**ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу Маликова Владимира Николаевича «Контроль неоднородностей, примесей и дефектов проводящих сплавов и композиционных материалов с помощью сверхминиатюрных вихретоковых преобразователей», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 - «Приборы и методы контроля природной среды, веществ материалов и изделий»

**Актуальность темы**

Вихретоковый метод контроля является относительно простым и достаточно распространенным инструментом, широко используемым в промышленности при определении различных параметров проводящих объектов. Наиболее востребованной является вихретоковая дефектоскопия, позволяющая выявлять наличие дефектов и их распределение по поверхности и/или на определенной глубине. Естественным ограничением вихретоковой дефектоскопии является глубина проникновения электромагнитного поля в объект контроля, а также чувствительность вихретокового преобразователя при определении малых и глубоко залегающих дефектов.

В диссертационной работе В.Н. Маликова представлены результаты разработки и исследования оригинальных вихретоковых преобразователей специальной конфигурации, способных определять сравнительно малые дефекты и на достаточно большой глубине. Таким образом, тематика работы является актуальной и имеет большое практическое значение.

**Содержание работы**

Диссертационная работа В.Н. Маликова состоит из 4 глав, введения, заключения и двух приложений. Объем работы составляет 157 страницы, включая 76 рисунков и 5 таблиц, а также 130 использованных источников.

**Во введении** представлено обоснование актуальности работы, сформулированы цели и задачи. Описаны научные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая ценность исследования.

**В первой главе** рассмотрено современное состояние и практическое значение методов и средств дефектоскопии электропроводящих материалов, сплавов и покрытий, приведено описание основных проблем вихретоковой дефектоскопии, на решение которых направлена рассматриваемая работа.

**Вторая глава** посвящена разработке и оптимизации миниатюрного вихретокового преобразователя, приведены расчеты напряжения возбуждающей и измерительной обмоток для миниатюрного и сверхминиатюрного преобразователей, обоснован выбор материалов и формы сердечника для увеличения локализации магнитного поля, приведена принципиальная схема сверхминиатюрного преобразователей преобразователя и описаны особенности его включения в дифференциальном

режиме , представлена концепция виртуализированных измерительных приборов и разработанные на ее основе системы генерации и обработки сигналов.

**Третья глава** содержит результаты экспериментальных исследований, разработанных сверхминиатюрных вихретоковых преобразователей при исследовании различных модельных дефектов, в том числе сварных швов в изделиях из алюминиевых, алюминий-магниевых и титановых сплавов. Приведены данные по влиянию материала и формы сердечника на сигнал вихретокового преобразователя. Показано, что эффективность пермаллоевых преобразователей, значительно выше, чем преобразователей, изготовленных из ферритов.

**В четвертой главе** представлены результаты исследования дефектов в металлополимерных слоистых композитных материалов, структуре металл-диэлектрик-металл, а также проведена оценка способности преобразователя измерять толщины проводящего и непроводящего слоя. Показано, что разработанные ВТП успешно определяют такие параметры как количество и толщина слоев, нарушение сплошности металлического и(или) полимерного слоев, проводящие и непроводящие перемычки между слоями, деформация поверхности металлического слоя, изменение состояния границы раздела между металлическими и полимерными слоями.

**В заключении** приводятся основные результаты экспериментальных исследований, отражающие достижение поставленных в работе целей.

**В приложении** представлены справка о внедрении результатов диссертационной работы, подтверждающая практическую значимость выполненных исследований, и копии двух патентов, свидетельствующих об оригинальности технических решений, предложенных в работе.

**Новизна исследований и основных результатов работы**

Научная новизна исследования заключается в следующих результатах:

Установлено значительное влияние материала и формы сердечника на эффективность проводимой вихретоковой дефектоскопии. Получена графическая зависимость между величиной магнитной проницаемости и локальностью магнитного поля, генерируемого ВТП.

Найден оптимальный режим отжига и охлаждения сплава 81НМА для получения максимальной магнитной проницаемости, необходимой для построения эффективных вихретоковых преобразователей.

Разработан оригинальный сверхминиатюрный ВТП с сердечником пирамидальной формы из отожжённого таким образом сплава 81НМА с диаметром измерительной катушки 0,1 мм, способный локализовать магнитное поле на участке до 50х50 мкм и возможностью регистрации неоднородностей вещества, находящихся на глубине до 5 мм. Показана эффективность дифференциальной схемы включения преобразователей при поиске дефектов глубокого залегания.

Установлены зависимости между выходным сигналом сверхминиатюрных вихретоковых преобразователей и такими параметрами дефектов как их

геометрические размеры, глубина залегания, форма и тип дефектов в различных металлах, сплавах, слоистых композитах в области малого обобщенного параметра. Показано, что при условии достаточной локализации магнитного поля и эффективной обработке получаемого сигнала с использованием соответствующих селективного усиления, и фильтрации, возможно фиксировать очень слабые изменения электромагнитного поля порядка 0.2 % при максимальной напряженности поля до 2500 А\м. Получены зависимости напряженности поля от глубины проникновения в проводящие вещества с различной электрической проводимостью.

**Практическая ценность результатов работы**

Практическая ценность работы заключается в создании комплексной системы вихретоковой дефектоскопии, разработанной на основе миниатюрных и сверхминатюрных вихретоковых преобразователей, позволяющих определять концентрацию и размеры дефектов, залегающих на поверхности и в глубине объектов контроля, недоступные для измерения традиционными преобразователями. С помощью разработанной измерительной системы можно производить анализ качества сварных швов в различных проводящих материалах. Измерительную систему можно использовать для сканирования структур типа металл-диэлектрик-металл и анализа толщин различных покрытий. Практическая ценность работы доказывается внедрением разработанной измерительной системы в институте физики прочности и материаловедения Сибирского Отделения Российской Академии Наук и на Бийском котельном заводе.

**Достоверность полученных результатов и выводов**

Изложенные в диссертации научные положения, выводы и рекомендации аргументированы и обоснованы, соответствуют общефизическим принципам и не противоречат ранее опубликованным результатам. Достоверность представленных подходов подтверждается согласованием теоретических и экспериментальных результатов, использованием модельных объектов с заданным распределением дефектов, применением математических способов обработки экспериментальных данных и определения погрешностей измерений.

**Замечания по диссертационной работе**

По работе имеются следующие замечания:

1. С целью систематизации обзорных или полученных экспериментальных результатов, всегда полезно делать выводы в конце соответствующих глав. Однако автор по какой-то причине решил их не делать, чем осложнил чтение работы.

2. На экспериментальных зависимостях, представленных на рисунках 3.3 и 3.4, отсутствуют экспериментальные точки.

3. В разделе 3.2 приведены конструкции ферритовых и пермаллоевых сверхминиатюрных преобразователей. Известно, что феррит представляет из себя

хрупкую керамику, интересно, каким образом автору удалось изготовить из нее конусные и трапециевидные сердечники с концевым диаметром 0.1мм ?

4. Магнитная проницаемость ферритовых и пермаллоевых сердечников отличается почти на порядок, однако мы не нашли в работе ни марку используемого для этой цели феррита, ни сравнительные характеристики сверхминиатюрных преобразователей, изготовленных из этих материалов.

5. Приводятся эксперименты со сварными швами для двух типов титановых сплавов ВТ1-0 и ВТ1-1, но при этом не указан состав этих сплавов, и неясно связано ли различие результатов с материалом пластин или технологией сварки.

6. В главе 4 нет детальных пояснений относительно способа визуализации дефектов в композитных материалах (рис 4.2-4.4), который существенно отличается от способа визуализации остальных модельных дефектов. Так на рис 4.2 указано, что по оси ординат откладывается частота, но не поясняется как этот параметр связан с эффективностью преобразователя и какие при этом использованы преобразователи ВТП1 или ВТП2 , на основе феррита или пермаллоя.

7. В модельном объекте Al+бумага, при объяснении разницы результатов на частотах 1, 6 и 7 кгц за счет поверхностных микротрещин, стоило бы сравнить глубину проникновения электромагнитного поля в алюминиевую фольгу на этих частотах.

Высказанные замечания принципиально не влияют на общую положительную характеристику работы. В целом, работа выполнена на хорошем научном и профессиональном уровне.

Результаты диссертационной работы опубликованы в 26 работах, из которых 17 в журналах , реферируемых международными базами Scopus и/или Web of Science, 9 статей опубликованы в журналах из списка ВАК.

Основные результаты были представлены на 14 Всероссийских и Международных конференциях, защищены двумя патентами. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

**Заключение**

Диссертационная работа Маликова В.Н. выполнена по актуальной и востребованной теме, имеет высокую степень готовности и внедрения. Результаты диссертации опубликованы в индексируемых российских и международных журналах, представлены на всероссийских и международных конференциях, а также защищены патентами. Таким образом, можно утверждать, что диссертация «Контроль неоднородностей, примесей и дефектов проводящих сплавов и композиционных материалов с помощью сверхминиатюрных вихретоковых преобразователей» по совокупности проведённых исследований, достоверности, научной и практической значимости, количеству публикаций, соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, и требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом

университете, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук (dis.tpu.ru), а ее автор Маликов Владимир Николаевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 - Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий кафедрой экспериментальной физики
Физико-технического института (структурное подразделение)
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Крымский федеральный университет
имени В.И.Вернадского» В. Н. Бержанский

Почтовый адрес: Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского, Физико-технический институт (структурное подразделение), кафедра экспериментальной физики,
295007, г. Симферополь, проспект Академика Вернадского, 4.
Телефон: +7 (3652) 51-70-95, e-mail: v.n.berzhansky@cfuv.ru

Владимир Наумович Бержанский