МОГИЛЕВСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

УДК 620.179.14

СИНИЦА
МАРГАРИТА АНАТОЛЬЕВНА

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЗА СЧЕТ РЕШЕНИЯ ДЕФЕКТОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ ДВУХСЛОЙНОЙ МАГНИТНОЙ ЛЕНТЫ.

05.02.11 - "Методы контроля и диагностика в машиностроении"

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Могилев 1999

Работа выполнена в Могилевском машиностроительном институте

Научные руководители - доктор технических наук профессор
Шарова Александра Михайловна

доктор технических наук профессор
Куликов Валерий Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Сандомирский Сергей Григорьевич

кандидат технических наук
Пашкевич Виктор Михайлович

Оппонирующая организация - Московский энергетический институт
(Технический университет)

Защита состоится "___" _____ 1999г. В 14-00 на заседании Совета по защите кандидатских диссертаций К 02.18.01 в Могилевском машиностроительном институте по адресу: 212005, Могилев, ул. Ленина,д.70.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Могилевского машиностроительного института.

Автореферат разослан "28" мая 1999г.

Ученый секретарь
Совета по защите кандидатских диссертаций К 02.18.01
кандидат технических наук И.М. Кузменко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Приоритетным направлением в развитии магнитных методов контроля в настоящее время является переход от магнитной дефектоскопии к дефектометрии, т.е. к определению параметров дефектов по характеристикам магнитостатических полей, измеренных при контроле. Важным условием здесь является установление взаимосвязей между параметрами дефекта и характеристиками его поля, что позволит представить информацию о поле дефекта в аналитической форме, удобной для решения математических задач в процессе измерений.

Основными параметрами внутреннего дефекта в магнитной дефектоскопии являются величина дефекта и глубина его залегания, определить которые по полученным информативным характеристикам в процессе магнитографического контроля (МГК) сложно, ввиду возможного получения одинаковых значений амплитуд сигналов, обусловленных дефектами разных величин и глубин залегания. В связи с эти, оценить степень допустимости дефекта и принять своевременное решение о необходимости его исправления сложно, что является одной из важных прикладных задач.

Новые возможности и подходы к определению параметров дефектов на основе анализа полей дефектов, измеренных в различных точках открывает двухслойная магнитная лента, которая позволяет записать поле дефекта не только в плоскости, но и в пространстве и, тем самым, получить больший объем информации о поле дефекта. Тем не менее, до настоящего времени не установлены зависимости между параметрами дефектов и информативными характеристиками полей дефектов, измеренными при МГК двухслойными лентами. Ввиду этого двухслойная магнитная лента не нашла применения в практике МГК для решения дефектометрических задач.

В связи с этим представляет интерес проведение комплекса исследований по разработке методик обработки информативных характеристик, их аппаратурной реализации, т.к. в магнитной записи поля дефекта содержится информация о величине и глубине залегания дефекта. Такие методики могут быть созданы только на основе широкого применения ЭВМ методом последовательных приближений к данным экспериментальных исследований. Эксплуатационные характеристики магнитографических дефектоскопов могут быть существенно улучшены за счет применения микро-ЭВМ, способных в процессе контроля решать сложные уравнения взаимосвязи между измеряемыми и неизмеряемыми характеристиками дефекта, что приведет к точности и достоверности МГК. Помимо основной задачи - обеспечения надежного выявления дефектов с последующим определением их параметров, создаются предпосылки для комплексной автоматизации МГК, включая регистрацию и анализ результатов, что несомненно приведет к повышению эффективности магнитографического контроля.

Связь работы с крупными научными программами, темами. Работа выполнена согласно Республиканской программе "Сварка" по теме "Провести комплекс НИР, разработать и освоить серийный выпуск магнитографического дефектоскопа (МГД) для контроля сварных соединений" (ГР N 19942634 от 5.08.94г.) и теме " Выявление величины и глубины залегания дефектов магнитографическим методом контроля на основе двухслойной магнитной ленты" (ГР N 1998872 от 2.01.98г.).

Цель и задачи исследований. Целью диссертационной работы является повышение эффективности магнитографического контроля за счет решения дефектометрических задач на основе двухслойной магнитной ленты.

Задачи исследований:

- провести теоретические исследования процессов магнитной записи и воспроизведения полей дефектов для двухслойных магнитных лент;
- провести экспериментальные исследования взаимосвязи параметров дефектов с характеристиками магнитографических осциллограмм, считываемых с двухслойных магнитных лент;
- разработать математическую модель определения параметров дефектов;
- разработать методику определения параметров дефектов, программное обеспечение и технические средства.

Объект и предмет исследования. Объектом исследований является магнитографический метод контроля изделий с дефектами типа нарушений сплошности. Предметом исследований является двухслойная магнитная лента для решения дефектометрических задач.

Гипотеза. Учитывая то обстоятельство, что поле дефекта, даже при введении многих упрощающих допущений, в общем виде прямопропорционально зависит от величины дефекта и обратно пропорционально от глубины залегания дефекта, то для определения двух параметров дефекта, необходимо иметь, как минимум два выражения. Двухслойная магнитная лента представляет собой уникальный датчик магнитного поля дефекта, приемлемый для практики МГК, который позволяет получить необходимое и достаточное количество информативных характеристик о поле дефекта для определения основных параметров внутреннего дефекта.

Методология и методы проведения исследований. Основные задачи работы решались расчетным и экспериментальным путем с осциллографированием электрических параметров процесса магнитографического контроля.

Для теоретических исследований использовалась дипольная теория и метод зеркальных отображений, а также метод дифференциальных исчислений. Проверка основных теоретических результатов осуществлялась посредством экспериментальных исследований. При разработке математической модели определения параметров дефектов использовался метод аналитической аппроксимации и численные методы решения нелинейных уравнений. Для оценки достоверности и точности определения параметров дефектов ис-

пользовались статистические методы теории вероятности.

Научная новизна и значимость полученных результатов состоит в экспериментально-теоретическом обосновании возможности определения параметров дефектов при магнитографическом контроле на основе измерения тангенциальных составляющих поля рассеяния дефекта в двух параллельных плоскостях с чередованием линейных и нелинейных в магнитном отношении слоев и заключается в установлении закономерностей изменения тангенциальных составляющих поля дефекта и амплитуд сигналов от величины и глубины залегания дефектов в зависимости от расстояния магнитных слоев до дефекта, и разработке на этой основе новой методики обработки информативных характеристик поля дефекта, позволяющей по двум амплитудам, измеренным при МГК, определять величину и глубину залегания дефектов, и формулируется следующими положениями:

- впервые разработана и исследована математическая модель процессов магнитной записи и воспроизведения полей дефектов для двухслойных магнитных лент, учитывающая формирование поля дефекта и топографии в средах с различной магнитной проницаемостью и , позволяющая установить различие закономерностей изменения тангенциальных составляющих поля дефекта и амплитуд сигналов от величины и глубины залегания дефектов в зависимости от расстояния магнитных слоев до дефекта.

- впервые теоретически обоснована и экспериментально установлена оптимальная толщина неферромагнитного слоя двухслойных лент, обеспечивающая разницу в амплитудах сигналов, считанных с двух магнитных слоев для широкого диапазона параметров дефектов и толщин металла, при существенном отличии значений амплитуд сигналов и, позволяющая осуществлять достоверное определение величины и глубины залегания дефектов.

- разработана и исследована математическая модель определения параметров дефектов на основе аналитической аппроксимации и численных методов решения нелинейных уравнений; впервые получены аналитические выражения зависимостей амплитуд сигналов от параметров дефектов для двухслойной магнитной ленты и универсальные выражения для определения величины дефекта и глубины его залегания.

Практическая значимость полученных результатов. Впервые разработаны алгоритмы и программы для определения величины и глубины залегания дефектов, что представляет собой основу для дальнейшей разработки программного обеспечения МГК с решением дефектометрических задач, с учетом специфики объектов контроля.

Усовершенствован магнитографический дефектоскоп за счет укомплектования его микро-ЭВМ, с разработанной платой сбора аналогового сигнала, представляющей собой быстродействующий АЦП, преобразующий сигналы с двухслойной магнитной ленты в цифровую информацию, модернизирован блок считывания за счет укомплектования его второй индукционной головкой.

– впервые даны рекомендации по изготовлению двухслойным магнитных лент для практики контроля.

– разработана новая технология МГК с применением двухслойных магнитных лент для решения задач дефектометрии.

Указанные разработки испытаны в производственных условиях и позволяют определять величину дефекта с погрешностью 15%, глубину залегания с погрешностью 17%, что позволяет сделать вывод о высокой точности и достоверности определения параметров дефектов. Автоматизация МГК позволяет получать информацию о параметрах дефектов в реальном масштабе времени.

Разработанная методика определения параметров дефектов, алгоритмы и программы , технология МГК и технические средства являются коммерческим продуктом, который можно реализовать, кроме республики Беларусь, в странах ближнего и дальнего зарубежья. Их применение на производстве может дать экономический эффект за счет уменьшения объема исправления дефектов.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- математическая модель процессов магнитной записи и воспроизведения полей дефектов для двухслойной магнитной ленты, позволяющая установить характер зависимостей тангенциальных составляющих поля дефекта и амплитуд сигналов от параметров дефектов в зависимости от расстояния магнитных слоев до дефекта.

- математическая модель определения параметров дефектов, позволившая получить аналитические выражения взаимосвязи амплитуд сигналов с параметрами дефектов для двухслойной магнитной ленты, которые ранее не были получены даже для однослойного носителя;

- схемы алгоритмов определения параметров дефектов и программа их реализации, позволяющие осуществлять компьютерную обработку информативных параметров дефектов и создание прикладных программ для широкого диапазона толщин изделий и марок материалов;

-новая методика определения параметров дефектов, позволяющая по двум амплитудам, считанным с двухслойной магнитной ленты при МГК определять величину и глубину залегания дефектов.

- результаты исследований магнитостатических полей и амплитуд сигналов, обусловленных дефектами различных параметров при МГК двухслойными магнитными лентами, позволившие установить нелинейную зависимость разностного сигнала с двух магнитных слоев от параметров дефектов и обосновать необходимость разработки методики разделения зависимостей амплитуд сигналов от параметров дефектов для двух магнитных слоев, а также оптимизировать толщину неферромагнитного слоя. что позволило дать рекомендации по изготовлению двухслойных магнитных лент для практики МГ-контроля,

- конструкция магнитографического комплекса, позволяющего полу-

чать информацию о параметрах дефектов в реальном масштабе времени

- результаты проведенных испытаний с оценкой точности и достоверности определения величины и глубины залегания дефектов, позволяющие дать оценку эффективности применения разработок в условиях производства.

Личный вклад соискателя. В работах, опубликованных с соавторами, результаты которых вошли в диссертацию, автор участвовал на всех этапах их выполнения. Руководителю принадлежит общая идея работы. Теоретические и экспериментальные исследования, испытания проводились автором самостоятельно.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на IX Уральской научно-технической конференции "Современные магнитные, электромагнитные и акустические методы и приборы неразрушающего контроля", Свердловск, 1988; Республиканской школе-семинаре "Автоматизация методов неразрушающего контроля качества сварных соединений", Львов, 1988; X Уральской научно-технической конференции "Проблемы применения методов неразрушающего контроля", Свердловск, 1989; Всесоюзной научно-технической конференции "Неразрушающий контроль-88", Рига, 1988; Российской с международным участием научно-технической конференции "Неразрушающий контроль в науке и индустрии - 94", Москва, 1994; Международной конференции " Компьютерные методы и обратные задачи в неразрушающем контроле и диагностике", Минск, 1995; IУ Межвузовской научно-технической конференции стран СНГ "Современные методы и средства электромагнитного контроля и их применение в промышленности", Могилев, 1995; Научно-технических семинарах кафедр "Оборудование и технология сварочного производства" и "Физические методы контроля" Могилевского машиностроительного института.

Опубликованность результатов. Основное содержание диссертации отражено в 20 научных работах, в том числе в статье в журнале "Техническая диагностика и неразрушающий контроль" и в статье в сборнике научных трудов молодых ученых ММИ, 15 тезисах докладов НТК, 2 авторских свидетельствах на изобретения и 1 положительном решении на выдачу патента на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, выводов, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 150 страниц. Она содержит 100 страниц основного текста, 36 рисунков и 152 библиографические ссылки.

В первой главе рассмотрено состояние вопроса, проанализированы существующие способы и средства определения параметров дефектов в магнитной дефектоскопии, а также результаты исследований по этому вопросу, выполненные рядом ученых в области магнитографии.

Анализ работ показал, что способы и методики контроля, заложенные

в их основу трудноприменимы к практике магнитографического контроля, а главное не позволяют одновременно оценить величину и глубину залегания дефекта. В то же время общие подходы к определению параметров дефектов на основе анализа полей, измеренных в различных точках могут быть использованы при разработке новых методик магнитографического контроля.

Следует отметить, что в настоящее время ведущим направлением для решения дефектометрических задач является использование методов анализа и обработки информации на ЭВМ на основе разрабатываемых моделей полей дефектов. Анализ показал, что лишь в части работ эта задача доведена до численного решения, в других работах проведен качественный анализ, а некоторые ограничиваются чисто математическим описанием полей дефектов.

Анализ математических расчетов полей дефектов различной формы на основе различных моделей показал, что даже при введении многих упрощающих допущений, в математические выражения тангенциальной и нормальной составляющих магнитостатического поля дефекта всегда входят, как минимум 2 параметра дефекта: величина дефекта и глубина его залегания, поэтому естественно, что для определения обоих параметров необходимо иметь два выражения, что представляет собой сложную задачу.

В связи с этим, интерес вызывает идея применения двух датчиков магнитного поля, предложенная Ф.Ферстером и применительно к магнитографии магнитная лента с двумя ферромагнитными слоями, разделенными между собой неферромагнитным слоем, предложенная Н.С. Акуловым, В.С. Козловым, О.А. Жолнеровичем. Однако, предложенная формула для определения глубины залегания дефекта трудноприменима к практике магнитографического контроля, т.к. в ней не содержатся величины, которыми оперируют при МГК, а также используются поправочные коэффициенты, численные значения которых не приводятся. Более того, авторы учитывают изменение координаты точки наблюдения лишь как изменение глубины залегания дефекта по отношению ко второму магнитному слою, используя при этом физическую модель, не учитывающую границ раздела сред, а следовательно и физических процессов отображения и воспроизведения магнитной записи поля дефекта при записи его в резконеоднородных средах с чередованием линейных и нелинейных в магнитном отношении слоев, что приводит к искаженным результатам. Методика определения величины дефекта не приводится. Кроме того, не оптимизирована толщина неферромагнитного слоя между лентами, что требует проведения дополнительных исследований

Обоснованием корректности использования магнитной ленты с двумя ферромагнитными слоями, разделенными неферромагнитным слоем в качестве датчика для решения задач дефектометрии является расширение объема информации о поле одного и того же дефекта в двух точках наблюдения, что позволяет составить два математических выражения и создает предпосылки для определения двух неизвестных параметров дефекта, т.к. имеется необходимое и достаточное количество информативных характеристик о поле де-

фекта, получаемых при контроле. Необходимо иметь полное представление о том, как изменяются поля дефектов и амплитуды сигналов в зависимости от параметров дефектов и толщины неферромагнитного слоя с учетом вида дефекта, толщины и магнитных свойств материала изделия, что представляет собой сложную физико-математическую задачу. Часть указанных закономерностей исследована в других работах для магнитной ленты с одним ферромагнитным слоем , однако полученные результаты отражают только качественный характер зависимостей магнитостатических полей дефектов и амплитуд сигналов от параметров дефектов. Для достижения нашей цели необходимы количественные соотношения между полями дефектов, сигналами, обусловленными ими при МГК, и их параметрами.

По результатам литературного анализа сформулированы цели и задачи исследований.

Во второй главе проведены теоретические исследования магнитной записи и воспроизведения полей дефектов для магнитной ленты с двумя ферромагнитными слоями, разделенными неферромагнитным слоем. В качестве модели для исследований использовалась схема ограниченной пластины, содержащей внутри цилиндрический дефект (рис.1) с расположенной на поверхности двухслойной магнитной лентой, причем один магнитный слой контактирует с ферромагнитной пластиной, а второй расположен на некотором расстоянии от пластины. Эта модель и ее исследование может дать наиболее ценные для практики результаты, т.к. подобные дефекты часто встречаемые, а результаты исследований могут быть экстраполированы на дефекты с другой формой поперечного сечения.

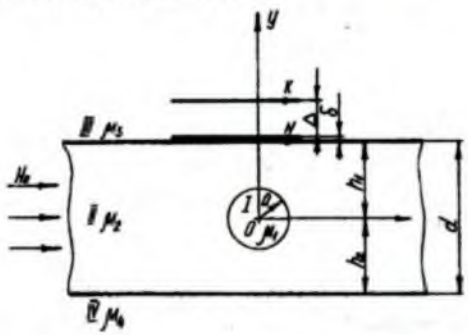


Рис.1 Модель записи магнитного поля дефекта на двухслойную ленту

В качестве методов исследований была выбрана дипольная теория и метод зеркальных отображений, учитывающий отображения не только границами изделия, но и границами цилиндрического дефекта. На основании принципа суперпозиции напряженностей полей диполя До и суммы фиктивных диполей, многократно отображенных границами изделия и дефекта, записаны два математических выражения для тангенциальных составляющих

напряженности магнитного поля дефекта для двух магнитных слоев двухслойной ленты, находящихся в различных условиях контроля, которые отличаются между собой количеством диполей, коэффициентом раздела сред и координатой точки наблюдения Y.

Учитывая, что при считывании записи с магнитной ленты индукционной головкой амплитуда сигнала пропорциональна градиенту тангенциальной составляющей, выражения тангенциальных составляющих для двух магнитных слоев были продифференцированы по X. Выражение, соответствующее полю дефекта, считываемого с верхней ленты имеет вид:

$$\frac{dH_{rb}}{dx} = \frac{4x}{1+\mu}\cdot\left\{\frac{x^2-3y^2}{\left(x^2+y^2\right)^3} + d_\Sigma\frac{x^2-3\left(y-a^2/2h_1\right)^2}{\left[x^2+\left(y-a^2/2h_1\right)^2\right]^3} + \right.$$

$$+ d_\Sigma\cdot\frac{x^2-3\left(y+a^2/2h_2\right)^2}{\left[x^2+\left(y+a^2/2h_2\right)^2\right]^3} + D_{11}\cdot\frac{x^2-3\left(y+a^2/2h_2\right)^2}{\left[x^2+\left(y+2h_2-a^2/2h_2\right)^2\right]^3} +$$

$$+ D'\cdot\frac{x^2-3(y+2h_2)^2}{\left[x^2+(y+2h_2)^2\right]^3} + D_{14}\cdot\frac{x^2-3\left(y+2h_2+a^2/2h_1\right)^2}{\left[x^2+\left(y+2h_2+a^2/2h_1\right)^2\right]^3} +$$

$$+ D_{21}\cdot\frac{x^2-3\left(y+2h_1+2h_2-a^2/2h_1\right)^2}{\left[x^2+\left(y+2h_1+2h_2-a^2/2h_1\right)^2\right]^3} + D_2\cdot\frac{x^2-3(y+2h_1+2h_2)^2}{\left[x^2+(y+2h_1+2h_2)^2\right]^3} +$$

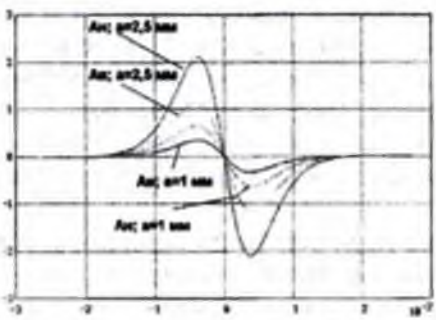
$$\left. + D_{24}\cdot\frac{x^2-3\left(y+2h_2+2h_1+a^2/2h_2\right)^2}{\left[x^2+\left(y+2h_2+2h_1+a^2/2h_2\right)^2\right]^3}\right\},$$

$$y = h_1 + \Delta.$$

где D_0, D_Σ, d_Σ, D_{11}, D , D_{14}, D_{21}, D_2, D_{24} - диполи многократно отраженные от границ раздела сред; x, y - координаты точки наблюдения, a - величина дефекта, h - глубина залегания дефекта.

Для нахождения максимума градиента, т.е. амплитуды сигнала, были найдены значения X, путем взятия второй производной от координат каждого члена суммы; вторая производная приравнена к нулю и найденные значения корней X1 и X2 подставлены в выражения для первой производной. Расчет производился на ЭВМ PC AT 486 DX по параметрам дефектов, приемлемым для практики магнитографической дефектоскопии, эти же параметры в дальнейшем использовались в экспериментальных исследованиях.

В результате расчетов были получены кривые для различных величин и глубин залегания дефектов для двух магнитных слоев, которые по форме идентичны сигналограммам, снимаемым с экрана магнитографического дефектоскопа при экспериментальных исследованиях с применением двухслойных магнитных лент (рис.2). На рис.2а для сравнения приведены расчетные сигналограммы от дефектов величиной а=1 мм и а= 2,5 мм при глубине залегания 15 мм.



а

б

в

Рис.2 Сигналограммы, подученные в результате расчета (а) и с экрана магнитографического дефектоскопа (б, в); Ан - для нижней ленты, Ав - для верхней ленты; б - сигналограмма с нижней ленты; в - сигналограмма с верхней ленты

Анализ расчетных амплитуд сигналов от параметров дефектов показал различие характеров закономерностей изменения амплитуд сигналов от параметров дефектов для двух магнитных слоев, что исключает простую обработку амплитуд сигналов, получаемых с нижней и верхней ленты для определения параметров дефектов. Полученные зависимости создают основу для теоретического обоснования необходимости разработки методики разделения зависимостей амплитуд сигналов от параметров дефектов для нижней и верхней лент.

В третьей главе рассмотрены результаты исследований зависимостей между полем дефекта, при записи его на двухслойную магнитную ленту, и параметрами дефектов с учетом формы дефекта, толщины неферромагнитного слоя двухслойной ленты, толщины и марки материала изделий при МГК.

В данной главе описываются образцы, приборы и методика экспериментальных исследований перечисленных зависимостей, а также математическая модель определения величины и глубины залегания дефектов.

Ответственным этапом при проведении экспериментальных исследований с применением двухслойных магнитных лент является выбор и обос-

нование толщины неферромагнитного слоя, что позволило дать рекомендации по изготовлению двухслойных магнитных лент для практики магнитографического контроля. Теоретически получена и обоснована эмпирическая зависимость между тангенциальными составляющими поля дефекта и параметрами дефекта для двух магнитных слоев, из которой следует, что при магнитографическом контроле изделий с дефектами различных параметров, толщина неферромагнитного слоя должна быть постоянной и оптимальной величиной для широкого диапазона контролируемых толщин изделий и параметров дефектов, а также условий контроля, выбор которой, как и режимов намагничивания осуществляется экспериментально. За критерий оптимальности толщины неферромагнитного слоя двухслойной магнитной ленты принимали выявляемость дефекта минимальной величины на максимальной глубине залегания по отношению к двум магнитным слоям, при этом принимали параметр разности амплитуд сигналов, считываемых с двух магнитных слоев.

Проведенные исследования позволили установить взаимосвязь между амплитудами сигналов, обусловленных дефектами различных параметров и величиной межслойного расстояния и показали, что разница в амплитудах сигналов зависит от толщины и свойств прокладки, толщины и магнитной проницаемости изделия, режимов намагничивания, параметров дефектов. В работе найдена и обоснована оптимальная толщина неферромагнитного слоя двухслойных магнитных лент, равная 0,5 мм, являющаяся приемлемой для выявления дефектов широкого диапазона параметров и толщин металла.

Результаты экспериментальных исследований зависимостей амплитуд сигналов, считанных с двухслойной магнитной ленты от параметров дефектов типа протяженных пор (рис.3) показали, что при одних и тех же значениях амплитуды сигнала (прямая В), считанных с нижней ленты от дефектов различных величин и глубин залегания, амплитуды сигналов, обусловленных соответствующими дефектами, считанные с верхней ленты (кривая Г) , имеют различные значения, причем из-за различной скорости изменения сигналов на обеих лентах, максимальная разница в амплитудах сигналов для дефектов малых величин (менее 10%) толщины металла достигается при глубине залегания дефектов менее половины толщины изделия, а для дефектов больших величин, максимальная разница в амплитудах сигналов может быть достигнута вблизи нижней границы изделия, что обуславливает различие закономерностей изменения амплитуд сигналов от параметров дефектов для двух магнитных слоев. В то же время, одинаковая разница в амплитудах сигналов может быть от различных по величине дефектов, при существенном отличии значений амплитуд сигналов, что позволяет осуществлять достоверное расчетное определение величины и глубины залегания дефектов.

Результаты исследований, проведенные на образцах с дефектами типа непровара показали, что основные закономерности амплитуд сигналов от параметров дефектов сохраняются независимо от формы дефекта, в связи с чем

двухслойная магнитная лента может быть применена для решения задач дефектометрии.

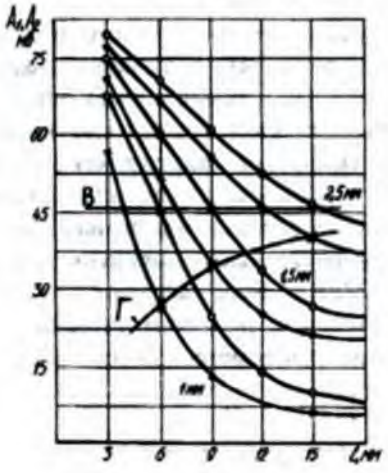


Рис. 3 Зависимости амплитуд сигналов, считанных с двухслойной ленты от глубины залегания дефектов разных величин. А1 - нижняя лента, А2 - верхняя лента

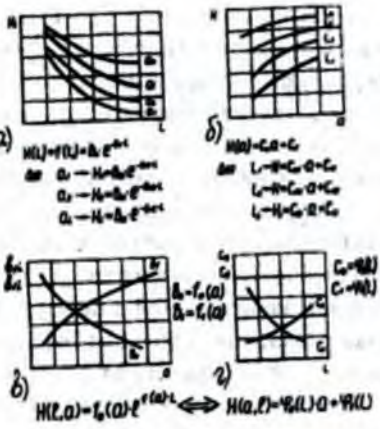


Рис. 4 Графики аппроксимирующих зависимостей: а) от глубины залегания дефектов, б) от величины дефектов, в) аппроксимирующих коэффициентов от величины дефектов г) аппроксимирующих коэффициентов от глубины залегания

В связи с изложенным, разработана математическая модель (рис.4) определения параметров дефектов методом последовательных приближений к данным экспериментальных исследований путем разработки вычислительных процедур, основанных на методе аналитической аппроксимации и, позволяющая получить аналитические выражения зависимостей амплитуд сигналов от параметров дефектов для каждого магнитного слоя.

Сущность математической модели заключается в следующем: если имеется несколько кривых зависимостей амплитуд сигналов, обусловленных дефектами различной величины a, где n - количество различных величин дефектов, от глубины залегания дефектов l для какой-либо одной магнитной ленты (рис.4а), либо зависимости амплитуд сигналов от величины дефектов для различных глубин залегания l (рис.4б), то каждую зависимость можно аппроксимировать непрерывной функцией от одного из параметров дефектов a_i или l_i. Так, для зависимостей амплитуд сигналов от глубины залегания дефектов разных величин (рис.4а) получены экспоненциальные выражения, которые отличаются в зависимости от размера дефекта a коэффициентами аппроксимирующей функции $в_{0i}$ и $в_{1i}$. Построив зависимости коэффициен-

тов a_{0i} и a_{1i} от величины дефекта a, аппроксимировав их элементарными функциями путем подстановки в исходное выражение (1) было получено аналитическое выражение, характеризующее в общем виде зависимости амплитуды сигнала от параметров дефектов для одной ленты.

Аналогичный результат можно получить, изменив порядок аппроксимации исходных данных A(a)→A(a,l). В результате получается тождественное выражение. Определить два неизвестных параметра, имея одно значение амплитуды сигнала, обусловленного дефектом, невозможно. Использовав зависимости амплитуд сигналов от параметров дефектов для верхнего магнитного слоя, были получены аналитические выражения для описания амплитуд сигналов от параметров дефектов для верхнего магнитного слоя.

Следует отметить, что подобных функциональных выражений амплитуд сигналов от параметров дефектов при МГК не было ранее получено даже для однослойного носителя. В результате были получены системы двух уравнений зависимостей амплитуд сигналов от параметров дефектов. Системы эквивалентны, а расчеты параметров дефектов по любой из двух систем должны давать одни и те же результаты.

Модель была исследована (рис.5) на образцах из стали Ст.3, толщиной

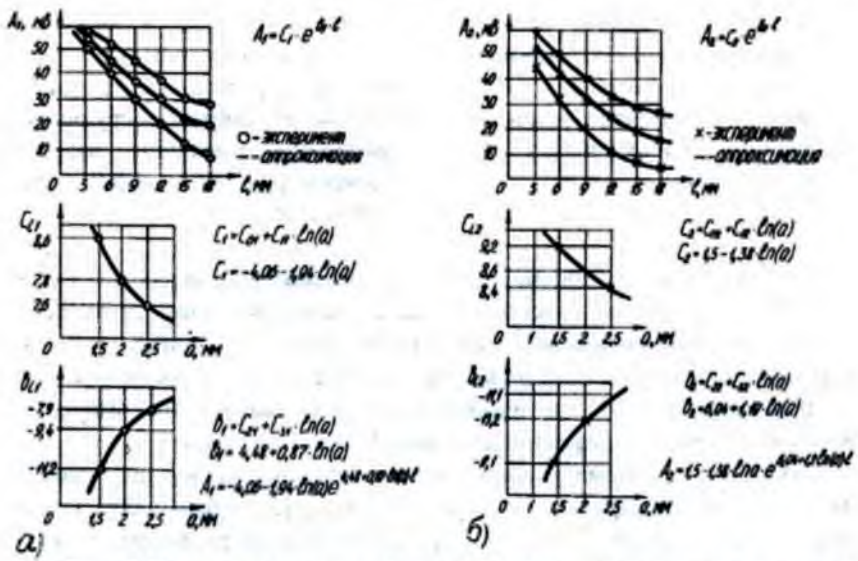


Рис. 5 К расчету выражений для двухслойной магнитной ленты: а - для нижнего магнитного слоя, б - для верхнего магнитного слоя

20 мм с дефектами типа протяженных пор величиной 5-15 % от толщины изделия, глубина залегания дефектов варьировалась от 3 до 18 мм с шагом 3 мм. Каждую из полученных экспериментальных зависимостей амплитуд сигналов, обусловленных дефектами разных величин, от глубины залегания

дефектов для двух магнитных слоев аппроксимировали непрерывной функцией A=f(l) методом наименьших квадратов, в результате чего были получены математические выражения для различных величин дефектов.

Анализ выражений показал, что амплитуда сигнала, обусловленного дефектом, от глубины залегания дефекта изменяется по экспоненциальному закону, как для нижней, так и для верхней лент, а коэффициенты аппроксимирующей функции зависят от величины дефекта. Аналитическая аппроксимация зависимостей ci1=f(a), ci2=f(a), bi1=f(a), bi2=f(a) и подстановка в исходное выражение A=f(l) вместо коэффициентов функций, позволила получить аналитические выражения для описания амплитуд сигналов от параметров дефектов для двух магнитных слоев (см. рис 5). Адекватность модели реальному процессу была подтверждена экспериментальным и расчетным путем.

В результате получена система двух нелинейных уравнений вида:

$$\begin{cases} A_1(l,a) = \left(c_{01} + c_{11}\cdot\ln(a)\cdot\exp\left(c_{21} + c_{31}\cdot\ln(a)\cdot l\right)\right) \\ A_2(l,a) = \left(c_{02} + c_{12}\cdot\ln(a)\cdot\exp\left(c_{22} + c_{32}\cdot\ln(a)\cdot l\right)\right) \end{cases}.$$

Систему решали численным методом (хорд); в результате было получено трансцендентное уравнение для расчета величины дефекта:

$$0 = A_2 - \left(c_{01} + c_{12}\cdot\ln(a)\right)\cdot\exp\left(c_{22} + c_{32}\cdot\ln(a)\right)\cdot\ln\left[\frac{A_1}{c_{01} + c_{11}\cdot\ln(a)}\right]\cdot\frac{1}{c_{21} + c_{31}\cdot\ln(a)}$$

и выражение для расчета глубины залегания дефекта:

$$l = \ln\left(\frac{A_1}{c_{01} + c_{11}\cdot\ln(a)}\right)\cdot\frac{1}{c_{21} + c_{31}\cdot\ln(a)}.$$

и найдены их численные решения, с учетом объекта контроля.

$$0 = A_2 - \left(1{,}52 - 1{,}38\cdot\ln(a)\cdot\exp\left(6{,}04 + 1{,}19\cdot\ln(a)\times\ln\left(\frac{A_1}{-4{,}94 - 1{,}94\cdot\ln(a)}\times\frac{1}{4{,}48 + 8{,}79\cdot\ln(a)}\right)\right)\right)$$

$$l = \ln\left(\frac{A_1}{-4{,}94 - 1{,}94\cdot\ln(a)}\cdot\frac{1}{4{,}48 + 8{,}79\cdot\ln(a)}\right)$$

Представленные выражения для определения величины дефекта и глубины его залегания универсальны, их численные решения зависят от магнитных характеристик и толщины объекта контроля

Четвертая глава посвящена разработке программного обеспечения и

технических средств для МГК с решением дефектометрических задач.

При этом основное внимание уделялось формированию критериев аппроксимации магнитного поля дефекта, а именно амплитуд сигналов, считываемых с двух магнитных слоев двухслойной ленты, с параметрами дефектов, адекватности аппроксимации и учета дефектов. Оптимизация перечисленных критериев приводит к решению обратной задачи магнитной дефектоскопии определению параметров дефектов и оценке точности такого определения.

Разработан алгоритм определения величины и глубины залегания дефектов при МГК с применением двухслойных магнитных лент, состоящий из алгоритма аппроксимирующей части и алгоритма определения параметров дефектов при контроле, а также программа реализации алгоритмов, все вычислительные процедуры выполнены на языке ПАСКАЛЬ.

На рис.6 представлена блок-схема алгоритма синтеза функций для расчета амплитуд сигналов на нижней и верхней лентах. В результате реализации данного алгоритма получают матрицу коэффициентов или двумерный массив (4x2) коэффициентов. Алгоритм используется для создания прикладных программ, с учетом специфики объектов контроля.

На рис.7 представлена блок-схема алгоритма обработки данных с двухслойной магнитной ленты, полученных при магнитографическом контроле изделий.

Методика определения параметров дефектов, алгоритмы и программа ориентированы на микропроцессорную реализацию, в связи с этим разработан дефектоскопический комплекс (рис.8) в состав которого входят:

стандартный магнитографический дефектоскоп МД-11Г с подсоединенной к нему микро-ЭВМ с разработанной платой сбора аналогового сигнала, представляющий собой быстродействующий АЦП, преобразующий сигналы с двух лент в цифровую информацию, усовершенствован блок считывания информации с двух лент за счет укомплектования его второй индукционной головкой с наличием блоков временной задержки сигнала, сравнивания и синхронизации.

Разработана технология МГК с применением двухслойных магнитных лент. Произведены испытания опытного образца магнитографического дефектоскопа, разработанного в Могилевском машиностроительном институте, технологии МГК с применением двухслойных магнитных лент, алгоритмов и программ на реальных изделиях в условиях производства (Акт испытаний приведен в приложении). Результаты контроля позволяют сделать вывод о возможности определения величины дефектов типа пор и непроваров с погрешностью не более 15% и глубины залегания дефектов с погрешностью не более 17%, что свидетельствует о высокой достоверности и точности определения параметров дефектов. Автоматизированная обработка результатов МГК позволяет получать информацию о параметрах дефектов в реальном масштабе времени и успешно реализовать двухслойную магнитную ленту

для целей дефектометрии в условиях производства, что способствует достижению уровня магнитографической дефектометрии и повышению эффективности МГК

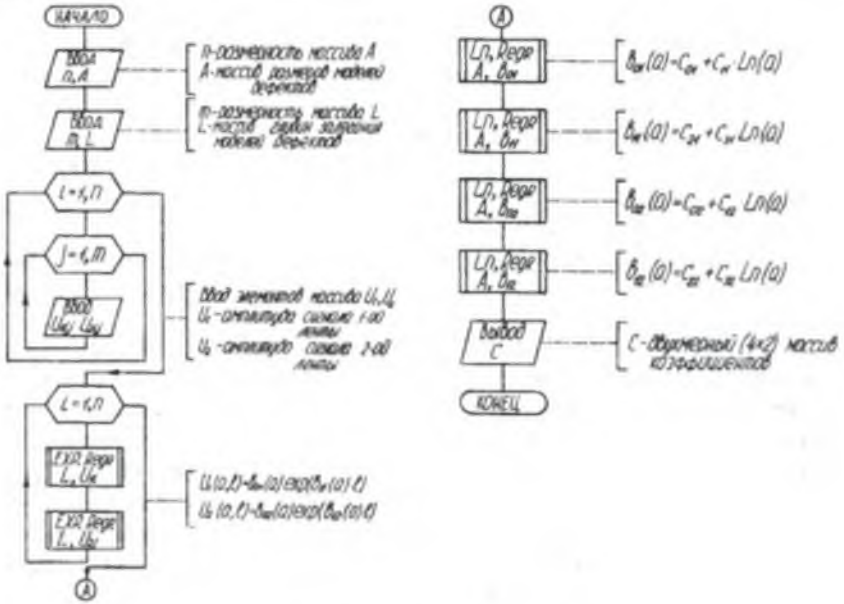


Рис. 6 Блок-схема алгоритма синтеза функций

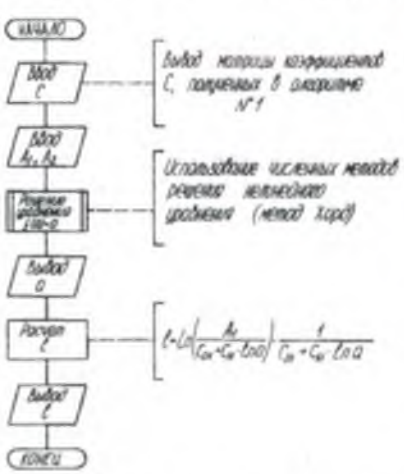


Рис. 7 Блок-схема алгоритма определения параметров дефектов при МГК

Рис 8. Дефектоскопический комплекс

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1.Решена одна из важных задач магнитографической дефектоскопии - определение величины и глубины залегания дефекта. В основу решения положено измерение градиентов тангенциальных составляющих напряженности поля дефекта в 2-х параллельных плоскостях с последующим решением системы уравнений, содержащей информацию об амплитудах сигналов, величине и глубине залегания дефекта /1,2,3, 15 /.

2. Установлены ранее неизвестные зависимости тангенциальных составляющих и амплитуд сигналов, обусловленных дефектами, для двухслойных магнитных лент и заключающиеся в следующем:

а) характер зависимостей амплитуд сигналов от параметров дефектов для двух магнитных слоев, разделенных неферромагнитным слоем, различный;

б) максимальная разница в амплитудах с двух лент зависит от величины дефекта и достигается на различных глубинах залегания, в то же время одинаковая разница в амплитудах может быть от различных по величине дефектов, при существенном отличии значений амплитуд, что позволяет осуществлять достоверное определение параметров дефектов /4,8,10/.

3. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили установить взаимосвязь между амплитудами сигналов и величиной межслойного расстояния и показать, что разница в амплитудах сигналов зависит от толщины неферромагнитного слоя, толщины и магнитной проницаемости изделия, режимов намагничивания, параметров дефектов, в связи с чем выбор оптимальной толщины неферромагнитного слоя производится экспериментально. В работе найдена и обоснована оптимальная толщина неферромагнитного слоя, равная 0,5 мм, приемлемая для широкого диапазона параметров дефектов и толщин материалов при МГК. Даны рекомендации по изготовлению двухслойных лент для практики контроля / 5,6, 18,19/.

4. Предложена математическая модель определения параметров дефектов, основанная на аппроксимации и методах последовательных приближений к данным экспериментальных исследований, позволяющая получить аналитические выражения зависимостей амплитуд сигналов от параметров дефектов для каждого магнитного слоя. Адекватность модели реальному процессу подтверждена экспериментом /1,2,3,10,13 /.

5. Разработана новая методика МГК с решением дефектометрических задач, позволяющая по двум амплитудам, измеренным при МГК, определять величину и глубину залегания дефектов. Получены универсальные выражения для определения величины дефекта и глубины его залегания /1,2,3,9/.

6. Разработано программное обеспечение и технические средства, позволяющие улучшить эксплуатационные характеристики магнитографических дефектоскопов за счет укомплектования их микро-ЭВМ, с разработанной платой сбора аналогового сигнала, представляющей собой быстродействующий АЦП, преобразующий сигналы с двух лент в цифровую информацию, модернизирован блок считывания за счет укомплектования его второй индукционной головкой /1, 2, 3, 7, 20 /.

Список опубликованных трудов по теме диссертации

1. Синица М.А. Реализация в магнитографии способа двухслойной магнитной ленты // Новые технологии и оборудование в промышленности: Сб. ст. молодых ученых.- Могилев: Изд. ММИ, 1997.-С.144-147.

2. Синица М.А., Куликов В.П., Скрябина Г.И. Алгоритм и программа расчета параметров дефектов при магнитографическом контроле // Создание ресурсосберегающих машин и технологий: Тез. докл. республ. науч. техн. конф. - Могилев, 1996.- С.75.

3. Синица М.А., Скрябина Г.И., Синица А.Н. Применение компьютерных методов обработки информации при магнитографическом контроле изделий из ферромагнитных материалов // Новые технологии в машиностроении и вычислительной технике: Сб. ст. - Брест: изд. Брестский политехнический институт,1998.- С.296-301.

4. Sharova A.M., Sinisa M.A. The development of a flaw measuring method and means in magnetografic testing // Computer methods and inverse problems in nondestructive testing and diagnostics: CM NDT-95 International Conference 21-24 november 1995.- Minsk, 1995.- p. 23-26.

5. Выявление трещин в сварных швах магнитографическим методом/ Шарова М.А., Стрельская М.А., Магилинский А.П. и др.// Техническая диагностика и неразрушающий контроль. - 1990.-№ 2. -С.64-68.

6. Шарова А.М., Синица М.А., Скрябина Г.И. Достоверность определения параметров дефектов при магнитографическом методе контроля // Современные методы и средства электромагнитного контроля и их применение в промышленности: Тез. докл.У1 межвузовской науч.- техн. конф стран СНГ, Могилев, 26-28 сент.1995г./ Акад. наук Респ. Беларусь. Мог. маш. ин-т, Моск. энергет. ин-т.-Могилев, 1995.- С.53.

7. Шарова А.М., Синица М.А., Куликов В.П. Исследование и разработка магнитографического дефектоскопа с дефектометрическими свойствами // Неразрушающий контроль в науке и индустрии: Тез. докл. науч. -техн. конф.- М., 1994.- С.52.

8. Синица М.А., Скрябина Г.И., Синица М.А. Основные подходы к решению дефектометрических задач в магнитной дефектоскопии // Современные направления развития производственных технологий и робототехника: Тез. докл. науч. -техн. конф.- Могилев 1999.- С.317.

9. Синица А.Н., Скрябина Г.И., Синица М.А. Способ визуализации пространственного распределения магнитного поля над намагниченным сварным соединением // Ресурсосберегающие технологии в сварочном производстве: Тез. докл. международн. науч.техн. конф .- Могилев, 1998.-С.65.

10.Универсальное намагничивающее устройство для магнитографического контроля протяженных сварных швов / А.М. Шарова, А.А. Давыдков, В.А. Романов, М.А. Синица // Методики и средства неразрушающего контроля: Тез. докл. семинара.- Куйбышев, 1990.- С.36-38.

11.Выявляемость трещин в сварных соединениях магнитографическим

методом / А.М. Шарова, А.А. Давыдков, М.А. Стрельская и др.// Автоматизация методов неразрушающего контроля качества сварных соединений: Тез. докл.науч. техн. конф.- Львов, 1988.С. 68-69.

12.А.с. 1599755 СССР, МКИ[4] G 01 N 27/85. Магнитографический способ контроля качества сварных швов / А.М. Шарова, А.А. Давыдков, О.П. Чурбанова, М.А. Стрельская (СССР).- №4445449/25-28; Заявлено 20.06.88; Опубл. 15.10.90, Бюл.№ 38 // Открытия. Изобретения.- 1990.-№ 38.- С. 47.

13.А.с.1760439 СССР, МКИ[4] G 01 N 27/82. Способ магнитографического контроля сварных соединений/ А.Н. Синица, А.А. Давыдков, А.М. Шарова, М.А. Стрельская (СССР). №4787393/28; Заявлено 04.11.89; Опубл. 07.09.92, Бюл.№ 33 // Открытия. Изобретения.- 1992.- №33.- С. 65.

14.Шарова А.М., Давыдков А.А., Стрельская М.А. Выявляемость различных дефектов сварных швов магнитографическим методом // Прогрессивные методы неразрушающего контроля полуфабрикатов, деталй и изделий как эффективный фактор повышения качества и надежности выпускаемой продукции: Тез. докл. науч. техн. конф.- Куйбышев, 1987.- С.38-41.

15.Синица А.Н., Казак В.А., Синица М.А. Расчет магнитного поля в крупногабаритной металлоконструкции при намагничивании ее коротким соленоидом // Современные направления развития производственных технологий и робототехника: Тез. докл. науч. -техн. конф.- Могилев 1999.- С.318

16. Шарова А.М., Выборненко С.И., Стрельская М.А. Магнитографический контроль сварных соединений труб со сложной геометрией поверхности // Неразрушающий контроль -88: Тез. докл. семинара , Рига, 11-12 мая 1988г. / Акад. Наук Латвийской ССР. - Рига, 1988.- С.45.

17.Давыдков А.А., Магилинский А.П., Стрельская М.А. Выявляемость дефектов типа трещин в сварных соединениях магнитографическим методом // Современные методы неразрушающего контроля и их мерологическое обеспечение: Тез. докл. науч.-техн. конф.- Свердловск, 1987. - С.70.

18. Выборненко С.И., Скрябина Г.И., Стрельская М.А. Намагничивающие устройства для магнитографического контроля сварных кольцевых соединений // Проблемы применения методов неразрушающего контроля: Тез. докл. науч.-техн. конф.- Свердловск, 1989. - С.75.

19.Синица А.Н., Скрябина Г.И., Синица М.А. Оптимизация выбора режимов намагничивания при магнитографическом контроле // Создание ресурсосберегающих машин и технологий: Тез. докл. реап. науч.-техн. конф. - Могилев, 1996.- С.128.

20. Способ визуализации полей дефектов. А.М. Шарова, А.Н. Синица, М.А. Синица / Положительное решение от 22.11.95 по заявке на выдачу патента на изобретение.- № 92007193/28; Заявл. 20.11.92.

РЭЗУМЕ

СІНІЦА МАРГАРЫТА АНАТОЛЬЕУНА

"Павышэнне эфектыунасці магнітаграфічнага кантролю за кошт рашэння дэфектамятрычных задач на падставе двухслаёвай магнітнай стужкі".

Ключавыя словы: магнітаграфічны кантроль,дэфектамятрыя, двухслаёвая магнітная стужка, велічыня дэфекта, глыбіня залягання, амплітуда сігналу, сігналаграма, алгарытм, мадэль.

Аб'ектам даследавання з'яуляецца магнітаграфічны метад кантролю. Прадмет даследавання - двухслаёвая магнітная стужка для рашэння дэфектамятрычных задач.

Мэта працы: павышэнне эфектыунасці магнітаграфічнага кантролю за кошт рашэння дэфектамятрычных задач на падставе двухслаёвай магнітнай стужкі.

У тэарэтычных даследаваннях выкарыстоуваліся дыпольная тэорыя і метад люстраных адвабражанняу і дыферэнцыяльных вылічэнняу. Пры правядзенні даследавання выкарыстоуваліся магнітныя стужкі В-3806 і І-4701, дэфэктаскопы МД-11Г, КМТД-11. Пры распрацоуцы методыкі вызначэння велічыні дэфекту і глыбіні яго залягання выкарыстоуваюся метад аналітычнай апраксімацыі і лічбавы метад (Хорд) вырашэння нелінейных урайненняу. Усі разлікі праводзіліся на РС АТ.

Вызначаны функцыянальныя залежнасці паміж амплітудамі сігналу, счытваемых з двухслаёвай магнітнай стужкі і параметрамі дэфектау. Аптымізавана таушчыня неферамагнітнага слоя двухслаёвых стужак. Вырашына сістэма нелінейных урауненняу, якая тмяшчае інфармацыю аб амплітудах сігналу, велічыні і глыбіні залягання дэфэктау, на падставе чаго распрацавана новая методыка вызначэння параметрау дэфектау, алгарытмы і праграмы складаных вылічэнняу, арыентаваныя на мікрапрацэсарную рэалізацыю. Распрацаваны тэхнічныя сродкі, якія дазваляюць палепшыць эксплуатацыйныя характарыстыкі дэфектаскопау за кошт укамплектавання іх мікра-ЭВМ з распрацаванай платай збору аналагавага сігналу, які прадстауляя сабой хуткадзейны АЦП, мадэрнізіраваны блок счытвання за кошт укамплектавання яго другой індукцыйнай галоукай. Сукупнасць прапанаваных распрацовак мае істотнае значэнне для павышэння эфектыунасці магнітнага кантролю і дасягнення узроуню магнітаграфічнай дэфэктамятрыі.

Вынікі працы могуць быць выкарыстаны службамі тэхнічнага кантролю на прадпрыемствах шматгаліновага машынабудавання, авіяцыйнай прамысловасці пры кантролю адказных дэталяу.

РЕЗЮМЕ

СИНИЦА МАРГАРИТА АНАТОЛЬЕВНА

"Повышение эффективности магнитографического контроля за счет решения дефектометрических задач на основе двухслойной магнитной ленты".

Ключевые слова: магнитографический контроль, дефектометрия, двухслойная магнитная лента, величина дефекта, глубина залегания, амплитуда сигнала, сигналограмма, алгоритм, модель.

Объектом исследований в диссертации является магнитографический метод контроля. Предмет исследований - двухслойная магнитная лента для решения дефектометрических задач.

Цель работы: повышение эффективности магнитографического контроля за счет решения дефектометрических задач на основе двухслойной магнитной ленты.

В теоретических исследованиях использовались дипольная теория, метод зеркальных отображений, дифференциальных исчислений. При проведении исследований использовались магнитные ленты В-3806 и И-4701, дефектоскопы МД-11Г, ЦМТД-11. При разработке методики определения величины дефекта и глубины его залегания использовался метод аналитической аппроксимации и численный метод (хорд) решения нелинейных уравнений. Все расчеты проводились на IBM PC AT.

Установлены функциональные зависимости между амплитудами сигналов, считываемых с двухслойной магнитной ленты и параметрами дефектов. Оптимизирована толщина неферромагнитного слоя двухслойных лент. Решена система нелинейных уравнений, содержащая информацию об амплитудах сигналов, величине и глубине залегания дефектов, на основе чего разработана новая методика определения параметров дефектов, алгоритмы и программы сложных вычислений, ориентированные на микропроцессорную реализацию. Разработаны технические средства, позволяющие улучшить эксплуатационные характеристики дефектоскопов за счет укомплектования их микро-ЭВМ с разработанной платой сбора аналогового сигнала, представляющей собой быстродействующий АЦП, модернизирован блок считывания за счет укомплектования его второй индукционной головкой. Совокупность предложенных разработок имеют существенное значение для повышения эффективности магнитографического контроля и достижения уровня магнитографической дефектометрии.

Результаты работы могут быть использованы службами технического контроля на предприятиях многоотраслевого машиностроения, авиационной промышленности при контроле ответственных изделий.

SUMMARY

SINITSZA MARGARET ANATOLIEVNA

"Increase of efficiency magnetographic of the control at the expense of the decision of tasks on the basis of a two-layer magnetic tape".

Key words: magnetogrphic of the control, two-layer magnetic tape, size of defect, amplitude of a signal, signalogram, algorithm, model.

Object of researches in the dissertation is magnetographic a method of the control. A subject of researches - two-layer magnetic tape for the expense of the decision of tasks.

The purpose of work: increase of efficiency magnetographic of the control at the expense of the decision of tasks on the basis of a two-layer magnetic tape.

In theoretical researches were used the theory, method of mirror displays, differential calculations. At realization of researches the magnetic tapes In - 3806 and I- 4701, flaw detectors МД-11Г, ЦМТД-11 were used. By development of a technique of definition of size of defect and depth it(him) the method of analytical approximation and numerical method of the decision of the nonlinear equations was used. All accounts were carried out(spent) on the PC AT.

The functional dependences between amplitudes of signals which were read - out from a two-layer magnetic tape and parameters of defects are established. The thickness of a layer of two-layer tapes is optimized. The system of the nonlinear equations containing the information on amplitudes of signals, size and depth залегания of defects is decided(solved), on the basis of that the new technique of definition of parameters of defects, algorithms and programs of complex(difficult) calculations focused on microprocessor realization is developed. The means allowing to improve of the operational characteristic дефектоскопов at the expense of completion their micro-computer with a developed payment of the tax of an analog signal, representing high-speed АЦП are developed, the block of reading is modernized at the expense of completion by his(its) second induction head. Set of the offered development have essential meaning(importance) for increase of efficiency magnetographic of the control and achievement of a level in magnetographic testing..

The results of work can be used by services of the technical control at the enterprises of diversified mechanical engineering, aircraft industry at the control of responsible(crucial) products.

СИНИЦА Маргарита Анатольевна

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ЗА СЧЕТ РЕШЕНИЯ ДЕФЕКТОМЕТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ОСНОВЕ ДВУХСЛОЙНОЙ МАГНИТНОЙ ЛЕНТЫ

Специальность 05.02.11
"Методы контроля и диагностика в машиностроении"

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано к печати 27.05.1999г. Заказ 178
Формат 60x841/16 Тираж 100 экз.
Объем усл.печ.л.-1,5 Уч.-изд.-1,6.
Отпечатано в ММИ
г.Могилев, ул. Ленинская, 70
Лицензия ЛП 165 от 08.01.1998г.