), а ручкой П2 плавно снизить напряжение и ток электромагнита до нуля.
3. Отключить дефектоскоп кнопкой П1.
4. Проверить качество размагничивания детали.
5. Все ручки вернуть в исходное положение.

#### *Размагничивание в поле соленоида*

1. Подготовить дефектоскоп к работе в соответствии с режимом «Намагничивание детали в поле соленоида» (пункты 1, 2).
2. Ручку П5 перевести в положение «циркулярно».
3. Ручкой П6 довести ток до значений тока намагничивания в соленоиде и плавно (за 2—3 сек) снизить до нуля.
4. Проверить качество размагничивания детали.
5. Отключить дефектоскоп кнопкой П1.
6. Все ручки вернуть в исходное положение.

### **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ДЕФЕКТОСКОПА 77ПМД-3М**

Переносный магнитный дефектоскоп 77ПМД-3М предназначен для проведения магнитно-порошкового контроля различных по геометрии и физическим свойствам ферромагнитных деталей. Он позволяет проводить контроль как снятых, так и установленных в конструкцию деталей.

Контроль ведется при продольном намагничивании с использованием остаточного и приложенного магнитных полей.

Намагничивание может быть проведено с использованием электромагнита, соленоида или гибкого кабеля. Дефектоскоп позволяет проводить также качественное размагничивание деталей с использованием коммутации тока или от сети переменного тока.

Комплект принадлежностей дефектоскопа позволяет проводить весь комплекс операций магнитно-порошкового метода контроля.

### Основные технические данные дефектоскопа

Источник питания — сеть постоянного (24 в) или переменного (220 в);

рабочий ток не более 3 а — постоянный и 1,4 а — переменный;

максимальное расстояние между полюсами электромагнита 350 мм;

максимальный ток при работе с гибким кабелем — 300 а.

### Принципиальная схема дефектоскопа

В принципиальную схему дефектоскопа входят следующие элементы (рис. 2.2):

электромагнит с двумя обмотками для намагничивания и размагничивания деталей — Э. М.;

соленоид с двумя обмотками для намагничивания и размагничивания деталей — С<sub>1</sub>;

прибор для измерения напряжения питания — П<sub>р1</sub>;

прибор для измерения силы тока — П<sub>р2</sub>;

переключатель режимов работы дефектоскопа (намагничивание — размагничивание) — П<sub>1</sub>;

переключатель режимов работы соленоида (переменный — постоянный ток) — П<sub>2</sub>;

коммутатор тока изменения направления тока при размагничивании — П<sub>3</sub>;

тумблер включения электромагнита (соленоида) — П<sub>4</sub>;

кнопка контактора (КрЗ) для подключения гибкого кабеля к аккумулятору — К<sub>1</sub>;

клеммы для подключения к сети питания — «Г<sub>1</sub>», «Г<sub>2</sub>»;

клеммы для подключения гибкого кабеля — «Г<sub>2</sub>», «К»;

гнезда для подключения электромагнита (соленоида) «Г<sub>3</sub>», «Г<sub>4</sub>».

В комплект прибора входят: бочок с суспензией, провод питания, полюсные наконечники, лупа, коробка с магнитным порошком, ванночка для сбора суспензии.

## Конструкция дефектоскопа

Дефектоскоп выполнен в виде металлического чемодана с откидной верхней крышкой. На боковых стенках чемодана имеются ручки для переноски. На верхней панели дефектоскопа (рис. 2.26) установлен пульт управления и специальные отсеки для комплектующих принадлежностей.

Сердечник электромагнита (Э. М.) и четыре пары сменных полюсных наконечников изготовлены из магнито-мягкой стали. На сердечнике установлены две обмотки. От каждой обмотки отходят самостоятельные выводы с вилками, чем обеспечивается возможность их различной коммутации при намагничивании и размагничивании деталей.

Соленоид ( $C_1$ ) состоит также из двух обмоток. Переключатель П1 позволяет соединять обмотки как параллельно (постоянный ток), так и последовательно (переменный ток).

На пульте управления дефектоскопа смонтированы: вольтметр постоянного тока для измерения напряжения и питания ( $Пр_1$ ) с пределами измерений 0—50в (вольтметр включен через кнопку) амперметр постоянного тока ( $Пр_2$ ) с пределом измерений 0÷10а, коммутатор фазы напряжения питания электромагнита (соленоида) (ПЗ), переключатель рода работы электромагнита (П1), тумблер отключения питания (П4), кнопка управления контактором (К1), гнезда для подключения питания, электромагнита или соленоида ( $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$ ), а также гибкого кабеля «К».

Соединительные провода и гибкий кабель для намагничивания выполнены из медного провода (БПВЛ). Длина соединительных проводов 2 метра, гибкого кабеля 4 метра. Кабель и соединительные провода питания имеют специальные наконечники для подключения к гнездам  $\Gamma_1, \Gamma_2, K$  и аккумулятору.

## Руководство по эксплуатации дефектоскопа

### *Подготовка дефектоскопа к работе*

1. Перед подключением дефектоскопа к источнику питания проверить положение ручек (предварительно сняв верхнюю крышку):

переключатель П4 — в положении «Выключено»;

переключатель ПЗ — в положении «Ручка против риски»;

переключатель П1 — в положении «Нейтрально».

2. Подключить к клеммам «+» и «—» (гнезда  $\Gamma_2$  и  $\Gamma_1$ ) соединительные провода питания.

3. Подключить соединительные провода (в соответствии с указанной полярностью) к источнику питания постоянного тока 24 в (аккумулятору 12САМ-28 или выпрямителю ВСА-5).

4. Нажав на кнопку вольтметра  $\text{Пр}_1$ , проверить напряжение сети (напряжение сети должно быть  $24 \div 27$  вольт).

### *Намагничивание с помощью электромагнита*

1. К гнездам  $\Gamma_3$  и  $\Gamma_4$  подключить вилки электромагнита.

2. В отверстия полюсов электромагнита установить сменные полюсные наконечники, обеспечивающие наибольшую площадь контакта с контролируемой деталью.

3. Зажать между полюсными наконечниками деталь (участок детали), подвергаемый контролю (в соответствии с инструкционной картой контроля).

4. Перевести переключатель П1 в положение «Намагничивание», при этом обмотки электромагнита соединяются последовательно.

5. Намагнитить деталь переводя переключатель П4 в положение «Включено».

6. Проверить напряжение сети по вольтметру  $\text{Пр}_1$  и ток по амперметру  $\text{Пр}_2$  (напряжение должно быть  $24 \div 27$  в, ток  $1 \div 2$  ампера).

7. Взболтать бачок с суспензией и обработать деталь (излишки суспензии должны стекать в подставленную под деталь ванночку).

8. После стекания излишков суспензии переключатель П4 перевести в положение «Выключено». Осмотреть деталь.

9. Все ручки управления дефектоскопом вернуть в исходное положение.

### *Намагничивание с помощью соленоида (от источника постоянного тока)*

1. К гнездам ( $\Gamma_3$  и  $\Gamma_4$ ) с надписью «Катушка» подключить вилку соленоида ( $C_1$ ).

2. Поставить тумблер П2 соленоида в положение «Постоянный ток» (при этом обмотки соленоида соединяются параллельно).

3. Поместить контролируемую деталь внутрь соленоида.

4. Намагнитить деталь, переводя переключатель П4 в положение «Включено».

5. По вольтметру ( $Пр_1$ ) и амперметру ( $Пр_2$ ) убедиться в наличии напряжения (24—27 в) и тока ( $1,4 \div 3$  а).

6. Отключить соленоид, переведя переключатель П4 в положение «Выключено».

7. Взболтать бачок с суспензией и обработать деталь (над ванночкой). После стекания суспензии деталь осмотреть.

8. Все ручки управления дефектоскопом вернуть в исходное положение.

#### *Намагничивание с помощью соленоида (от источника переменного тока 220 в)*

1. Установить переключатель соленоида (П2) в положение «Переменный ток» (при этом обмотки соленоида соединяются последовательно).

2. Поместить контролируемую деталь внутрь соленоида.

3. Намагнитить деталь, подав питание на соленоид. Для этого вилку соленоида на 1—2 сек подключить в розетку переменного тока с напряжением 220 в.

4. Извлечь деталь из соленоида и обработать (над ванночкой) предварительно перемешанной суспензией в бачке. После стекания суспензии деталь осмотреть.

#### *Намагничивание с помощью гибкого кабеля*

1. Намотать на исследуемую деталь несколько витков гибкого кабеля (в соответствии с инструкционной картой).

2. Подключить концы кабеля к клеммам «К» и «—» ( $\Gamma_2$ ).

3. Намагнитить деталь, нажав кнопку ( $K_1$ ) управления контактором  $Kр_3$  на  $1 \div 2$  сек.

4. Отключить и размотать гибкий кабель.

5. Взболтать бачок с суспензией и обработать деталь. После стекания суспензии деталь осмотреть.

#### *Размагничивание деталей с помощью электромагнита*

1. Подключить вилки электромагнита к гнездам  $\Gamma_3$  и  $\Gamma_4$ .

2. Зажать деталь между сменными концами электромагнита (в соответствии со схемой намагничивания).

3. Перевести переключатель П1 в положение «Размагничивание», соединив тем самым обмотки электромагнита параллельно.

4. Переведя переключатель П4 в положение «Включено», подать ток на электромагнит.

5. Убедиться по вольтметру ( $Pr_1$ ) и амперметру ( $Pr_2$ ) в наличии напряжения (24—27 в) и тока (2,5—3 а).

6. Изменяя направление тока в электромагните (путем медленного вращения штурвала (20÷30 об/мин переключателя ПЗ), оторвать деталь от полюсных наконечников и медленно отвести на расстояние 1 м.

7. Отключить питание электромагнита, переведя переключатель П4 в положение «Выключено».

8. Проверить качество размагничивания детали.

9. Установить все ручки управления дефектоскопом в исходное положение.

*Размагничивание деталей с помощью соленоида  $C_1$   
(от сети постоянного тока)*

1. Подключить вилку соленоида к гнездам ( $G_3$  и  $G_4$ ) с надписью «Катушка».

2. Поместить деталь внутрь соленоида (положение детали в соленоиде аналогично положению при намагничивании).

3. Установить переключатель соленоида П2 в положение «Постоянный ток», соединив обмотки соленоида параллельно.

4. Установив переключатель П4 в положение «Включено», подать питание на соленоид.

5. Проверить по вольтметру ( $Pr_1$ ) и амперметру ( $Pr_2$ ) наличие напряжения (25—27 в) и тока (3 а).

6. Изменяя направление тока в соленоиде путем медленного вращения штурвала управления переключателем ПЗ (20—30 об/мин), вынуть деталь из соленоида и медленно удалить от него на расстояние 1 м.

8. Проверить качество размагничивания детали.

9. Установить все ручки управления дефектоскопом в исходное положение.

*Размагничивание деталей с помощью соленоида  
(от сети переменного тока напряжением 220 в)*

1. Установить переключатель соленоида П2 в положение «Переменный ток», соединив обмотки соленоида последовательно.

2. Поместить деталь внутрь соленоида (аналогично положению при намагничивании).

3. Включить вилку питания соленоида в розетку с переменным током 220 в (50 гц).

4. Медленно вынуть деталь из соленоида и отвести на расстояние 1 м.

5. Отключить питание соленоида.

6. Проверить качество размагничивания детали.

## Практическая часть

1. Провести контроль деталей на дефектоскопах Fx—100/1500 и 77ПДМ-3М (в соответствии с инструкционными картами).
2. Составить отчет о проделанной работе.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Основные технические данные дефектоскопов Fx—100/1500 и 77ПДМ-3М.
2. Эскизы деталей с указанием характера выявленных дефектов.

## Лабораторная работа № 3

### КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

**Цель работы** — изучение физической сущности токовихревого метода контроля качества изделий и приобретение практических навыков работы с токовихревой аппаратурой.

#### Теоретическая часть

#### ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ТОКОВИХРЕВОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ

Токовихревой метод контроля предназначен для определения физических и химических характеристик электропроводящих материалов. Он позволяет производить оперативный контроль изделий на соответствие химического состава, структурного состояния, толщины неэлектропроводящего покрытия и сплошность поверхностного слоя деталей.

В основе токовихревого метода контроля лежит возможность получения информации о свойствах материала по изменению его поверхностной электропроводности. Измерение электропроводности контролируемого участка поверхности детали осуществляется путем измерения взаимодействия магнитного поля катушки  $\Phi_v$ , питаемой переменным током, с электромагнитными полями вихревых токов, возникающими в детали под действием полей катушки  $\Phi_v$  (рис. 3.1).

Интенсивность электромагнитных полей вихревых токов, а следовательно, их влияние на поля катушки (импеданс), тесно связана с электропроводностью материала детали, которая, в свою очередь, отражает его физико-химические свойства. Нару-



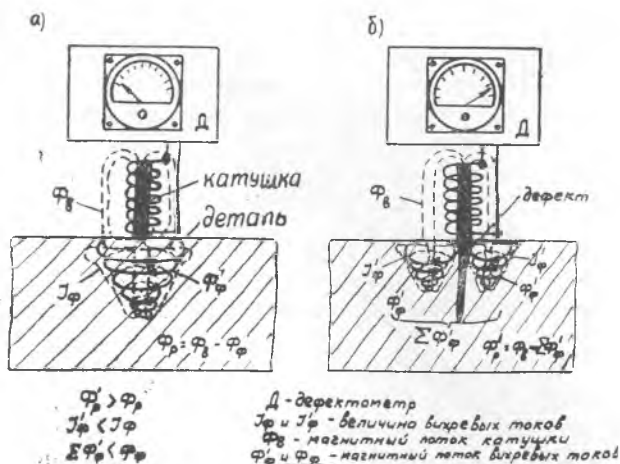


Рис. 3.1. Схема взаимодействия полей катушки и вихревых токов

а — на участке без дефекта; б — на участке с дефектом.

шения сплошности материала (трещины, расслоения) также являются препятствием для прохождения вихревых токов, т. е. оказывают на них воздействие, аналогичное снижению электропроводности. Электромагнитные поля вихревых токов, противодействуя полю катушки, существенно изменяют ее рабочие характеристики (индуктивность и добротность).

Так, если к источнику переменного тока подключена индуктивность  $L_0$ , ее полное сопротивление  $Z_0$  с небольшими погрешностями можно оценить как  $Z_0 = \omega L_0$ , где  $\omega$  — круговая частота тока.

При поднесении катушки индуктивности к токопроводящей поверхности (неферромагнитной) ее полное сопротивление претерпевает значительные изменения. Наряду с индуктивным сопротивлением под действием электромагнитных полей вихревых токов в катушке возникают активные потери  $R_a$ .

Изменения индуктивной части полного сопротивления катушки  $\omega L_0$  и активной  $R_a$  находятся в строгой зависимости от электропроводности материала  $G$  детали и расстояния от катушки до электропроводящей поверхности  $h$ . Уменьшение зазора  $h$  и увеличение электропроводности  $G$  приводят к уменьшению индуктивной составляющей  $\omega L_0$  и увеличению активных потерь  $R_a$ . Полное сопротивление катушки с учетом влияния вихревых токов записывается в виде выражения  $\bar{z} = \sqrt{R_a^2 + (\omega L)^2}$  и

может быть представлено в виде вектора в координатах  $\omega L$  и  $R_a$ .

Изменение полного сопротивления катушки  $Z$  при изменении

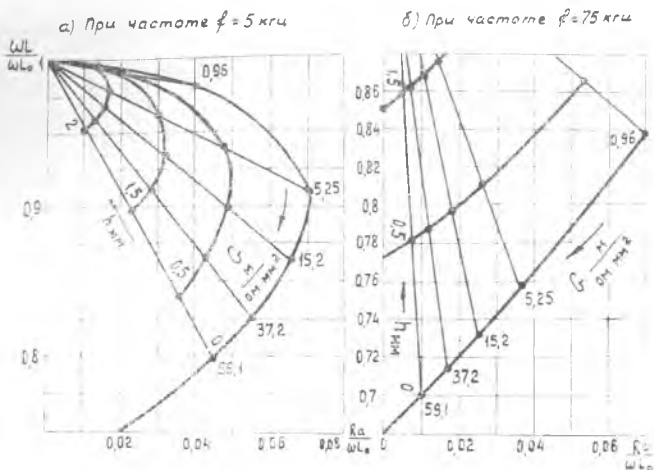


Рис. 3.2. Зависимость полного сопротивления катушки от электропроводности материала и зазора между катушкой и поверхностью.

электропроводности  $G$  и зазора  $h$  обычно представляется в виде соответствующих кривых, построенных в относительных координатах  $\frac{\omega L}{\omega L_0}$  и  $\frac{R_a}{\omega L_0}$  ( $\frac{\omega L}{Z_0}$  и  $\frac{R_a}{Z_0}$ ). Одна из таких зависимостей представлена на рис. 3.2а.

На рис. 3.2а дугообразная кривая характеризует положения конца вектора полного сопротивления  $Z$  при изменении электропроводности материала ( $G$ ), а прямые тонкие линии, соединяющие точки различной электропроводности со значением  $\frac{\omega L}{\omega L_0} = 1$  характеризуют его изменения при увеличении зазора ( $h$ ). Эти линии называют соответственно линиями электропроводности и линиями отвода. При увеличении частоты питающего катушку тока точки, соответствующие металлам с различной электропроводностью, перемещаются вниз по линиям электропроводности, причем расстояние между соседними точками уменьшается (рис. 3.2 б).

При увеличении частоты резко уменьшается также глубина проникновения вихревых токов. Условную глубину проникновения обычно оценивают, пользуясь имперической зависимостью  $\delta = 50,3 \sqrt{\frac{2\pi}{G\omega}}$ . В процессе проведения контроля деталей методом вихревых токов, как правило имеют место изменения обоих факторов, влияющих на параметры возбуждающей катушки, т. е. электропроводности и зазора, что существенно затрудняет расшифровку результатов. Так, при замере электропроводности материала изменение расстояния от катушки до поверхности детали на 1 мкм равноценно изменению электро-

проводности на 1 %, что дает ощутимую ошибку измерений.

При измерении толщин покрытий (зазоров) мешающим фактором выступают изменения электропроводности деталей. В последние годы на базе теоретических и экспериментальных исследований удалось разработать ряд приборов, схемы которых позволяют производить частичную или полную отстройку от влияния неконтролируемых факторов.

### Принцип частичного подавления чувствительности приборов к изменению зазора

Указанный принцип нашел широкое применение в разнообразных измерителях электропроводности (ЭИ-1, ИЭ-1М, ИЭ-11, ИЭ-20 и т. д.), т. к. в процессе их эксплуатации не требуется отстройки от влияния больших колебаний зазоров (более 150 мкм).

Сущность частичного подавления чувствительности приборов к изменению зазора заключается в приведении вектора полного сопротивления  $\bar{Z}$  в положение, близкое к перпендикуляру «линии отвода», что существенно уменьшает колебания его амплитуды при изменении зазора в узком диапазоне значений. Действительно, если положение вектора  $\bar{Z}$  по отношению к «линии отвода» (AC) соответствует положению, изображенному на рис. 3.3а, то малейшее изменение зазора приведет к резко-

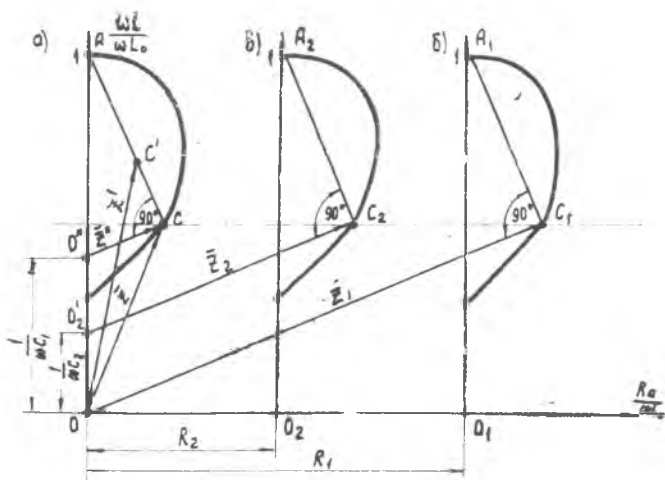


Рис. 3.3. Способы приведения вектора полного сопротивления в положение с минимальной чувствительностью к изменению зазора.

а — путем введения дополнительной емкости; б — путем введения дополнительного сопротивления; в — комбинированный способ.

му изменению его амплитуды (в силу тупого угла  $\angle$  «линией отвода»), т. е.  $\overline{Z} < \overline{Z}_1$ ;  $(OC_1 > OC)$ .

Положение вектора  $Z$  по отношению к «линии отвода» можно изменить введя в цепь катушки добавочное сопротивление ( $R_1$ ) (рис. 3.3б) или емкость ( $C_1$ ) (рис. 3.3а). В практике приведение вектора полного сопротивления в положение, близкое к перпендикулярю «линии отвода», обычно достигается компромиссным путем, т. е. путем введения как дополнительного сопротивления, так и емкости ( $R_2C_2$ ) (рис. 3.3в), что позволяет осуществить принцип частичного подавления чувствительности приборов к влиянию изменений зазора без существенного снижения добротности катушки, т. е. рабочей чувствительности приборов.

### Принцип полного подавления чувствительности приборов к изменению зазора

При использовании токовихревого метода в целях дефектоскопии (приборы ДНМ-15, ДНМ-500 и т. д.), где не требуется высокой точности измерения электропроводности материала, широкое распространение получил амплитудно-фазовый принцип отстройки от влияния колебаний зазора. Он позволяет получить полную нечувствительность приборов к изменению зазора при сохранении высокой чувствительности к дефектам (неплотностям).

Сущность метода заключается в следующем. Если две аналогичных катушки (одна из которых является датчиком) соеди-

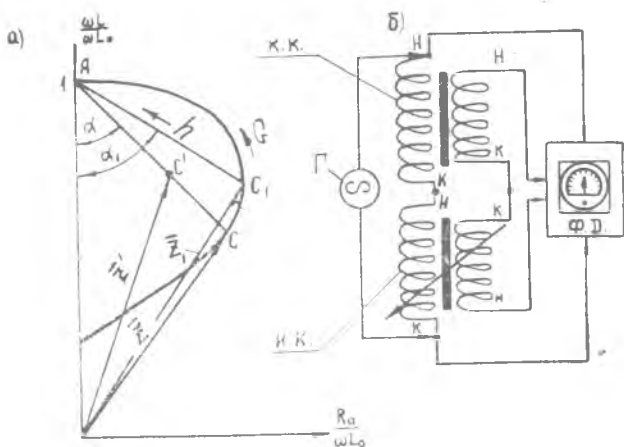


Рис. 3.4. Изменение фазы и амплитуды полного сопротивления двух последовательно включенных катушек при изменении зазора и электропроводности (дефектах).

нить друг с другом и источником переменного тока так, как показано на рис. 3.4б (первичные обмотки последовательно, а вторичные навстречу друг другу), то результирующее напряжение, возникающее на концах вторичных обмоток, будет равно нулю.

При поднесении одной из катушек (датчика) к токопроводящей поверхности ее полное сопротивление будет претерпевать изменения, характеризующиеся «линией отвода». Напряжение на вторичных обмотках будет также изменяться в соответствии с изменением положения и величины вектора  $\overline{AC}$  (рис. 3.3а).

При уменьшении расстояния напряжение будет линейно возрастать, при увеличении — падать до нуля. Фаза напряжения на концах вторичных обмоток катушек по отношению к фазе питающего напряжения при этом не изменяется. Это положение наглядно видно на рис. 3.3а, т. к. положение «линии отвода» относительно оси ординат при изменении зазора не изменяется ( $\alpha = \text{const}$ ).

При уменьшении электропроводности материала (несплошности) «линия отвода» смещается вверх по «линии электропроводности» (точка  $C_1$ ). Это приводит к изменению угла относительно оси ординат и, следовательно, фазы напряжения на вторичных обмотках катушек.

Если к концам вторичных обмоток (датчика и компенсационной катушки) подключить фазочувствительный детектор (сравнивающий фазу питающего и выходного напряжений), то практически достигается возможность создания приборов, нечувствительных к изменениям зазора (в широком диапазоне значений, но чувствительных к местным изменениям электропроводности (дефектам)).

### **Принцип полного подавления чувствительности приборов к изменению зазора, основанный на измерении добротности катушки на высоких частотах**

При создании малогабаритной дефектоскопической аппаратуры уделяется особое внимание требованию упрощения схемы. В ряде приборов (ВД-1ГА, ППД-3, ВДЦ и др.) хорошо зарекомендовал себя принцип подавления чувствительности к изменению зазора, основанный на измерении добротности катушки (датчика) на высоких частотах. Указанный принцип заключается в следующем.

Если колебательный контур, состоящий из катушки индуктивности (датчика  $L_K$  и емкости  $C_K$ ) подключить к схеме, измеряющей добротность на частотах более 1 мГц, то окажется, что в силу малого активного сопротивления катушки контур будет иметь достаточно высокие показатели добротности  $Q_0$  (доб-

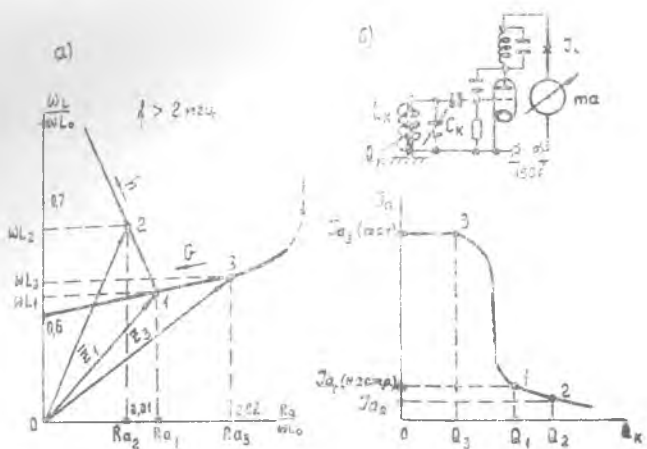


Рис. 3.5. Изменение добротности контура автогенератора (а) и режимов его работы (б) при изменении электропроводности (дефектах) и зазора.

ротность определяется в общем случае отношением индуктивной и активной составляющих комплексного сопротивления контура). При поднесении катушки к бездефектному участку поверхности детали добротность контура резко уменьшается, так как при этом происходит уменьшение индуктивной составляющей ( $\omega L_K$ ) катушки и увеличение ее активных потерь ( $R_a$ ) (рис. 3.5а точка 1), т. е.  $Q_1 \leq Q_0$ .

При увеличении зазора вектор полного сопротивления катушки, а следовательно, и его составляющие ( $R_a$  и  $\omega L_K$ ), изменяется в соответствии с «линией отвода». Добротность катушки возрастает (рис. 3.5а точка 2), т. е.  $Q_2 > Q_1$ .

При прохождении катушки над участком с пониженной электропроводностью (дефектом) вектор полного сопротивления изменяется в соответствии с «линией электропроводности», т. е. добротность катушки падает. При этом происходит увеличение активных потерь (рис. 3.5а точка 3), т. е.  $Q_3 < Q_1$ . Если на выход измерителя добротности подключить сигнальное устройство, срабатывающее при снижении добротности катушки ниже значения  $Q_1$ , то появляется возможность создания прибора, не чувствительного к увеличению зазора между датчиком и контролируемой поверхностью. В качестве измерителя добротности сигнализатора в таких приборах обычно используют двухконтурные автогенераторы гармонических колебаний, качество генерации которых определяется добротностью катушки сеточного контура  $L_K C_K$  (рис. 3.5б).

При снижении добротности сеточного контура ниже определенного уровня, определяемого предварительной настройкой

(точка 1 рис. 3.5б), автогенерация исчезает полностью. Это приводит к резкому увеличению потребляемого генератором тока (точка 3 рис. 3.5б) и срабатыванию системы сигнализации дефектов.

### Принцип подавления чувствительности приборов к изменению электропроводности

При разработке токовихревой аппаратуры, предназначенной для измерения величины зазора (толщины покрытия), возникают трудности, связанные с необходимостью подавления чувствительности приборов к изменениям электропроводности и кривизны поверхности. В основу одного из принципов подавления чувствительности (используемого в толщиномерах ТПН-1 и др.) положено то, что с увеличением частоты питающего тока (более 1 мГц) чувствительность прибора к изменению электропроводности резко понижается. Это следует из того, что по мере увеличения частоты все значения электропроводностей ( $G$ ) группируются в нижней части «линии электропроводности» (рис. 3,2). При этом незначительные колебания электропроводности не могут привести к заметному изменению амплитуды вектора полного сопротивления, изменение же зазора даже в самых незначительных пределах ( $\leq 1$  мкм) приводит к резкому увеличению амплитуды полного сопротивления катушки. Увеличение частоты питающего тока позволило одновременно решить и вторую задачу, связанную с необходимостью подавления чувствительности измерителей зазоров к изменению кривизны поверхности детали.

Действительно, с увеличением частоты резко уменьшаются габариты катушки (до  $2 \div 3$  мм в диаметре), что позволяет исключить влияние кривизны поверхности на площадках под датчиком.

### Токовихревая аппаратура

#### ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ИЭ-1 (ИЭ-1М)

Рабочая частота тока, питающего катушку,  $78 \div 82$  кГц (ИЭ-1)  $39 \div 41$  кГц (ИЭ-1М).

Диаметр датчика 10 мм.

Диаметр площадки, при котором края детали еще не сказываются на показаниях прибора, 25 мм.

Максимальный отстраиваемый зазор 150 мкр.

Питание — сеть переменного тока 220 или 127 в (50 Гц).

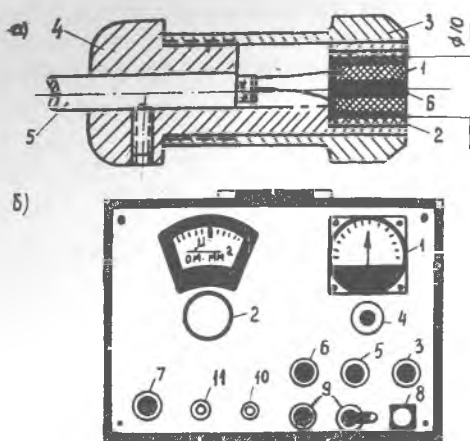


Рис. 3.6. Устройство датчика (а) и передняя панель (б) измерителя электропроводности ИЭ-1 (ИЭ-1М).

Вес прибора не более 6,5 кг.

Прибор позволяет проводить измерение электропроводности немагнитных материалов в пределах  $4,8 \div 15,6$  м/ом·мм<sup>2</sup> (ИЭ-1М),  $15 \div 59$  (ИЭ-1), что соответствует электропроводности большинства магниевых, алюминиевых и медных сплавов.

### Конструкция прибора

В комплект прибора входит датчик, служащий для проведения замеров, и измерительный блок. Устройство датчика показано на рис. 3.6а.

Чувствительным элементом датчика является катушка 1, помещенная в эбонитовый корпус 4. Защитный стакан 2 предохраняет катушку от механических повреждений. Ферритовый сердечник 6 и пермалоевый экран катушки 6 предназначены для уменьшения полей рассеивания и концентрации магнитного поля в направлении исследуемой поверхности. Датчик помещен в эбонитовый защитный стакан 3 и соединяется с измерительным блоком кабелем 5.

Измерительный блок включает крышку, лицевую панель и шасси со смонтированными на нем элементами схемы. На лицевую панель прибора внесены следующие органы управления (рис. 3.6б):

микроамперметр (1) — для индикации напряжений на измерительной и компенсационных катушках;

ручка управления «Электропроводность» (2) с лимбом значений электропроводностей (управление конденсатором  $C_K$ );

ручка «Чувствительность» (3) — для регулировки чувствительности прибора;

ручка «Установка нуля» (4) — для балансировки мостового усилителя;

кнопка «Контроль нуля» (5) — для проверки балансировки мостового усилителя;

ручка «Нижний предел» (6) — для точной установки нижнего предела измерений электропроводности;

ручка «Верхний предел» (7) — для точной установки верхнего предела измерений электропроводности;

гнездо для подключения кабеля датчика (8);



сигнальная лампа и тумблер питания (9);  
 ручка «Под шлиц» (10) — «Отстройка от зазора» — для отстройки прибора от зазора определенной величины;  
 ручка «Под шлиц»  $C_6$  (11) — для расширения пределов регулировок «Верхний предел» и уточнения установки средней точки шкалы.

### Принцип работы прибора

Переменное напряжение от генератора синусоидальных колебаний 1 попадает в усилитель мощности 2, от которого питаются измерительная и компенсационные цепи прибора, составляющие плечи моста «АВВГ» (рис. 3.7).

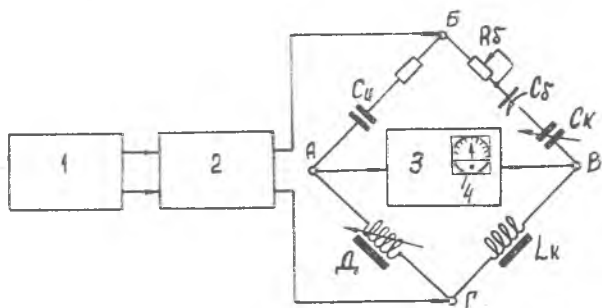


Рис. 3.7. Блок-схема измерителя электропроводности ИЭ-1 (ИЭ-1М).

Левое плечо моста образовано измерительной катушкой (датчиком) и емкостью  $C_n$ , правое — компенсационной катушкой и компенсационным конденсатором  $C_k$ .

Как измерительная, так и компенсационные цепи прибора настраиваются на частоту, близкую к частоте генератора. Напряжение, снимаемое с измерительной и компенсационных катушек, детектируется, сглаживается и поступает на симметричный балансный усилитель постоянного тока 3 с индикатором нуля 4.

При равенстве напряжений на измерительной и компенсационной катушках стрелка индикатора устанавливается на нуль. Это условие достигается путем соответствующего подбора емкости конденсатора  $C_k$  компенсационного плеча моста.

Работа на приборе сводится к установке датчика на контролируемую поверхность и к балансировке моста компенсационным конденсатором  $C_k$  до момента исчезновения тока в его диагонали.

Положение ротора конденсатора  $C_k$ , оборудованного соответствующей шкалой электропроводностей, определяет величину электропроводности материала.

Для частичного подавления влияния зазора в цепь компенсационной катушки введены переменная емкость и сопротивление  $C_6R_6$ .

## РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИБОРА

### *Подготовка прибора к работе*

1. Установить колодку переключения напряжения в соответствии с имеющимся источником тока (127 — 220 в).
2. Соединить шнур питания с источником тока.
3. Подсоединить кабель датчика к гнезду «Датчик».
4. Ручку «Чувствительность» отвести влево до упора.
5. Поставить тумблер питания в положение «Включено» и дать прибору прогреться в течение 25—30 мин.

### *Балансировка*

1. Нажать кнопку «Контроль нуля».
2. Ручку «Чувствительность» перевести на максимум.
3. Ручкой «Установка нуля» установить стрелку микроамперметра на нулевое деление шкалы.

### *Настройка по эталонам*

1. Датчик прибора установить на середину эталона, соответствующего верхнему пределу измеряемой электропроводности.

2. На шкале «Электропроводность» установить значение электропроводности, обозначенное на эталоне.

3. Ручкой «Верхний предел» установить стрелку индикатора на нуль (если установить индикатор на нуль ручкой «Верхний предел» невозможно, то поворотом конденсатора « $C_6$ » при среднем значении ручки «Верхний предел» установить стрелку индикатора на нулевое деление).

4. Установить датчик на эталон, соответствующий нижнему пределу значений электропроводности, и провести балансировку нижнего предела ручкой «Нижний предел».

5. Провести повторную балансировку верхнего и нижнего пределов измерений до получения ошибки при переходе с эталона на эталон в 1 деление шкалы.

### *Отстройка от зазора*

*(выполняется при замере электропроводности детали с покрытием)*

При работе на деталях, имеющих неэлектропроводящие покрытия до 150 мк, прибор позволяет отстроиться от зазора между датчиком и поверхностью. Отстройку от влияния зазора следует производить в следующей последовательности:

1. Установить датчик прибора на исследуемую деталь без покрытий и замерить ее электропроводность.

2. Установить датчик на исследуемую деталь с покрытием и ручкой «Отстройка от зазора» установить стрелку индикатора на нуль.

3. Вновь установить датчик на деталь без покрытия и конденсатором  $C_6$  отбалансировать мост.

4. Повторить операции 2 и 3 до получения разбалансировки моста при переходе от детали с покрытием к детали без покрытия не более пяти делений.

Эффект отстройки от зазора действителен только для узкой части шкалы электропроводности, в которой была произведена балансировка.

### Работа с прибором при сортировке изделий по электропроводности

1. Подготовить прибор к работе.

2. На ровном и чистом участке детали диаметром  $\geq 25$  мм установить датчик и провести замер электропроводности.

**Примечание:** Возможен замер электропроводности также и на меньших площадках. При этом необходимо соблюдать идентичность условий измерения.

3. Составить таблицу значений электропроводностей для контрольных образцов, пользуясь которой разобрать детали по маркам сплавов, из которых они изготовлены.

**Примечание.** Использовать справочные данные по электропроводности сплавов при сортировке материалов нецелесообразно, так как они имеют большие разбросы значений (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Удельная электропроводность некоторых сплавов (для справки)

Сплав	Удельная электропроводность		Сплав	Удельная электропроводность	
	нижний предел	верхний предел		нижний предел	верхний предел
Д16АТ	19,5	21,5	Д16Т	17,4	18
Д16АТВ	21	21,5	В95Т	18,9	22
Д16АМ	27	28,7	АК—6	22,1	27,4
Д16АМО	27	28,7	АК—8	19,8	27,1
АД1Н	33,5	34	Д—1	21,1	27,2
АД1М	35	37	В—93	18,8	26
АМГ—6М	15	16	Д16	18,1	22,6
АМЦАМ	27,5	28	АЛ—4	16,9	20,6
В95АТ	19,5	21,5	МЛ—5	6,5	7,0
Л95АМ	25	25,5	ВМ65/1	19,0	20,2
М00	59	59,1	МЛ—12	25,0	25,5
Л62	15,2	17	С00	5,25	5,5

## ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ПРИБОРА ТПН-1

Рабочая частота питающего катушку тока 2 мгц.

Диаметр катушки датчика 3,5 мм.

Напряжение питающей сети 220 в или 127 в (50 гц).

Прибор ТПН-1 предназначен для измерения толщины лакокрасочных, оксидных и других неэлектропроводящих покрытий на деталях, изготовленных из немагнитных материалов.

Прибор позволяет вести контроль покрытий в диапазоне от 1 до 200 мк.

### Конструкция прибора

В комплект прибора входит датчик, служащий для проведения замеров, и измерительный блок. Датчик идентичен датчику прибора ИЭ-1, но имеет несколько меньшие габариты (рис. 3.8а). Измерительный блок выполнен на унифицированном шасси. На лицевую панель вынесены следующие органы управления и сигнализации (рис. 3.8б).

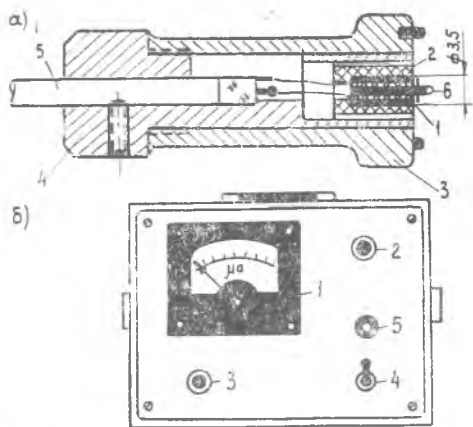


Рис. 3.8 Устройство датчика (а) и передняя панель (б) толщиномера ТПН-1.

микроамперметр (1) — для настройки и считывания толщины покрытия;

ручка «Установка нуля» (2) — для начальной балансировки прибора на участке без покрытия;

ручка «Диапазон работы» (3) — для установки цены деления шкалы;

тумблер «Сеть» (4) — для включения прибора;

сигнальная лампа «Сеть» (5) — для сигнализации подачи питания.

## Принцип работы прибора

Стабилизированное по частоте напряжение от задающего генератора 1 после усиления в усилителе мощности 2 подается на два параллельных резонансных контура АБВГ, в одном из которых работает катушка датчика ( $D$ ), а в другом компенсационная катушка ( $L_K$ ). Оба контура настраиваются конденсатором  $C_K$  так, чтобы напряжения на них были равны при наложении датчика на поверхность детали без покрытия (рис. 3.9).

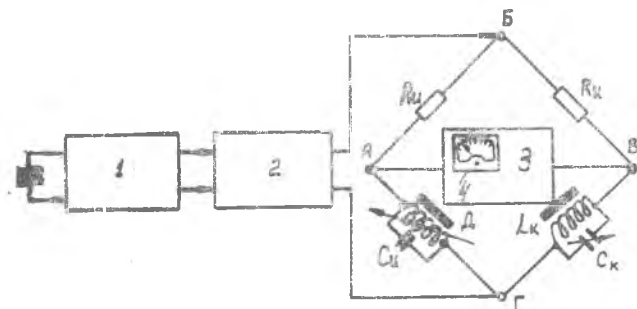


Рис. 3.9. Блок-схема токовихревого толщимера ТПН-1.

При отведении датчика его полное сопротивление увеличивается, что приводит к изменению напряжения на контуре датчика. Напряжения, снимаемые с измерительной и компенсационных цепей, выпрямляются, сглаживаются и подаются на усилитель 3. На выходе усилителя включен стрелочный индикатор 4. Прибор имеет линейную зависимость показаний от толщины измеряемого покрытия.

## Руководство по эксплуатации прибора

### *Подготовка к работе, настройка и замер толщины покрытия*

1. Включить шнур питания в розетку сети.
2. Включить тумблер сети и дать прибору прогреться в течение 5—10 мин.
3. Установить датчик на участок детали, не имеющий покрытия.
4. Вращением ротора конденсатора  $C_K$  (компенсационной цепи) установить стрелку прибора на нулевое деление шкалы (ручка «Установка нуля»).
5. Установить датчик на тот же участок, положив между

датчиком и поверхностью нетокопроводящую прокладку известной толщины.

6. Ручкой «Диапазон работы» установить стрелку прибора на деление, соответствующее толщине прокладки.

7. Установить датчик прибора на участок детали с контролируемым покрытием и по показанию индикатора определить толщину покрытия.

### **Практическая часть**

1. Произвести разбивку деталей по маркам сплавов прибором ИЭ-1 (ИЭ-1М) (в соответствии с инструкционной картой контроля).

2. Произвести контроль толщины лакокрасочных покрытий деталей прибором ТПН-1 (в соответствии с инструкционной картой контроля).

3. Составить отчет о проделанной работе.

Работы предусмотренные практической частью, выполняются на основании инструкционных карт контроля, выдаваемых по усмотрению преподавателя, а также общих рекомендаций по применению токовихревых приборов.

### **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Краткое описание сущности токовихревого метода контроля.

2. Основные данные и назначение приборов ИЭ-1 и ТПН-1.

3. Результаты проведенных измерений.



---

---

## Лабораторная работа № 4

### ТОКОВИХРЕВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы — знакомство с принципом работы токовихревой дефектоскопической аппаратуры и приобретение практических навыков проведения контроля деталей с использованием дефектоскопов ВД-1ГА и ДНМ-15М.

#### Теоретическая часть

#### ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

#### ПО ПРОВЕДЕНИЮ ТОКОВИХРЕВОГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ

Технология контроля деталей токовихревыми дефектоскопами состоит из ряда операций:

- подготовки деталей к проведению контроля;
- подготовки дефектоскопов;
- дефектоскопирования.

Подготовка деталей к проведению контроля включает в себя комплекс работ, обеспечивающих свободный подход ко всем контролируемым участкам детали, а также работы по подготовке дефектируемой поверхности к контролю и обеспечению удобств для оператора-дефектоскописта.

Дефектируемый участок полностью изолируется от мешающих деталей. В районе дефектации создаются условия достаточной освещенности (не менее 50 лкс) и температуры (не ниже  $-5^{\circ}\text{C}$ ).

Подготовка поверхности детали к контролю включает: очистку поверхности детали от влаги, смазки, пыли, грязи. (Очистка, как правило, производится ветошью или кистью, смоченной бензином Б-70); удаление шелушащихся слоев лакокрасочных покрытий, толстых слоев нагара, продуктов коррозии. (Очистка

производится волосяной или стальной щеткой с последующей промывкой бензином Б-70).

Подготовка дефектоскопов к контролю заключается в предварительной настройке и проверке дефектоскопов по эталонам, имеющим характеристики, близкие к характеристикам контролируемого участка детали (электропроводность, конфигурация, толщина покрытия, характер дефекта). Существенным является вопрос обеспечения идентичных условий проведения контроля по всей длине контролируемого участка. Соблюдение этого требования достигается за счет рационального выбора траектории дефектоскопирования (скорости перемещения датчика, шага перенесения и т. д.), а также за счет соответствующей фиксации датчика относительно дефектируемой поверхности в водиле.

При работе на стоянках в сильные морозы (ниже  $-5^{\circ}\text{C}$ ), а также при наличии осадков, дефектоскопы следует помещать в специальные защитные чехлы, исключающие возможность попадания холодного воздуха и влаги внутрь прибора и датчиков. Детали, нагретые до температуры выше  $50^{\circ}\text{C}$ , контролировать запрещается.

Дефектоскопирование токовихревыми дефектоскопами заключается в прощупывании датчиком контролируемых участков детали и оценке показаний систем сигнализации.

Перемещение датчика по поверхности дефектируемой детали производится плавно без нажима. В случае грубообработанных поверхностей дефектоскопирование ведется путем прикосновения датчика к поверхности с последующим отводом. Такой способ позволяет резко увеличить срок службы датчика.

Скорость перемещения датчика и шаг перенесения выбирают исходя из конкретных условий контроля, характера (длины) ожидаемого дефекта, а также способа сигнализации и индивидуальных особенностей оператора. Практически скорость перемещения датчика должна лежать в пределах  $10 \div 50$  мм в секунду, а шаг перенесения должен составлять не более половины длины выявляемого дефекта ( $3 \div 5$  мм).

Хорошие результаты контроля достигаются при использовании комплексной стрелочно-звуковой сигнализации (ВД-1ГА). Наличие такого типа сигнализации позволяет оператору вести наблюдение за траекторией перемещения датчика, что исключает возможность пропуска отдельных участков детали.

## **ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ, НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ТОКОВИХРЕВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ**

### **Дефектоскоп ДНМ—15М**

Универсальный переносный токовихревой дефектоскоп ДНМ-15М предназначен для обнаружения несплошностей различного происхождения, выходящих на поверхность неферро-



магнитных деталей или расположенных неглубоко под поверхностью (до 1 мм). Благодаря наличию широкого диапазона регулировок дефектоскоп позволяет обнаруживать несплошности, находящиеся под толстыми слоями нетокопроводящих покрытий (до 5 мм). Использование фазочувствительной схемы, работающей по принципу полного подавления чувствительности к колебаниям зазора между датчиком и контролируемой поверхностью, позволяет вести контроль деталей с высокой степенью неоднородности толщин покрытий при минимальной вероятности пропуска дефекта или «ложной» выбраковки деталей.

Дефектоскоп ДНМ-15М используют главным образом для контроля крупногабаритных деталей, имеющих относительно простые геометрические формы.

### Основные технические данные дефектоскопа

Рабочий диапазон значений электропроводностей материала деталей  $4 \div 60$  м/ом.мм<sup>2</sup>

Минимальный дефект, выявляемый дефектоскопом — длина 5 мм, глубина 0,2 мм, раскрытие 0,01 мм.

Минимальный радиус кривизны дефектируемой поверхности 15 мм.

Максимальная скорость перемещения датчика при сохранении высокого уровня надежности обнаружения дефекта 0,5 м/сек.

Диаметр датчика 10 мм.

Рабочая частота питания датчика 15 кГц.

Индикация дефектов — стрелочный индикатор.

Вес дефектоскопа около 10 кг.

Напряжение питающей сети 220 в (50 Гц).

### Конструкция дефектоскопа

Дефектоскоп ДНМ-15М смонтирован на универсальном металлическом шасси, оборудованном выдвижной ручкой для транспортировки прибора. В комплект прибора входят датчик, измерительный блок и эталон для настройки.

На переднюю панель шасси вынесены следующие органы управления и сигнализации (рис. 4.1а):

стрелочный микроамперметр (1) для предварительной настройки дефектоскопа, а также для сигнализации дефектов;

ручка «Установка нуля» (2) для начальной балансировки дефектоскопа на бездефектном участке;

ручка «Чувствительность» (3) для ограничения чувствительности дефектоскопа;

тумблер включения питания дефектоскопа (4);

сигнальная лампа «Сеть» (5).

На заднюю панель шасси вынесен ряд ручек подстройки, используемых в процессе заводской настройки дефектоскопа, а

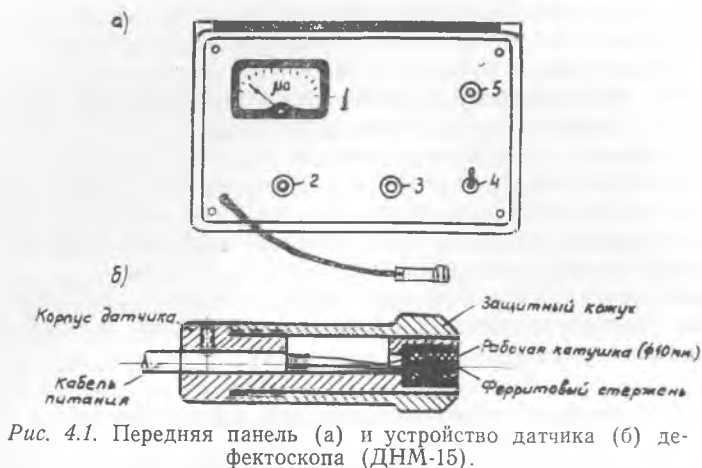


Рис. 4.1. Передняя панель (а) и устройство датчика (б) дефектоскопа (ДНМ-15).

также предохранители и кнопка «Контроль нуля» дифференциального усилителя. Конструкция датчика дефектоскопа показана на рис. 4.1б.

### Принципиальная схема дефектоскопа

Принципиальная (блок) схема дефектоскопа ДНМ-15М представлена на рис. 4.2.

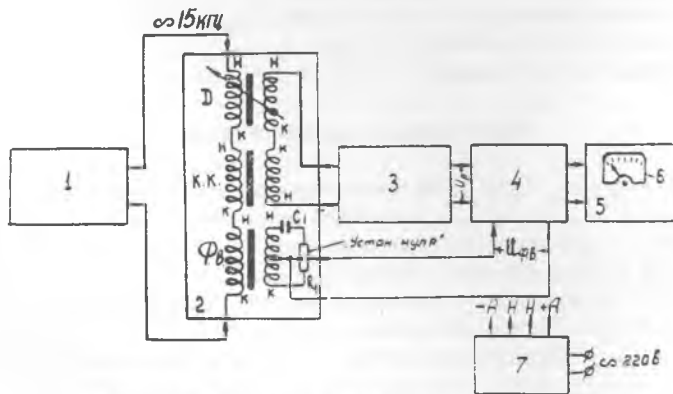


Рис. 4.2. Блок-схема дефектоскопа (ДНМ-15).

Схема включает следующие основные элементы:  
генераторный блок 1 (для питания схемы переменным током частотой 15 кГц);

преобразовательный блок 2 (для получения напряжений, фаза которых несет информацию о состоянии дефектируемой поверхности);

резонансный усилитель 3 (для усиления напряжения разбаланса, возникающего при помещении датчика на токопроводящую поверхность детали);

фазочувствительный мост 4 (для измерения фазы напряжения разбаланса);

дифференциальный усилитель 5 со стрелочным индикатором 6 (для усиления и регистрации фазы напряжения);

блок питания 7 (для питания анодных и накальных цепей прибора).

### Работа схемы дефектоскопа

Напряжение высокой частоты (15 кГц) снимается с генератора 1 и подается на первичные обмотки трех последовательно включенных катушек  $D$  (датчика),  $K$  (компенсационной) и  $\Phi$  (фазовращателя), составляющих преобразовательный блок 2. Напряжение разбаланса, возникающее на вторичных обмотках катушек  $D$  и  $K$  при помещении датчика на электропроводящую поверхность, подается на резонансный усилитель 3, где он усиливается до величины, необходимой для нормальной работы фазочувствительного моста 4. Напряжение вторичной обмотки катушки  $\Phi$ , пройдя через фазовращающую цепочку  $R_1C_1$  («Установка нуля»), также подается на фазочувствительный мост 4. При этом фаза напряжения, подаваемого с фазовращателя, подбирается ( $R_1$ ) одинаковой с фазой напряжения разбаланса, поступающего от катушек  $D$  и  $K$ . Совпадение фаз фиксируется по нулевому показателю индикатора 6.

При прохождении датчика над участком с пониженной электропроводностью (дефектом) фаза напряжения разбаланса, поступающего от вторичных обмоток катушек  $D$  и  $K$ , изменяется, а фаза напряжения от катушки  $\Phi$  сохраняется неизменной. Изменение фазы напряжения приводит к нарушению начальной балансировки фазочувствительного моста 4, о чем свидетельствует резкое отклонение стрелки индикатора 6. При удалении от «дефектного» участка детали балансировка фазочувствительного моста восстанавливается.

### Руководство по эксплуатации дефектоскопа

#### *Подготовка дефектоскопа к работе и контроль работоспособности*

1. Соединить шнур питания с разъемом прибора и сетевой розеткой ( $\sim 220$  в).

2. Ручку «Чувствительность» перевести в положение «0».

3. Тумблер сети поставить в положение «Вкл.» и дать прибору прогреться в течение 5 минут.

4. Проверить балансировку дифференциального усилителя, нажав кнопку «Контроль нуля» (стрелка индикатора должна оставаться в положении, близком к нулевому делению шкалы).

5. Установить датчик на бездефектный участок поверхности эталона.

6. Ручкой «Установка нуля» совместить стрелку индикатора с нулевым делением шкалы.

7. Отвести датчик от поверхности эталона (перекос датчика на угол  $15^\circ$ ) (стрелка индикатора должна оставаться на нулевом делении).

8. Провести датчиком вдоль эталона (нормально работающий дефектоскоп при прохождении над дефектом имеет отклонение стрелки индикатора на 100 мкА).

### *Настройка дефектоскопа при контроле деталей*

1. Провести настройку и проверку дефектоскопа по эталону.

2. Установить датчик на бездефектный участок детали.

3. Ручкой «Чувствительность» задать требуемую чувствительность прибора (обычно максимальную).

4. Ручкой «Установка нуля» установить стрелку индикатора на нулевое деление шкалы.

5. Плавно перемещая датчик по поверхности детали, следить за показаниями индикатора (дефект обнаруживается по резкому отклонению стрелки индикатора).

**Примечание;** 1. При контроле деталей с покрытием настройку прибора вести на участке, имеющем среднюю толщину покрытия.

2. При необходимости фиксации датчика настройку прибора вести после установки датчика в водило.

## **Дефектоскоп ВД-1ГА**

Универсальный малогабаритный токовихревой дефектоскоп ВД-1ГА предназначен для обнаружения несплошностей поверхностных слоев токопроводящих материалов как ферромагнитного, так и неферромагнитного класса. Благодаря широкому диапазону настройки дефектоскоп позволяет вести контроль деталей при наличии толстых (до 1 мм) слоев нетокопроводящих покрытий. Используемый в схеме прибора принцип полного подавления чувствительности к изменению зазора, основанный на измерении добротности катушки на высоких частотах (3—3,5 мГц), позволяет производить контроль деталей при значительных колебаниях зазора между датчиком и контролируемой поверхностью. Наличие датчика малого диаметра (около 1,5 мм) позволяет использовать прибор для контроля деталей сложной конфигурации и затрудненном подходе. Малые габариты и вес дефектоскопа, а также его высокие служебные характеристики позволили ре-

комендовать и внедрить дефектоскоп во всех эксплуатационных и ремонтных предприятиях Г А.

### Основные технические данные дефектоскопа

Рабочий диапазон значений электропроводностей материала деталей — все ферромагнитные и неферромагнитные металлы.

Минимально выявляемый дефект — длина 2 мм, глубина 0,2 мм, раскрытие 0,01 мм.

Минимальный радиус кривизны дефектируемой поверхности 3 мм.

Максимальная скорость перемещения датчика при сохранении надежности обнаружения дефекта 0,5 м/сек.

Диаметр датчика 1,5 мм.

Рабочая частота 3÷3,5 мГц.

Индикация дефектов — стрелочный индикатор и звуковая (телефоны).

Напряжение питающей сети 24/36 в (50 гц).

Вес прибора не более 3 кг.

### Конструкция дефектоскопа

Дефектоскоп ВД-1ГА смонтирован на металлическом шасси, оборудованном в виде переносной конструкции. Во время контроля дефектоскоп вешают через плечо на ремне. В комплект дефектоскопа входит набор датчиков, измерительный блок и комплект эталонов для настройки.

На передней панели измерительного блока дефектоскопа размещены (рис. 4.3а):

стрелочный индикатор (1) для предварительной настройки дефектоскопа, а также для сигнализации дефектов;

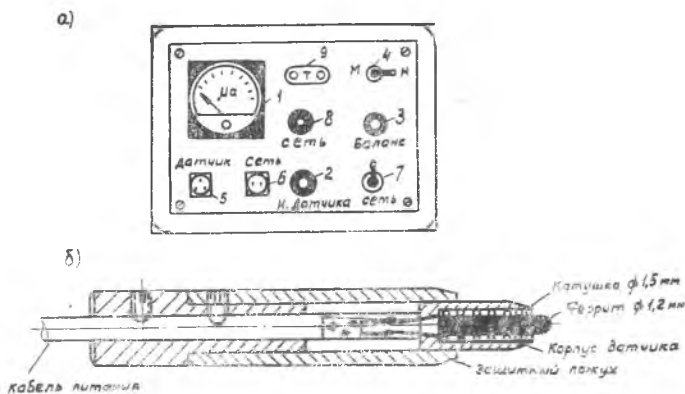


Рис. 4.3. Передняя панель (а) и устройство универсального датчика (б) дефектоскопа ВД-1ГА

ручка «Настройка датчика» (2) для начальной балансировки дефектоскопа на бездефектном участке;

ручка «Баланс» (3) для окончательной балансировки измерительного моста дефектоскопа;

переключатель режимов работы (4) «Магнитные» — «Немагнитные» материалы (переключатель установлен на дефектоскопах выпуска позднее 1965 г.);

разъем для подключения датчика (5);

разъем для подключения сети питания (6);

тумблер питания (7);

сигнальная лампа питания (8);

гнезда для подключения телефона (9).

### Комплект датчиков

Датчики дефектоскопа ВД-1ГА конструктивно выполнены в виде катушек индуктивностей, установленных в специальные оправки (щупы) из немагнитных материалов. Размер и форма оправок выбирается исходя из конфигурации контролируемых участков деталей. В комплект датчиков, прилагаемых к дефектоскопу ВД-1ГА, входят:

универсальный датчик типа «Карандаш»;

датчик для контроля головок цилиндров типа «Серп»;

датчик для контроля головок цилиндров типа «Нож»;

г-образный датчик для контроля фланцев второй ступени турбины двигателя РД-3М.

Конструкция универсального датчика типа «Карандаш» показана на рис. 4.3б.

### Принципиальная схема дефектоскопа и ее работа

Принципиальная схема дефектоскопа представлена на рис. 4.4.

Схема включает следующие основные элементы: блок питания, измерительную и регистрирующую части.

**Блок питания** обеспечивает питанием анодные и накальные цепи прибора от источника переменного тока 24/36 в (частотой 50 гц).

**Измерительная часть** схемы представляет собой мост (АВВГ) постоянного тока. Верхнее левое плечо (АБ) и правое плечо (БВ) образованы активными сопротивлениями  $R_1$  и  $R_2$ . Нижнее левое плечо моста (АГ) представляет собой высокочастотный автогенератор гармонических колебаний, выполненный по двухконтурной схеме ( $L_1C_1$  и  $L_2C_2$ ) с емкостной обратной связью ( $C_3$ ). В нижнее правое плечо (ВГ) моста включена правая половина лампы  $\Pi_1$  и переменное сопротивление  $R_3$ , служащие для балансировки моста по постоянному току.

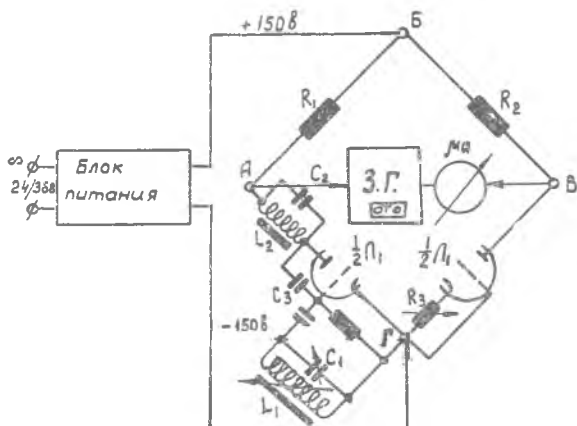


Рис. 4.4. Принципиальная (блок) схема дефектоскопа ВД—1ГА

Регистрирующая часть схемы представляет собой цепь диагонали моста (АВ), которая состоит из последовательно включенных стрелочного микроамперметра ( $Ma$ ) и звукового генератора на транзисторах (З. Г.), имеющего выход на головные телефоны. При разбалансировке моста через его диагональ начинает протекать ток, о чем свидетельствует отклонение стрелки микроамперметра и звуковой тон в наушниках.

### Работа схемы дефектоскопа

Работа схемы дефектоскопа ВД-1ГА построена на срыве автогенератором высокочастотных колебаний в момент прохождения датчика над участком с пониженной электропроводностью материала (дефектом). В момент срыва колебаний потребляемый автогенератором ток резко увеличивается, что приводит к нарушению начальной балансировки моста и срабатыванию сигнализации.

Оптимальные условия для возникновения генерации в данной схеме достигаются только при соответствующем подборе резонансных частот сеточного ( $L_1C_1$ ) и анодного ( $L_2C_2$ ) контуров, величины обратной связи ( $C_3$ ), а также добротностей ( $Q$ ) сеточного и анодного контуров. При поддержании параметров на постоянном уровне условия возникновения генерации определяются добротностью сеточного ( $L_1C_1$ ) контура. Установка датчика дефектоскопа ( $L_1$ ) на токопроводящую поверхность приводит к изменению его индуктивности и величины вносимых активных потерь, т. е. резонансной частоты и добротности сеточного контура ( $f_c$ ;  $Q_c$ ). Однако и в этих условиях вращением ротора конденсатора ( $C_1$ ) можно добиться возникновения генерации на некотором критическом, предсрывном уровне (опре-

деляемом величиной анодного тока автогенератора), компенсируя тем самым снижение индуктивности  $L_1$ . Дальнейшее уменьшение добротности контура ( $L_1C_1$ ), происходящее в момент прохождения датчика над дефектом, приводит к мгновенному срыву генерации, т. е. резкому возрастанию анодного тока лампы и разбалансу моста. Для удобства работы начальная разбалансировка моста, возникающая при постановке датчика на деталь, и настройка контура  $L_1C_1$ , компенсируется за счет изменения анодного тока правой половины лампы ( $L_1$ ) сопротивлением  $R_3$ . При переходе датчика на бездефектный участок детали генерация восстанавливается.

## Руководство по эксплуатации

### *Подготовка дефектоскопа к работе и контроль работоспособности*

Настройка дефектоскопа имеет целью обеспечить максимальную чувствительность к трещине при условии минимальной чувствительности к мешающим факторам (близость кромки, нагар и т. д.).

Настройку необходимо вести в следующей последовательности:

- 1) подключить к дефектоскопу универсальный датчик типа «Карандаш»;
- 2) подключить телефоны;
- 3) подключить шнур питания;
- 4) подключить прибор к источнику питания в соответствии с выбранным напряжением ( $1 \sim 24 \div 366$ );
- 5) ручку «Баланс» повернуть вправо до упора;
- 6) ручку «Настройка датчика» повернуть влево до упора;
- 7) поставить тумблер питания в положение «Включено» и дать прибору прогреться в течение 5 минут;
- 8) поставить переключатель рода работ в положение, соответствующее классу контролируемого материала детали («Магн.»—«Немагн.»);
- 9) установить датчик на бездефектное место эталона;
- 10) ручкой «Настройка датчика» установить стрелку микроамперметра на деление  $30 \div 60$  мка;
- 11) ручкой «Баланс» вернуть стрелку на нулевое деление;
- 12) отвести датчик от поверхности детали (перекос  $\pm 15^\circ$ ), стрелка микроамперметра должна оставаться на нулевом делении или отклоняться влево;
- 13) провести датчиком по поверхности эталона чувствительности. В нормально работающем дефектоскопе при прохождении датчика над дефектом стрелка микроамперметра отклоняется за деление  $300$  мка при сравнительно громком звуковом тоне в наушниках телефона.



## *Настройка дефектоскопа и контроль деталей*

1) Подключить датчик к дефектоскопу (в соответствии с инструкционной картой на контроль).

2) Провести настройку и проверку дефектоскопа по эталону (в соответствии с инструкционной картой на контроль).

3) Поместить датчик на бездефектный участок детали и вновь повторить настройку дефектоскопа.

4) Плавно перемещая датчик по дефектируемой поверхности следить за изменением звукового тона в наушниках.

В случае увеличения громкости звука повторить контроль участка, наблюдая за показаниями микроамперметра. Отклонение стрелки за деление 100 мкА свидетельствует о наличии несплошности материала.

Примечание: При контроле деталей с покрытием, а также деталей со сложной конфигурацией, настройку дефектоскопа вести на участках приближающихся по своему характеру к контролируемому.

### **Практическая часть**

1. Провести контроль деталей дефектоскопами ДНМ-15 М и ВД-1ГА (в соответствии с инструкционной картой контроля).

2. Составить отчет о проделанной работе.

Работы, предусмотренные практической частью, выполняются на основании инструкционных карт контроля, выдаваемых по усмотрению преподавателя, а также общих рекомендаций по применению токовихревой дефектоскопической аппаратуры.

### **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Основные данные и описание принципа работы дефектоскопов ДНМ-15 и ВД-1ГА.

2. Порядок настройки дефектоскопов по эталонам.

3. Результаты контроля деталей с эскизами участков с обнаруженными дефектами.

---

---

## Лабораторная работа № 5

### КОНТРОЛЬ ДЕТАЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ

**Цель работы** — знакомство с физической сущностью ультразвукового эхо-импульсного метода дефектоскопии, а также методикой проведения ультразвукового контроля деталей на базе дефектоскопа УДМ-1М.

#### Теоретическая часть

#### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ФИЗИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ ДЕФЕКТОСКОПИИ

#### Типы ультразвуковых волн и их характеристики

Ультразвуковые колебания (УЗК) являются упругими колебаниями материальной среды с частотой более 20 кГц. В дефектоскопии, как правило, используются УЗК с частотой 0,8–5 мГц.

Упругие колебания могут быть возбуждены в газообразных, жидких и твердых средах. При этом колебательное движение частиц среды, благодаря наличию упругих связей между ними, вызывает распространение ультразвуковой волны. В жидкостях и газах существует только один вид волн—волна расширения—сжатия (продольная волна). В твердом теле, кроме продольных волн, существуют волны сдвига (поперечные волны). Это обусловлено тем, что твердое тело обладает не только упругостью объема, но и упругостью формы. В продольных волнах колебание частиц происходит вдоль распространения волны, а в поперечных — в плоскости, перпендикулярной этому направлению (рис. 5.1 а, б).

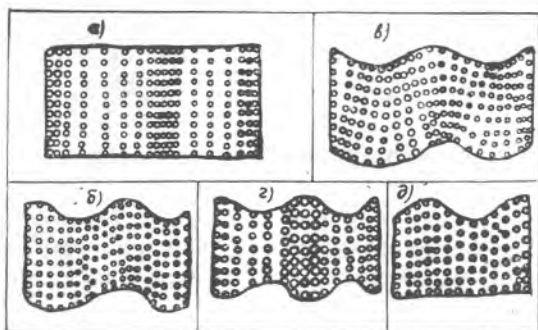


Рис. 5.1. Типы ультразвуковых волн, распространяющиеся в твердой среде.

а — продольные; б — сдвиговые (поперечные); в — изгибные; г — растяжения-сжатия; д — поверхностные.

Кроме указанных основных типов волн существует также ряд специфических волн: на поверхности тела (поверхностные волны или волны Рэлея), в пластинах и стержнях (изгибные и крутильные волны). Эти волны можно рассматривать как частные случаи комбинации продольных и поперечных волн (рис. 5.1 в, г, д).

Скорость распространения УЗК определяется физическими свойствами среды и типом волн. В твердых телах скорость распространения продольных волн ( $C_L$ ) составляет 3500—6500 м/сек, в жидкостях 1000÷2000 м/сек и в воздухе около 330 м/сек. Скорость распространения поперечных волн ( $C_T$ ) в металлах составляет приблизительно половину скорости распространения продольных волн ( $\approx 0,55 C_T$ ), а скорость поверхностной волны близка к скорости распространения поперечных волн ( $\approx 0,9 C_T$ ). Ультразвуковая волна, распространяющаяся в среде, характеризуется также интенсивностью ( $I$ ), т. е. количеством энергии, переносимой волной за 1 сек через площадку в 1 см<sup>2</sup>, перпендикулярную направлению распространения УЗК. По мере распространения интенсивность ультразвуковой волны снижается. Ослабление интенсивности связано с расхождением волны, отражением (рассеянием) от неоднородностей структуры (границами зерен) и поглощением. В последнем случае механическая энергия колебания частиц переходит в тепловую. Затухание ультразвука по глубине идет по экспоненциальному закону

$$J = J_0 \cdot e^{-\delta x},$$

где  $x$  — расстояние, пройденное волной;  $\delta$  — коэффициент затухания;  $J_0$  — начальная интенсивность ультразвуковой волны.

Затухание ультразвука на частотах 0,5÷2,5 мГц в металлах относительно мало. Например, для продольных волн с частото-

тою около 1 мгц (в алюминии) коэффициент затухания ( $\delta$ ) равен 0,001 неп/см, что практически на порядок меньше затухания УЗК в пластмассах и органических жидкостях.

### Распространение ультразвука

В однородных металлах УЗК распространяются в виде направленного пучка. Направленность пучка тем выше, чем больше размеры излучателя по отношению к длине волны

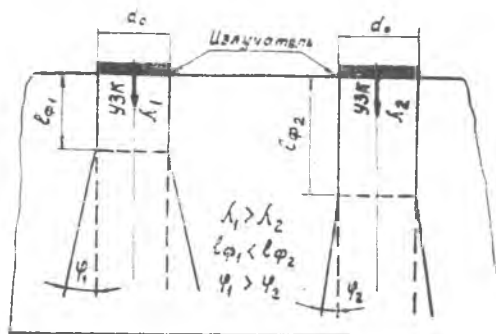


Рис. 5.2. Схема распространения ультразвукового пучка.

УЗК (рис. 5.2). Вблизи от излучателя (ближняя зона или зона Френеля) существует участок с нерасходящимся пучком УЗК. Протяженность зоны Френеля ( $l_\Phi$ ) определяется выражением

$$l_\Phi = \frac{d^2}{4\lambda},$$

где  $d$  — диаметр излучателя;  $\lambda$  — длина волны УЗК, равная  $\frac{CL}{f}$ ;  $f$  — частота УЗК.

Угол расхождения пучка за ближней зоной ( $\varphi$ ) определяется теми же факторами  $\varphi = \arcsin 1,22 \frac{\lambda}{d}$ . Так, например, при частоте колебаний 2,5 мгц и диаметре излучателя 12 мм (широко используемых в дефектоскопии) протяженность ближней зоны (по стали) составляет приблизительно 15 мм, а угол расхождения УЗК не превышает 14°.

В «безграничной» среде ультразвуковая волна распространяется на большие расстояния, испытывая постепенное уменьшение энергии. В реальных условиях среды обычно ограничена стенками. Кроме того, на пути УЗК в реальных условиях часто встречаются различные препятствия в виде несплошностей и других дефектов структуры материала.

Переход УЗК из одной среды в другую, при существенном различии их физических свойств, сопровождается отражением, преломлением и трансформацией (расщеплением) ультразвуковой волны. При этом происходит также перераспределение энергий между отраженным и преломленным пучком УЗК. Так

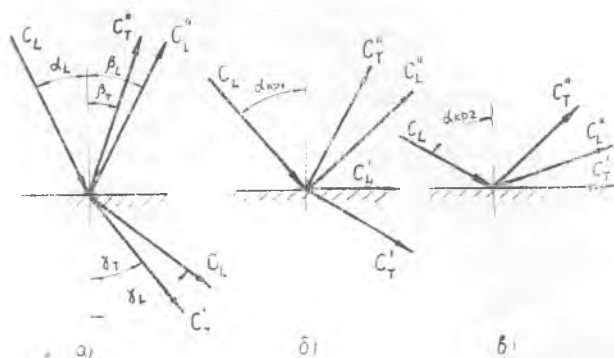


Рис. 5.3. Отражение, преломление и трансформация продольной волны на границе раздела двух твердых тел с различными акустическими сопротивлениями. а — при докритическом падении УЗК; б — при введении сдвиговых колебаний; в — случай полного внутреннего отражения

например, если на границу раздела двух твердых сред приходит продольная волна ( $C_L$ ) под углом  $\alpha_L$ , то в общем случае здесь возникает четыре волны — две преломленные (продольная  $C_L'$  и поперечная  $C_T'$ ) и две отраженные (продольная  $C_L''$  и поперечная  $C_T''$ ) рис. 5.3а). Углы падения  $\alpha_L$ , отражения  $\beta_L$ ,  $\gamma_L$  и преломления  $\gamma_T$  связаны между собой известным из оптики законом Снеллиуса

$$\frac{\sin \alpha}{C_L} = \frac{\sin \beta_T}{C_T} = \frac{\sin \gamma_L}{C_L'} = \frac{\sin \gamma_T}{C_T'}$$

где  $C_L$  и  $C_T''$  — скорости распространения продольной и поперечной волн в первой среде;

$C_L'$  и  $C_T'$  — скорости распространения продольных и поперечных волн во второй среде.

При увеличении угла падения УЗК, начиная с некоторого значения  $\alpha_{кр1}$ , называемого первым критическим углом, преломленная продольная волна не будет проникать во вторую среду ( $\gamma_L \geq 90^\circ$ , рис. 5.3б). При дальнейшем увеличении угла падения УЗК наступает момент, когда и поперечная волна начинает скользить вдоль поверхности раздела. Соответствующий угол падения УЗК называется вторым критическим углом  $\alpha_{кр2}$  (рис. 5.3в). Значения критических углов для различных сочетаний ма-

терналов могут быть определены из выражений:  $\sin \alpha_{кр 1} = \frac{C_L}{C_T}$ ,  $\sin \alpha_{кр 2} = \frac{C_L}{C_T}$ .

При углах падения УЗК больших первого критического, во вторую среду вводится только поперечная волна. Данный слу-

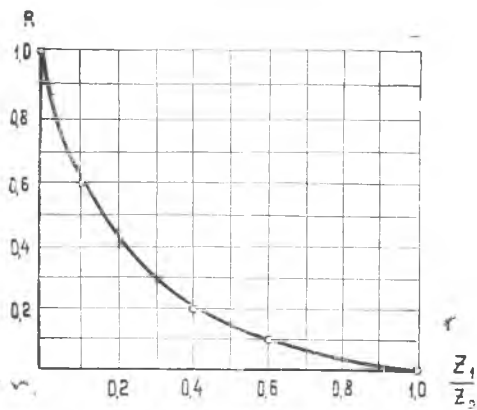


Рис. 5.4. Изменение коэффициента отражения УЗК на границе раздела двух сред при различных соотношениях акустических сопротивлений.

щей энергии падающих УЗК называется коэффициентом отражения по энергии ( $R$ ). При нормальном падении волны УЗК на границу раздела он определяется из выражения:

$$R = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2.$$

Изменение коэффициента отражения в зависимости от соотношения акустических сопротивлений сред убедительно иллюстрируется графиком на рис. 5.4.

При равенстве акустических сопротивлений сред ( $Z_1 = Z_2$ ) ультразвуковая волна без отражения переходит через границу раздела. При увеличении разности акустических сопротивлений ( $Z_1 \gg Z_2$ ) коэффициент отражения приближается к единице. Такое явление наблюдается, например, в случае отражения УЗК от границы раздела металлов и воздуха. Выражение, приведенное для вычисления коэффициента отражения УЗК, справедливо лишь в тех случаях, когда размеры второй среды значительно превышают длину волны УЗК. В противном случае УЗК могут проходить и огибать препятствия без существенного отражения. В целях уменьшения коэффициента отражения на границе раздела двух сред при вводе УЗК зазор между излу-

чай, как будет показано далее, удачно реализуется в дефектоскопии при обнаружении подповерхностных дефектов материала с использованием наклонных датчиков. Распределение энергии на границе раздела зависит от соотношения акустических сопротивлений сред и величины угла падения УЗК. Акустическое сопротивление среды ( $Z$ ) определяется произведением скорости УЗК ( $C_L$ ) и плотности среды ( $\rho$ ):  $Z = \rho \cdot C_L$ .

Отношение энергии отраженной волны к об-

чателем УЗК и средой необходимо заполнять контактной жидкостью (например водой или маслом).

### Излучение и прием ультразвуковых колебаний

В ультразвуковой дефектоскопии для излучения и приема УЗК используются электроакустические преобразователи в виде пластин и дисков из пьезоэлектрических материалов (кварца, титаната бария, цирконата, титаната свинца и т. д.). Пьезоматериалы способны деформироваться под воздействием электрического поля и возбуждать его при механической деформации.

Для ультразвуковой дефектоскопии используются преобразователи, колеблющиеся по толщине. Собственная частота колебаний преобразователя (из данного материала) определяется из выражения:

$$f_p = \frac{C_L}{2t} \quad \text{или} \quad t = \frac{C_L}{2f_p}$$

где  $C_L$  — скорость продольной волны УЗК в материале излучателя, м/сек;  $t$  — толщина пластины, мм;  $f_p$  — резонансная частота колебаний пластины излучателя по толщине, кГц. Изменение размеров пластин по толщине ( $\Delta t$ ) находится в строгой зависимости от амплитуды ( $U_a$ ) и полярности приложенного напряжения и до определенных значений характеризуется линейной зависимостью:

$$\Delta t = U K_t \cdot U_a$$

где  $K_t$  — пьезоконстанта материала излучателя по деформации.

Для предупреждения механических повреждений и износа пьезоэлектрические пластины помещают в специальные устройства, называемые искателями или щупами. Щупы, предназначенные для ввода УЗК в направлении, перпендикулярном по-

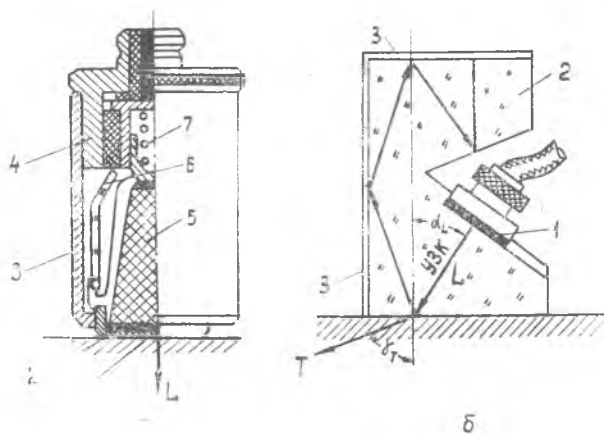


Рис. 5.5. Конструкция нормального (а) и призматического (б) ультразвукового искателя (датчика).

верхности контролируемого объекта. принято называть прямыми или нормальными, а для ввода под некоторым углом — наклонными или призматическими. На рис. 5.5 показана типовая конструкция нормального искателя. Основным чувствительным элементом искателя является пьезопластина 2 из титаната бария. На противоположные стороны пластины нанесены серебряные электроды, которые совместно с системой проводников и кабеля 6 служат для соединения излучателя с дефектоскопом. Пьезопластина 2 приклеена к демпферу 5, изготовленному из текстолита или эпоксидной смолы с наполнителем. Назначение демпфера — гашение собственных колебаний пьезоэлемента для получения коротких во времени пучков высокочастотных импульсов УЗК. Для защиты пьезоэлемента и его электрода от износа и поломок искатель снабжается защитным доннышком 1 из листовой стали толщиной (0,1—0,25 мм).

Призматический щуп (рис. 5.5б) возбуждает пучок УЗК, направленных под некоторым углом к поверхности изделия. Основной деталью, отличающей наклонный щуп от нормального, является призма 1, которая предназначена для изменения угла ввода УЗК. Пьезопластина 1 возбуждает в призме продольные волны. На границе раздела призмы и изделия продольные волны преломляются и трансформируются в поперечные. Для этого угол падения УЗК выбирается несколько большим первого критического угла волн из условия получения в изделии только поперечных УЗК.

Материалом призмы, как правило, служит органическое стекло. В силу этого угол ввода УЗК выбирают обычно в пределах 30—55°. Размеры и форма призмы рассчитаны так, чтобы отраженные от граней продольные и поперечные колебания не попадали вновь на пьезоэлемент. Отраженные УЗК проходят в верхнюю часть призмы (звуковую ловушку), где они рассеиваются на гранях гашения 3. Пьезопластина прижимается к призме через слой масла. Демпфер в наклонных щупах часто отсутствует, что способствует повышению чувствительности преобразователя.

### Основные методы ультразвуковой дефектоскопии

В ультразвуковой дефектоскопии применяется ряд методов обнаружения дефектов с использованием УЗК. Они отличаются друг от друга принципом действия, устройством аппаратуры, характером выявляемых дефектов, способами расположения датчиков и ввода УЗК. В силу этого различают несколько методов дефектоскопии, основанных на использовании УЗК.

**Теневой метод** (рис. 5.6а). При теневом методе излучатель и приемник УЗК размещают по разные стороны контролируемого изделия. Дефект, расположенный на пути ультразвуковых колебаний, уменьшает энергию, передаваемую от излу-



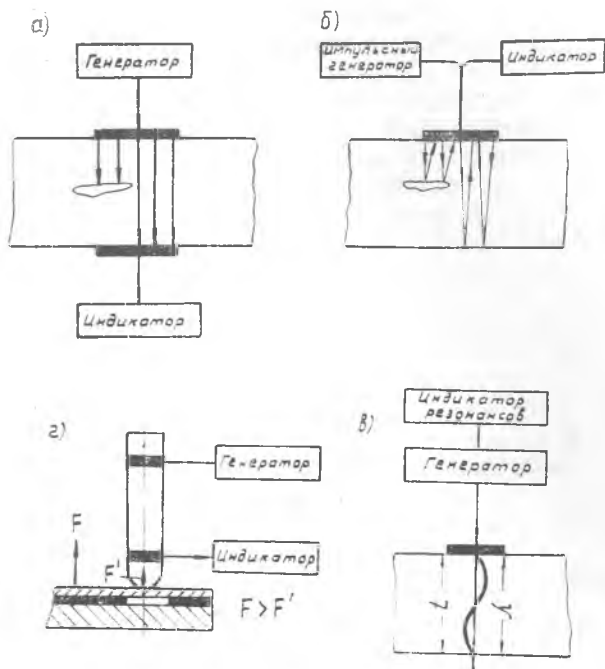


Рис. 5.6. Основные варианты ультразвуковой дефектоскопии.

а — теневой метод; б — эхо-импульсный метод; в — резонансный метод; 2 — импедансный метод.

чателю к приемнику УЗК. Теневым методом наиболее удобен для контроля тонких (до 50 мм) изделий, выполненных в виде листов и проката.

**Импульсный эхо-метод** (рис. 5.6б). Излучатель УЗК генерирует короткий ультразвуковой импульс, который отражается от дефекта противоположной поверхности детали, а затем воспринимается приемником. Сигнал от противоположной поверхности (дна) воспринимается позднее, чем сигнал от дефекта, что позволяет отличить его от импульса дефекта (принцип радиолокации).

В большинстве устройств, работающих по эхо-импульсному методу, один и тот же преобразователь работает и как излучатель, и как приемник. Для наблюдения эхо-сигналов в настоящее время широко используется электронно-лучевая трубка.

**Резонансный метод** (рис. 5.6в). Данный метод основан на измерении частот, при которых возникают резонансные колебания по толщине на исследуемом участке изделия. Если толщина изделия равна целому числу полувольт, в нем возникает стоячая волна УЗК, и справедливо равенство:  $t = \frac{nCL}{2f} = \frac{n\lambda}{2}$ ,

где  $C_L$  — скорость УЗК в материале изделия;  $n$  — число полу-волн по толщине изделия;  $\lambda$  — длина волны УЗК;  $t$  — толщина изделия;  $f$  — частота УЗК в момент возникновения стоячей волны.

Данное уравнение показывает, что если известна собственная частота колебаний изделия и скорость распространения УЗК, то может быть определена толщина изделия. Частоту резонанса определяют по реакции изделия на изменение частоты генератора. Современные резонансные толщиномеры могут обнаруживать дефекты внутри изделия: проявляющиеся в виде местных изменений его толщины (внутренняя коррозия).

**Метод акустического импеданса** (рис. 6.6г). Физическая сущность данного метода заключается в изменении режима колебаний стержня, опирающегося на поверхность изделия при изменениях жесткости изделия. Дефект, близкий к поверхности уменьшает жесткость участка изделия, т. е. его акустический импеданс (реакцию). Это приводит к смещению резонансной частоты колебаний системы «датчик — изделие» и, как следствие, изменению предварительной настройки индикатора.

## ОПИСАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА УДМ-1М

### Назначение и технические данные прибора

Импульсный ультразвуковой эхо-дефектоскоп УДМ-1М предназначен для обнаружения и определения координат дефектов, являющихся нарушением сплошности (раковины, расслоения, трещины и пр.) в материале изделий.

Дефектоскоп позволяет вести контроль на частотах 0,8; 1,8; 2,5; 5,0 *мгц*.

Чувствительность прибора при работе с нормальным искателем позволяет выявлять в мелкозернистых стальных изделиях дефект, эквивалентный контрольному отражателю, в виде отверстия с плоским дном диаметром 1 *мм* на глубине 100 *мм*. Максимальная глубина прозвучивания по стали составляет около 2600 *мм*. Минимальная глубина прозвучивания («мертвая» зона) составляет для нормального щупа 6—8 *мм*, при контроле призматическим щупом с углом ввода 50° около 1 *мм*.

Точность измерения расстояния до дефекта составляет 1% при измерении толщины до 100 *мм* и 5% при измерении толщины менее 20 *мм*.

Дефектоскоп позволяет производить замер площади дефекта по высоте отраженного импульса.

Вес прибора около 14 *кг*. Дефектоскоп снабжен системой автоматической сигнализации дефектов и системой задержанной развертки.

Питание от сети переменного тока с напряжением 220, 127, 110 *в* (50 *гц*).

## Принцип действия и назначения отдельных элементов дефектоскопа УДМ-1М

Эхо-импульсный ультразвуковой дефектоскоп УДМ-1М работает по принципу посылки в материал контролируемой детали коротких ультразвуковых импульсов и приема отраженных сигналов с последующим отображением этого процесса на экране электронно-лучевой трубки.

На рис. 5.7 приведена функциональная схема дефектоскопа УДМ-1М.

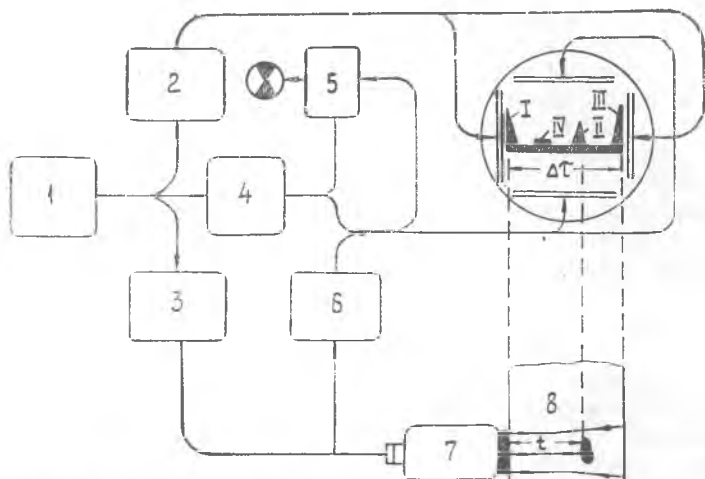


Рис. 5.7. Блок-схема ультразвукового дефектоскопа УДМ-1М.

Синхронизатор 1 управляет работой всех узлов дефектоскопа. Он запускает генератор высокочастотных импульсов 3 и генератор горизонтальной развертки луча электронно-лучевой трубки 2. Генератор импульсов 3 вырабатывает кратковременные высокочастотные импульсы электрических колебаний. Пьезощуп 7 преобразует электрические колебания в акустические и посылает их в деталь. Хороший акустический контакт между пьезощупом и поверхностью детали, достигаемый благодаря применению контактной смазки, позволяет ввести в материал детали УЗК с малой величиной потерь. Передвигаясь по материалу 8, ультразвуковой импульс возвращается к излучающей пластине, отразившись от дна или дефекта детали. Благодаря малой длительности зондирующего импульса отраженный сигнал возвращается к уже обесточенному и подготовленному к приему щупу. Одновременно с поступлением от генератора 3 на щуп радиоимпульс поступает в усилитель вертикального от-

клонения луча *б*, в результате на линии развертки возникает начальный импульс *1*. Отраженный импульс УЗК преобразуется щупом *7* в электрический импульс, затем поступает в усилитель *б* и далее на вертикальные пластины трубки *9*. При этом на экране трубки появляются сдвинутые по времени относительно начального импульса отметки (II и III) «дна» и дефекта детали.

Измеряя с помощью метки электронного глубиномера *4* время от момента посылки УЗК до момента появления эхо-сигнала на экране трубки, можно определить расстояние от поверхности детали до ее «дна» или дефекта из выражения:

$$t = \frac{C_L \tau}{2},$$

где  $C_L$  — скорость УЗК в материале детали, м/сек;  $t$  — расстояние до дефекта, см;  $\tau$  — время распространения УЗК до дефекта и обратно, мк.сек.

Наряду с измерением расстояний схема дефектоскопа обеспечивает возможность световой сигнализации о наличии дефекта на определенных глубинах контроля. Автоматический сигнализатор дефектов *5*, работающий совместно со схемой глубиномерного устройства *4*, позволяет вести контроль заданного слоя детали без наблюдения за экраном электронно-лучевой трубки.

### Конструкция дефектоскопа

На переднюю панель вынесены следующие ручки управления дефектоскопом (рис. 5.8).

«Яркость» (1) — для регулировки яркости изображения и выключения прибора.

«Фокус» (2) — для фокусировки луча трубки.

«Смещение по X»: (3) — для смещения луча по горизонтали.

«Электронная лупа» (4) — для включения схемы задержанной развертки.

«Вид измерений» (5) — для перехода на различные виды измерений с помощью ручки глубиномера.

«Зона автоматического контроля» (6) — для регулирования ширины зоны, внутри которой действует система автоматической сигнализации дефектов.

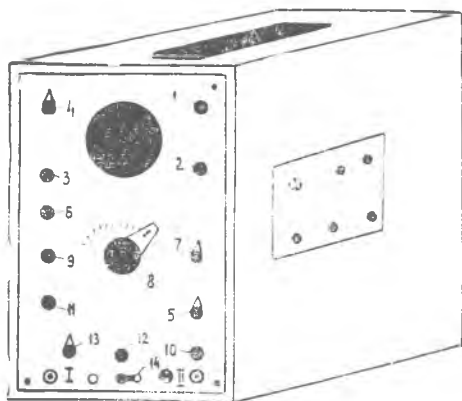


Рис. 5.8. Размещение ручек управления на передней панели дефектоскопа УДМ-1М.

«Диапазон прозвучивания» (7) — определяет максимальную глубину прозвучивания.

«Расстояние» (8) — в сочетании с «Диапазоном прозвучивания» позволяет определять координаты дефекта.

«Отсечка» (9) — для снижения помех, видимых на экране трубки.

«Мощность импульса» (10) — для установки необходимой мощности зондирующего импульса.

«Чувствительность» (11) — для регулировки чувствительности дефектоскопа.

«ВРЧ» (12) — для корректирования чувствительности дефектоскопа при изменении глубины прозвучивания.

«Частота мгц» (13) — для изменения рабочей частоты генератора радиопульсов.

«Переключатель I+II—I» (14) — для коммутирования входа и выхода при работе с одним или двумя щупами.

На передней панели дефектоскопа также расположены: экран электронно-лучевой трубки, гнезда щупов I и II, штеккерное гнездо «индикатор» (для подключения индикаторной лампы щупа) и индикаторная лампа «сеть».

На задней панели (под крышкой) расположены следующие ручки управления:

«Смещение по «У» — для смещения луча в вертикальной плоскости.

«Чувствительность индикатора» — для установки границы чувствительности автоматического сигнализатора дефектов.

«Толщиномер» — для подключения цепочки, позволяющей измерять малую толщину, а также клеммы «Реле», разъем для подключения кабеля питания, предохранитель, переключатель сетевого напряжения и клемма заземления.

На боковой панели (справа под крышкой) расположены:

Ручка «Развертка плавно» — для плавной регулировки скорости развертки.

Ручка «Скорость УЗК» — для корректировки скорости развертки при переходе на различные материалы, а также четыре переменных сопротивления (под шлиц), которыми подстраивается глубиномерное устройство при пользовании призматическими щупами.

## Руководство по эксплуатации дефектоскопа

### *Подготовка дефектоскопа к работе*

1. Установить переключатель напряжения сети в положение «220 вольт».
2. Заземлить прибор.
3. Соединить шнур питания с источником переменного тока.
4. Соединить высокочастотный кабель со щупом выбранной

частоты, а затем с гнездом I дефектоскопа (штеккер индикатора вставить в гнездо «Индикатор»).

5. Повернуть ручку «Яркость» вправо до щелчка, при этом должна загореться индикаторная лампа «Сеть».

6. После прогрева (1÷2 мин) ручками «Яркость» и «Фокус» установить оптимальные яркость и четкость линии развертки.

7. Ручкой «Смещение по X» установить начальный импульс у левого края экрана.

8. Ручку «Частота мГц» установить на выбранную частоту (в соответствии с датчиком).

9. Переключатель I—I+II поставить в положение I.

10. Переключатель «Диапазона прозвучивания» в зависимости от длины или толщины детали.

11. «Вид измерений» — в зависимости от типа щупа:

при прямом щупе  $D_{пр}$  или «Разв. пл.».

при призматическом  $D_x$  или  $D_y$ .

12. Ручку «Электронная лупа» — в положение «Выкл».

13. Ручку «Зона автоматического контроля» в левое крайнее положение.

14. Ручки «Чувствительность», «Мощность» и «Отсечка» — в среднее положение.

15. Ручку ВРЧ — в левое крайнее положение.

16. «Толщиномер» — в положение «Включен».

### *Выбор режимов работы и технология проведения контроля*

**Подготовка к контролю.** Для проведения ультразвукового контроля необходима соответствующая подготовка поверхности ввода УЗК. Это требование вытекает из необходимости получения хорошего акустического контакта щупа и изделия. Поверхность детали должна быть очищена от пыли, грязи, масел, краски.

Прямые щупы требуют для обеспечения ввода УЗК достаточно высокой чистоты обработки поверхности (выше  $\nabla 6$ ), призматические менее чувствительны к чистоте поверхности, однако все же требуют обработки с чистотой не ниже  $\nabla 3$ . При повышении рабочей частоты требования к чистоте поверхности ввода УЗК возрастают. Для получения надежного акустического контакта применяют местную зачистку поверхностей деталей, а также введение в зазор различных сортов минеральных масел.

Выбор рабочей частоты УЗК определяются размером зерна материала изделия, чистотой обработки поверхности ввода УЗК, величиной и глубиной залегания дефекта. Чем ниже частота УЗК, тем ниже требования к чистоте обработки поверхности и меньше помех от зерна материала. Однако при этом снижается чувствительность метода к дефектам и увеличивается зона начальной нечувствительности. Наиболее целесообразно в связи с этим использовать средние частоты УЗК (1,8÷2,5 мГц). Эти ча-

стоты вполне достаточны для выявления большей части эксплуатационных дефектов и в то же время отличаются относительно низкими требованиями к качеству обработки поверхности ввода УЗК.

Выбор типа искательной головки зависит от конфигурации изделия, чистоты обработки поверхности ввода УЗК, ожидаемого местоположения, формы и ориентации дефекта. При контроле изделий с плоскими базовыми поверхностями лучшие результаты достигаются при использовании прямых щупов.

При глубине залегания дефектов в диапазоне глубин от 1 до 40 мм хорошие результаты получают при использовании раздельно-совмещенных щупов (из комплекта прибора). При глубинах залегания дефектов более 10 мм, а также при необходимости введения УЗК под углом к базовой плоскости применяют призматические щупы с различными углами ввода УЗК.

**Измерение глубин залегания дефектов или толщины изделия.** Для измерения глубины залегания дефекта дефектоскоп необходимо настроить по материалу изделия (эталоны). Настройка ведется в следующей последовательности:

1. Ручка «Вид измерений» ставится в положение « $D_{пр}$ ».
2. Указатель «Расстояние» и ручка «Диапазон прозвучивания» ставятся в положение, равное длине эталона.
3. Ручками «Чувствительность» и «Мощность» добиваются получения на развертке устойчивого «донного» сигнала эталона высотой 30—40 мм.

4. Ручкой «Скорость УЗК» (справа под крышкой) «донный» импульс подводится к передней (левой) ступеньке «строп» — импульса глубиномера. После такой настройки ошибка на всей шкале глубиномера не превысит 2%.

5. Для замера глубины залегания дефекта или толщины изделия достаточно ручкой «Расстояние» совместить левую ступеньку «строп» — импульса глубиномера с импульсом дефекта или «дна». После чего снять показания со шкалы глубиномера. При использовании призматических щупов координаты дефекта определяются путем настройки дефектоскопа по специальным эталонам.

**Измерение амплитуды эхо-сигнала.** Для сравнительной оценки величин дефектов в приборе предусмотрена возможность измерения амплитуды эхо-сигнала. Амплитуда сигнала до 60 мм измеряется непосредственно по сетке на экране дефектоскопа. Для больших амплитуд переключатель «Род работы» ставится в положение «Измерение амплитуды» («Н»), а ручка глубиномера — в крайнее левое положение. Затем вращением ручки глубиномера вправо добиваются исчезновения импульса дефекта. Со шкалы глубиномера считывается количество малых делений, необходимых для подавления сигнала. Амплитуда эхо-сигнала определяется из выражения:  $A = m \cdot n$ , где  $A$  — высота импульса дефекта, эквивалентная его величине;

$m$  — количество делений шкалы глубиномера;  
 $n$  — высота импульса дефекта, эквивалентная одному делению шкалы (цена деления шкалы).

### **Использование системы автоматической сигнализации дефектов**

Для облегчения работы оператора в дефектоскопе предусмотрена система автоматической сигнализации дефектов (АСД). Для ее запуска необходимо:

1. Ручкой «Чувствительность индикатора» (сзади) установить требуемый порог срабатывания АСД (по высоте импульса дефекта).

2. Ручками «Зона автоматического контроля» и «Расстояние» совместить «строп»-импульс глубиномера с зоной (глубиной) появления дефекта. При появлении в зоне «строп»-импульса дефекта с амплитудой, равной или большей выбранного порога срабатывания АСД, вспыхивает сигнальная лампа у щупа.

### **Практическая часть**

1. Провести контроль деталей в соответствии с инструкционными картами, выдаваемыми по усмотрению преподавателя, а также в соответствии с общими рекомендациями по применению дефектоскопа УДМ-1М.

2. Оформить отчет о проделанной работе.

### **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

1. Краткие сведения о физической сущности ультразвуковых методов дефектоскопии.

2. Основные данные и принцип работы дефектоскопа УДМ-1М.

3. Результаты контроля деталей с указанием количества и глубины залегания выявленных дефектов.





---

## Лабораторная работа № 6

### ЛЮМИНЕСЦЕНТНО-ЦВЕТНОЙ МЕТОД КАПИЛЛЯРНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

**Цель работы** — изучение физических основ люминесцентно-цветного метода капиллярной дефектоскопии и приобретение практических навыков проведения контроля.

#### Теоретическая часть

##### ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ КАПИЛЛЯРНЫХ МЕТОДОВ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

Капиллярные методы дефектоскопии (метод красок, люминесцентный, красочно-люминесцентный) основаны на способности хорошо смачивающих окрашенных или люминесцирующих в УФС жидкостей проникать в мельчайшие дефекты (поры) материала (под действием капиллярных сил) и при последующем «проявлении» выделять их на фоне бездефектных участков детали путем увеличения яркостного или цветового контраста.

Практически используются три основных варианта капиллярного метода: метод красок (МК), люминесцентный (ЛМ) и люминесцентно-цветной метод (ЛЦМ).

Капиллярные методы дефектоскопии позволяют обнаруживать мельчайшие несплошности поверхностного слоя деталей независимо от химических, физических и механических свойств их материалов. Капиллярные методы надежно выявляют усталостные, шлифовочные и закалочные трещины (открытые с поверхности), а также пористость и растрескивание покрытий. Хорошо выявляются также очаги коррозии. Процесс контроля де-

талей капиллярными методами состоит из следующих основных операций (рис. 6.1):

- подготовки контролируемой поверхности;
- нанесения индикаторного состава (пропитки);
- удаления излишков индикаторного состава (очистки);

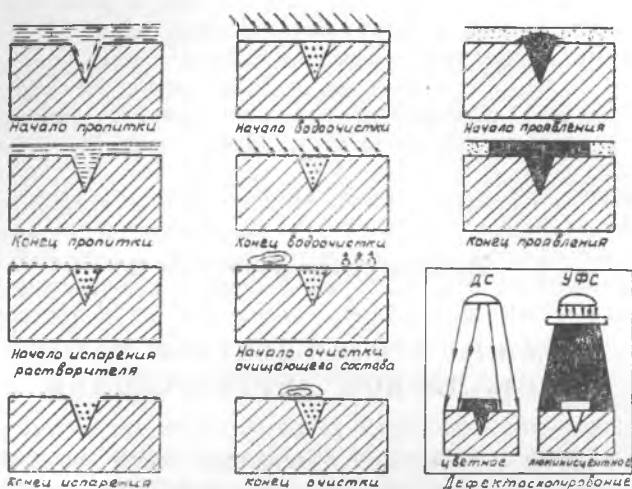


Рис. 6.1. Схема технологического процесса контроля капиллярными методами дефектоскопии.

- нанесения проявляющего состава («проявления»);
- осмотра (дефектоскопирования) детали;
- очистки детали после контроля.

Цветной метод (МК) позволяет обнаруживать присутствие индикаторной жидкости, вышедшей на поверхность детали за счет диффузии в проявитель, только в дневном (ДС) свете.

Люминесцентный метод контроля, использующий флуоресцирующие в ультрафиолетовой части спектра красители, позволяет вести контроль только в ультрафиолетовом свете (УФС).

Люминесцентно-цветной метод (ЛЦМ) позволяет производить осмотр деталей как в дневном ДС, так и в УФС свете. Сочетая высокие диффузионные способности цветных компонентов и огромные возможности яркостного контраста люминесцентных методов, ЛЦМ позволяет получить высшую для капиллярных методов чувствительность (0,001 мм в УФС и 0,01 в ДС).

#### КОМПЛЕКТ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ «АЭРО-12А»

- В комплект дефектоскопических материалов входят:
- индикаторная (проникающая) жидкость;
- очищающая жидкость;

проявляющий лак (проявитель).

**Индикаторная жидкость** служит для заполнения капиллярных полостей и последующей индикации мест их расположения. Состав индикаторной жидкости, используемый при люминесцентно-цветном методе контроля («Аэро-12А»), приведен в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Назначение	Вещество	Количество
Флуорокраситель	Родамин С (ВТУ РУ 856—53) Номенклатурный № 1959	3г
Растворитель (носитель индикаторного флуорокрасителя)	Спирт этиловый технический (гидролизный) ГОСТ 8314—57	90 мл
Поверхностно-активное вещество (ПАВ)	Эмульгатор ОП—7 (ГОСТ 8433—57)	10 мл

Поверхностное натяжение индикаторной жидкости составляет 26 дин/см, вязкость 1,7 сантипуаза.

**Очищающая жидкость** предназначена для интенсификации процесса промывки следов индикаторной жидкости с поверхности детали. Состав очищающей жидкости комплектов «Аэро-12А» приведен в таблице 6.2.

Таблица 6.2

Назначение	Вещество	Количество
Растворитель	Спирт этиловый технический (гидролизный) ГОСТ 8314—57	80 мл
Загуститель	Эмульгатор ОП—7 ГОСТ 8433—57	20 мл

**Проявляющий лак** (проявитель) предназначается для извлечения индикаторной жидкости из полости дефекта посредством ее диффузии (сорбции) в непросохшее лаковое покрытие. Состав проявителя комплекта «Аэро-12А» приведен в таблице 6.3.

#### ИСТОЧНИКИ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО СВЕТА (УФС)

Решающим условием эффективного применения ЛЦМ является использование интенсивного источника УФС. Это достигается путем применения в качестве источника УФС ртутно-квар-

Назначение	Вещество	Количество
Пигментная и пластифицирующая составляющие	Белая нитроэмаль «Экстра» (для кожи) ВТУ—МХП 693—50	30 мл
Лакообразующая составляющая	Коллодий медицинский	30 мл
Растворитель	Ацетон (ГОСТ 2603—51)	40 мл

цевых ламп сверхвысокого давления ДРШ (СВДШ), оборудованных фокусирующими отражателями света (рефлекторами).

В целях выделения из светового потока лампы только узкого ультрафиолетового участка спектра ( $3200 \div 4000 \text{Å}$ ) между лампой и контролируемой деталью помещается черный светофильтр (типа УФС-6). На рис. 6.2 представлена конструкция типового источника УФС.

Освещенность, создаваемая источником УФС, резко снижается в связи с загрязнением колбы лампы и фильтров, а также колебаниями напряжения питающей сети (вплоть до 80%).

Для контроля ЛЦМ целесообразно иметь освещенность детали УФС не менее 300 «черных» люкс. Контроль освещенности ведется обычными фото-электрическими экспонометрами с добавлением трансформаторов света (рис. 6.4)

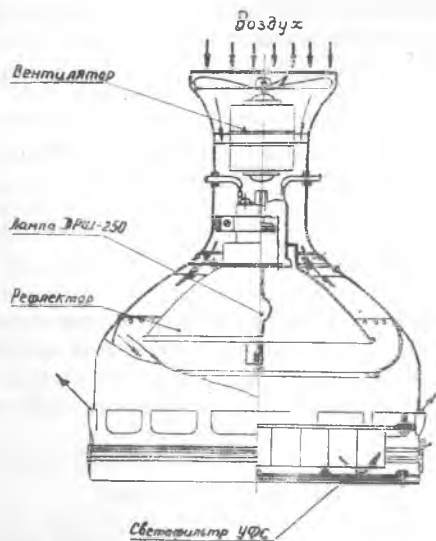


Рис. 6.2. Конструкция типового УФС осветителя.

#### ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКТА «АЭРО-12А»

**Подготовка поверхности детали.** Операция обеспечивает очистку полости дефекта от загрязнения и удаление жировых отложений с поверхности детали. Первое необходимо для свободного входа индикаторной жидкости в полость дефекта, второе предупреждает образование светящегося фона при осмотре. Подготовка поверхности производится легколету-

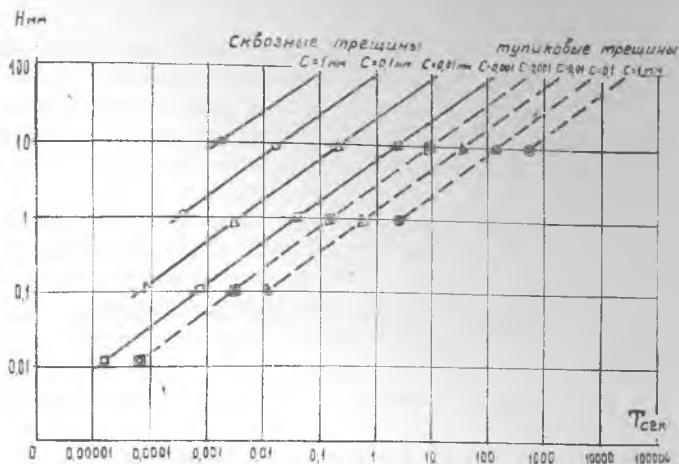


Рис. 6.3. Номограмма для расчета времени пропитки индикаторной жидкостью «Аэро-12А».

чими растворителями (ацетон, РДВ, четыреххлористый углерод) с последующей сушкой в течение 20—30 минут при температуре 70—80°C. При загрязнении полости дефекта керосином деталь необходимо прогреть в течение одного-двух часов при температуре 150—200°C.

**Нанесение индикаторного состава (пропитка)** осуществляется кистью или погружением детали в сосуд с индикаторным составом. Время пропитки колеблется в зависимости от характера дефекта (глубины, ширины раскрытия) в пределах от 1 до 30 мин. Для комплекта «Аэро-12А» оно составляет обычно 2—4 мин. Более точное время пропитки определяется по номограмме (рис. 6.3). При нанесении индикатора кистью пропитка осуществляется в два-три приема (не допуская высыхания слоев).

**Удаление излишков индикатора (очистка)** производится с особой тщательностью, чем достигается отсутствие флуоресцирующего фона при осмотре. Очистка производится струей распыленной воздухом воды с последующей обработкой очищающим составом при помощи марлевого тампона. Качество очистки определяется по отсутствию видимого свечения (окраски) тампона. После очистки деталь просушивается в струе теплого воздуха.

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

**Осмотр деталей (дефектоскопирование)** производится в

концентрированном и отфильтрованном УФС или при обычном ДС в зависимости от требуемой чувствительности. Дефект проявляется в виде яркого индикаторного следа (оранжевого) на темном фоне проявителя в УФС или белом в ДС. Наличие общего оранжевого фона говорит о плохом качестве очистки деталей от индикатора.

**Очистка от проявителя.** Очистка бездефектных деталей от пленки проявителя ведется промывкой в растворителе (ацетоне, РДВ) или путем обдува косточковой крошкой.

Материалы, предназначенные для проведения контроля ЛЦМ, подлежат обязательному контролю на пригодность к работе. Контролю подвергаются как вновь изготовленные материалы, так и используемые более 3-х месяцев (хранившиеся в течение 6-ти месяцев).

#### **Качество индикаторной жидкости оценивается:**

по отсутствию механических частиц при отстаивании в пробирке. После часового отстоя в жидкости не должно быть видимого осадка (помутнения);

по интенсивности окраски в тонких слоях. Оценка ведется методом менисковой пробы;

по смачивающей способности, определяемой по скорости растекания капли на контролируемой поверхности детали;

по окрашивающей способности (концентрационная проба). Оценка ведется по наличию заметного свечения или окраски проявителя при добавлении в него определенного количества индикатора.

#### **Качество проявляющих лаков оценивается:**

по цвету, внешнему виду и укывистости пленки. Оценка ведется путем исследования тонкого слоя проявляющего лака в проходящем или отраженном свете;

по кинематической вязкости. Оценка вязкости производится при температуре 18—20°C по вискозиметру ВЗ—4. Для комплекта «Аэро-12А» вязкость проявляющего лака лежит в пределах 28÷32 сек.;

по времени высыхания пленки при температуре 18—22°C. Оценка окончания процесса высыхания ведется по легкости отделения пленки от стекла;

по содержанию сухого остатка (10—12% для кисти и 6—9% для пульверизатора);

по окрашиваемости (концентрационная проба);

по способности к выявлению эталонных дефектов. В качестве эталонов рекомендуется использовать разборные клиновые приборы и детали с искусственно полученными шлифовочными трещинами. Разборные клиновые эталоны одновременно дают возможность оценивать значения верхнего и нижнего пределов чувствительности метода.

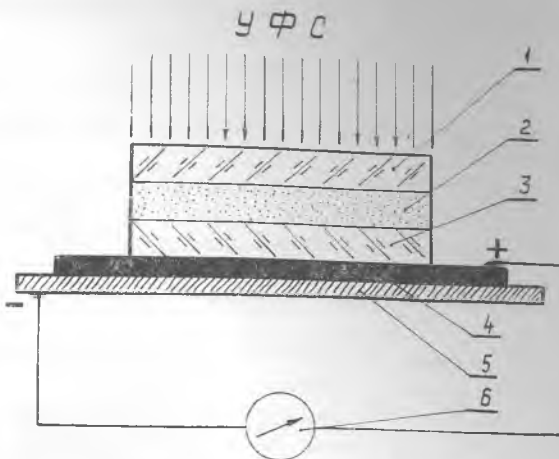


Рис. 6.4. Схема прибора для замера освещенности в ультра-звуковом участке спектра.

1 — светофильтр УФС-6; 2 — люминофор; 3 — светофильтр ЖС-17; 4 — слой полупроводника; 5 — токопровод; 6 — гальванометр.

**ВНИМАНИЕ!** Приступая к выполнению практической части работы, необходимо помнить, что прямое попадание УФС в глаза может привести к сильным ожогам сетчатки (потере зрения).

## Практическая часть

### ПРОВЕДЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКА УФС

Измерение ведется с помощью фотоэлектрического экспонометра (или люкс-метра) трансформатора света (рис. 6.4). Измерение производят по всей площади предметного столика ультрафиолетового осветителя для определения границ с достаточной освещенностью УФС.

Порядок выполнения работы следующий:

1) включить источник УФС и дать ему прогреться в течение 5÷10 минут.

2) поместить чувствительный элемент люкс-метра на поверхность предметного стола. Перемещая его по поверхности, произвести замер освещенности. Составить план значений освещенности предметного столика;

3) выявить границы зоны достаточной освещенности УФС (более 300 «черных» люкс) и нанести ее контуры на предметный столик осветителя.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИГОДНОСТИ ИНДИКАТОРНОГО И ПРОЯВЛЯЮЩЕГО СОСТАВА КОМПЛЕКТА «АЭРО-12А»

## Контроль смачивающей способности индикатора

Контроль смачивающей способности индикаторной жидкости комплекта «АЭРО-12А» ведется путем измерения скорости растекания капли жидкости по эталонной пластинке.

Порядок выполнения работы:

1) тщательно обезжирить ацетоном эталонную пластинку (стекло);

2) набрать небольшое количество исследуемой индикаторной жидкости в медицинскую пипетку;

3) выдавить на поверхность пластинки одну каплю жидкости (пипетку располагать вертикально, расстояние до эталонной поверхности выдерживать в пределах 20—25 мм);

4) циркулем-измерителем определить два взаимно-перпендикулярных диаметра пятна. В первую минуту снять шесть замеров (через 10 сек), затем — через каждые 30 сек, вплоть до 2-х минут;

5) по осредненным данным построить график изменения скорости растекания капли. Для комплекта «Аэро-12А» время растекания капли до диаметра 30 мм (по стеклу) должно быть не более  $12 \div 15$  сек. Характер кривой растекания по другим материалам должен соответствовать эталонному графику (рис. 6.5).

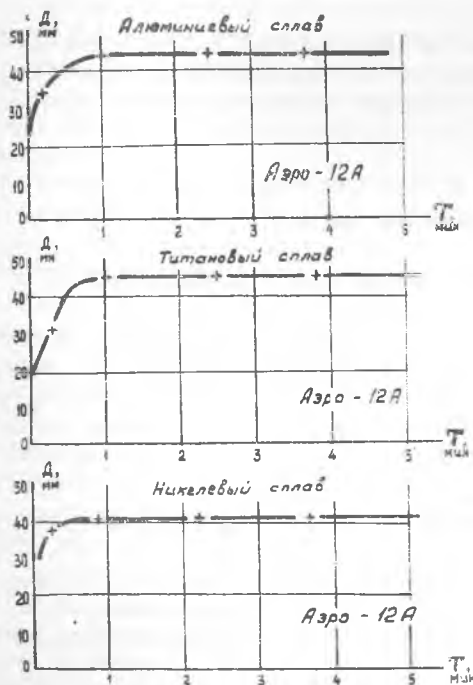


Рис. 6.5. Зависимость скорости растекания капли индикатора «Аэро-12А» от материала детали

Контроль критической толщины индикатора (окрашенности в тонких слоях)

Оценка критической толщины слоя индикаторной жидкости комплекта «Аэро-12А» производится с помощью специального прибора



методом менисковой пробы.

За критическую толщину слоя индикаторной жидкости считают минимальную толщину слоя, при которой еще заметна окраска или люминесценция индикатора.

Прибор для определения критической толщины индикатора состоит из стеклянной линзы с радиусом кривизны 30—100 см и стеклянной пластины, между которыми «раздавлено» несколько капель индикаторной жидкости (рис. 6.6).

Клиновидный кольцевой зазор, образующийся в точке контакта линзы и пластины, позволяет определить минимальное значение критической толщины слоя (по диаметру пятна  $A$ ), не имеющего заметной окраски или люминесценции.

Измерив диаметр пятна  $A$  и радиус кривизны линзы  $R$ , можно найти значение критической толщины слоя  $T_{кр}$  из выражения

$$T_{кр} = \frac{A^2}{8R}$$

Порядок выполнения работы:

1) тщательно обезжирить поверхность линзы и пластины ацетоном;

2) нанести на поверхность пластины 3—5 капель индикаторной жидкости;

3) замерить диаметр светового пятна  $A$  при наложении линзы на плоское стекло (с помощью подложенной под стекло миллиметровки);

4) вычислить критическую толщину слоя  $T_{кр}$ ;

5) дать заключение о пригодности индикатора к работе.

Критическая толщина слоя индикатора, пригодного к работе в ДС должна быть не более 2÷3 мк.

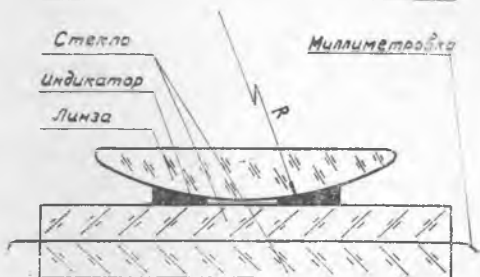
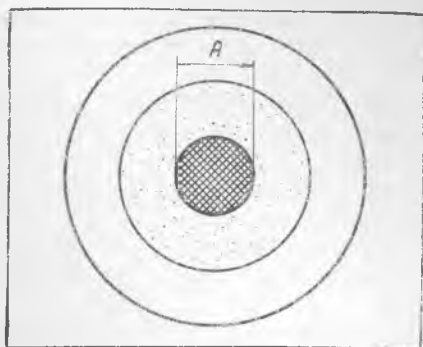


Рис. 6.6. Схема прибора для определения критической толщины индикаторной жидкости «Аэро-12А».

## Контроль окрашивающей способности (концентрационная проба)

Концентрационная проба проводится с целью выяснения способности комплекта проявитель-индикатор к обнаружению малых несплошностей. Чем меньшее количество индикатора в проявителе приводит к его окраске (свечению), тем выше служебные качества пары.

Порядок выполнения работы:

1) отмерить 5 см<sup>3</sup> готового проявляющего лака в чистую пробирку;

2) с помощью пипетки в проявитель ввести одну каплю разведенного спиртом в соотношении 1 : 10 индикаторного состава и тщательно перемешать;

3) очищенной кисточкой нанести мазок на предметное стекло;

4) продолжить опыт в той же последовательности до 10 капель индикатора;

5) стекло с 10-ю мазками осмотреть в ДС и УФС.

Для пригодного к работе комплекта «Аэро-12А» начало свечения должно соответствовать 4—5 каплям индикаторного состава. В ДС начало окрашивания должно быть заметно, начиная с 7—8 капель индикатора.

## Контроль времени высыхания проявляющего лака

Для оценки времени высыхания проявляющего лака необходимо:

1) очистить ацетоном предметное стекло;

2) нанести мазок проявляющего лака;

3) подрезать кончиком лезвия слой лака, определить время высыхания. Легкое отделение пленки от пластины свидетельствует об окончании процесса высыхания. Проявляющий лак комплекта «Аэро-12А» считается пригодным к работе, если по истечении 3-х минут он отделяется от стекла. В противном случае необходимо произвести измерение вязкости с последующей корректировкой содержания ацетона.

## Оценка чувствительности комплекта дефектоскопических материалов «АЭРО-12А»

Оценка чувствительности комплекта производится на специальном разборном эталоне (рис. 6.7) в соответствии с общей технологией контроля ЛЦМ.

Образующийся между пластинами 1 клиновидный зазор позволяет оценить верхнюю границу чувствительности метода из выражения

$$C_{\max} = \frac{\delta \cdot y_{\max}}{y_{\text{пл}}} \text{ мм},$$

где  $b$  — толщина прокладки, мм;

$U_{пл}$  и  $U_{max}$  — общая длина и длина невыявленной части клинового зазора, мм.

Для пригодного к работе комплекта «Аэро-12А» верхняя граница чувствительности в ДС должна быть не ниже 0,01 мм, а в УФС — около 0,001 мм.

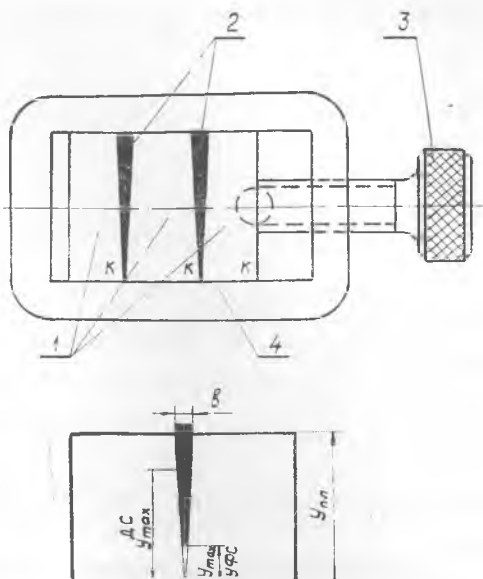


Рис. 6.7. Конструкция разборного клинового эталона для оценки чувствительности комплекта «Аэро-12А».

1 — концевые плашки; 2 — прокладка (0,01–0,02 мм); 3 — стяжной винт; 4 — трубка.

### Оценка чувствительности по эталонным деталям

Заключительным этапом оценки пригодности дефектоскопических материалов является контроль на выявляемость тонких шлифовочных трещин на специальных эталонах. Картина выявленных дефектов должна соответствовать паспортным данным на эталоны.

Работа по оценке чувствительности ведется в соответствии с общей технологией ЛЦМ.

Контроль деталей с использованием комплекта дефектоскопических материалов «Аэро-12А» ведется в соответствии с инструкционными картами, выдаваемыми по усмотрению преподавателя, а также на основании общих рекомендаций по проведению контроля деталей с использованием ЛЦМ.

### Содержание отчета

1. Краткие сведения о физической сущности капиллярных методов дефектоскопии.
2. Данные по составу комплекта дефектоскопических материалов «Аэро-12А».
3. Данные по результатам замера освещенности УФС.
4. Данные по исследованию пригодности дефектоскопических материалов «Аэро-12А».
5. Данные по результатам проведенного контроля деталей с указанием места и характера выявленных дефектов.

---

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Боровиков, Р. И. Лихачев. «Физические методы дефектоскопии» (Сборник инструкций), «Транспорт», 1968.
  2. В. С. Соколов. «Дефектоскопия материалов», 2-е издание, Госэнергоиздат, 1961.
  3. Д. ж. Хинсли. «Методы испытания материалов без разрушения», Металлургиздат, 1962.
  4. Л. Л. Дорофеев. «Электроиндуктивная дефектоскопия», Машиностроение, 1967.
  5. С. И. Малков, П. Д. Тафапольский, А. С. Боровиков, «Дефектация самолетов», РИО Аэрофлота, 1959.
  6. Д. С. Шрайбер. «Ультразвуковая дефектоскопия», Металлургия, 1965.
  7. Современные методы контроля материалов без разрушения. Машгиз, 1961.
  8. «Люминесцентно-цветная дефектоскопия» (Техническое руководство), ОНТИ ГосНИИ ГА, 1965.
  9. И. М. Макаровский. «Дефектоскопы для работы в полевых условиях». ОНТИ, Москва, 1965.
  10. А. К. Денель. «Дефектоскопия металлов», Металлургия, 1972.
- 
-

ДЛЯ ЗАМЕТОК

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

Введение . . . . .	3
Лабораторная работа № 1. Магнитно-порошковый метод дефектоскопии . . . . .	5
Лабораторная работа № 2. Контроль деталей магнитно- порошковым методом . . . . .	28
Лабораторная работа № 3. Контроль качества изделий методом вихревых токов . . . . .	40
Лабораторная работа № 4. Токовихревая дефектоско- пия деталей . . . . .	55
Лабораторная работа № 5. Контроль деталей ультра- звуковым методом . . . . .	66
Лабораторная работа № 6. Люминесцентно-цветной метод капиллярной дефектоскопии . . . . .	81
Литература . . . . .	92

