

ОТЗЫВ

официального оппонента Клименова Василия Александровича на диссертационную работу Суторихина Владимира Анатольевича «Индикация дефектов металлических объектов СВЧ колебаниями при воздействии ультразвука», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.03 Радиофизика и 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

Актуальность темы диссертационного исследования

Проблема диагностики и контроля технического состояния наиболее ответственных конструкций и деталей машин всегда занимала центральное место в вопросах предсказания и прогнозирования их работоспособности и надёжности. Вопросы своевременного обнаружения дефектов и создание для этого методов и устройств, направленных на предотвращение крупных аварий и техногенных катастроф соответствуют приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации определённых Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, принятой Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642. Хотя на сегодняшний день существует большое количество методов и средств неразрушающего контроля и диагностики, которые широко используются в самых различных областях науки и техники, вопросы обнаружения дефектов на ранней стадии зарождения и роста требуют своего развития.

Актуальность диссертации Суторихина В.А. заключается в том, что в ней поставлены и решены задачи выявления дефектов с помощью использования комплексного метода, сочетающего применение СВЧ зондирования с методами активного ультразвукового зондирования и пассивного метода, основанного на контроле акустической эмиссии.

Научная новизна

В представленной диссертационной работе впервые предложено использование СВЧ зондирования поверхности контролируемого объекта для обнаружения электрических полей, возникающих при взаимодействии маломощного ультразвука с механическими напряжениями в зоне активного дефекта. В ходе выполнения работы получены научные результаты, обладающие новизной такие как:

- подтверждена возможность появления заряженных областей металла при воздействии механических ультразвуковых колебаний зону напряженного состояния в зоне дефекта;

- впервые предложен механизм преобразования энергии ультразвуковой волны в волну поверхностной проводимости, несущую информацию о дефекте;

- разработана новая экспериментальная методика дистанционного контроля дефектов металла, позволившая выявить качественно новые особенности процесса разрушения на начальной стадии и восстановления активности динамических дефектов тепловым воздействием;

- теоретически и экспериментально доказано, что при взаимодействии динамического дефекта с ультразвуком мощностью 10-20 Вт/см² с частотами 44-150 кГц увеличивается коэффициент фазовой модуляции до 45 дБ отражённого СВЧ колебания частотой 10-40 ГГц.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов

Достоверность полученных результатов и обоснованность выводов обеспечиваются корректностью постановки задач исследования, сочетанием теоретических и экспериментальных подходов для изучения исследуемых в работе эффектов. Теоретические и экспериментальные результаты, полученные в работе, не противоречат известным теоретическим работам. Достоверность теоретических положений диссертации подтверждается расчетами, моделированием и результатами экспериментов. При проведении экспериментальных исследований использовалось аттестованная измерительная аппаратура и устройства.

Научная и практическая значимость работы

Научная значимость работы заключается в том, что на основе научных результатов, полученных на основе теоретического и экспериментального описания взаимодействия ультразвуковых и СВЧ полей с металлами, содержащими дефекты, получены представления о формировании электрических полей и возможности их регистрации с последующей оценкой роли дефектов в их формировании. Практическая значимость работы заключается в том, что разработан высокочувствительный бесконтактный способ обнаружения с помощью СВЧ сенсора динамических неоднородностей в металлах при зондировании ультразвуком. Разработанный способ реализован на практике в виде дефектоскопа ДИАД-дистанционный индикатор динамических дефектов. С помощью дефектоскопа продемонстрирована возможность обнаружения различных дефектов в различных сталях и непосредственно в производственных

условиях. Практическое применение разработанных методов и устройств подтверждено соответствующими документами.

Научные результаты диссертационной работы могут быть использованы для научных исследований, проводимых в научных учреждениях и образовательных организациях таких, как Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, в области материаловедения и развития новых методов неразрушающего контроля. Результаты работы можно рекомендовать для использования в качестве учебного материала в курсах лекций и при написании курсовых работ по дисциплинам «Физическое материаловедение» и «Физические основы методов неразрушающего контроля».

Анализ содержания диссертации

Диссертация включает в себя следующие разделы: общая характеристика работы, четыре главы и основные результаты работы, а также два приложения с патентами и документами, подтверждающими использование результатов работы на практике и содержащими результаты испытаний. Она изложена на 112 страницах машинописного текста и содержит 33 рисунка и 4 таблицы, список литературы состоит из 97 наименований, включая 22 зарубежных источника.

В разделе **общая характеристика работы** изложены актуальность работы и степень разработанности темы, сформулированы цель и задачи исследований, приведены научная новизна, практическая значимость работы и основные положения, выносимые на защиту., степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе диссертации соискатель подробно описывает известные варианты применения контактных и попытки использования бесконтактных сенсоров для контроля сигналов акустической эмиссии. В списке литературы приводятся те и другие варианты. Часть авторов пытаются индцировать упругие колебания металлической поверхности используют в качестве имитатора металлизированный диффузор динамического громкоговорителя. Этот вариант имитатора позволяет обнаруживать перемещения диффузора на уровне нескольких десятков нанометра. Но практическое использование таких СВЧ и лазерных сенсоров не в состоянии определить амплитуду искомым упругих колебаний металла величиной несколько нанометров. В тысячи раз меньше необходимой.

Во **второй главе** диссертации автор проводит математическое исследование причин возникшего противоречия теории и практики. Вариант исследования с помощью цилиндрических функций Бесселя показывает, что СВЧ сенсор может индицировать упругие колебания металлической поверхности на частотах от 10 до 100 ГГц. Величина минимально возможных (предполагаемых) колебаний составляет несколько нанометров. Но, как описано во множестве приведенных работ других исследователей на практике им не удавалось реализовать чувствительность, амплитуду колебаний выше 1-2 микрон.

Автор продолжил исследование с использованием функции импеданса. Производной от неё функции комплексного коэффициента отражения. Он показал, что для малых амплитуд колебаний металлической образующей поверхности (несколько десятков нанометра) возникает две составляющие фазы отраженного сигнала. Одна из них связана с амплитудой образующей поверхности. Другая с изменением проводимости этой образующей. Они практически равны друг другу, но противоположны по знаку. Как показал автор, этот эффект связан с линейным законом Гука до величины амплитуды колебаний несколько десятков нанометров. По мнению автора, эта причина не позволяет индицировать малые колебания упругой поверхности металла прямым использованием радара Доплера.

Далее автор применяет недавно обнаруженное явление описанное гипотезой московских ученых Васильева Бориса Васильевича и Любошица В.Л. Она описывает вариант использования эффекта генерирования избыточны электрического заряда при воздействии механического давления на некую область электронного газа, составляющую часть обычных металлов. Новое явление позволяет использовать радар Доплера совместно с ультразвуком небольшой мощности.

В третьей главе диссертации автор приводит описание необходимых составляющих СВЧ сенсора, генератора бигармонического ультразвукового сигнала, имитатора дефектов на основе переменного фазового ферритового отражателя. Перечисленные приборы в заключительной стадии стали примером практического использования в комплекте Дистанционного Индикатора Активных Дефектов. Этот комплект был в последствии использован для проведения экспериментальных исследований различных металлов.

В четвертой главе автор рассматривает экспериментальные результаты для нескольких вариантов исследуемых металлических объектов, при различных методах механического нагружения: растяжение на разрывной машине и нагружение циклическим изгибом с заходом в область пластической деформации. Выявленная в результате исследований высокая чувствительность СВЧ сенсора позволила автору впервые применить индицирование дефектов металла без использования механического нагружения. По своим возможностям этот вариант индицирования дефектов

(без указания местоположения) с успехом может заменить известные ультразвуковые и даже акустоэмиссионные методы.

Дополнительным исследованием автора диссертации является практическая проверка термического восстановления степени активности дефектов. Два варианта этих исследований для алюминия и стали приведены в качестве примера. При этих исследованиях демонстрируются необычное затухание активности с последующим восстановлением. Приведено краткое объяснение этого явления.

Замечания по работе

В качестве замечаний по содержанию работы можно указать следующее:

1. Актуальность работы обосновывается с ссылками на некоторые государственные программы отраслевой направленности, хотя проблема своевременного обнаружения дефектов и создание для этого методов и устройств, направленных на предотвращение крупных аварий и техногенных катастроф вполне соответствуют приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации определённых Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, принятой Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642.
2. В разделе работы, посвящённом анализу теоретических подходов в решении поставленных задач, автору следовало бы полнее привести работы других авторов, а не опираться на свои работы.
3. Делая вывод о невозможности объединения активного и пассивного методов с применением ультразвука, автор указывает на тот факт, что именно присущие этим методам преимущества не позволяли рассматривать их объединение, при этом ссылок на соответствующие источники нет (стр.27).
4. В материалах диссертации нет указаний об измерении размеров обнаруженных дефектов, сравнении их с размерами, обнаруженными методом ультразвуковой диагностики
5. В разделе работы, посвящённом механическим испытаниям образцов с дефектами, следовало бы более подробно остановиться на характеристиках исследуемых образцов и режимах нагружения при растяжении на разрыв или надо было сделать ссылку на соответствующие ГОСТы.
6. В работе имеются недостатки, связанные с оформлением работы, так на некоторых приводимых в работе формулах не приводятся номера (например стр.33-36, стр. 39), на некоторых графических рисунках трудно определить, название осей координат (например рис.4.15), в списке литературы, патенты

автора напечатаны заглавными буквами, по тексту встречаются незначительные грамматические ошибки и пропущенные слова, которые затрудняют понимание (например на стр.36 «мощность несущей»).

Несмотря на высказанные замечания, отметим, что научные положения, рекомендации и выводы, сформулированные по результатам исследования, имеют научную и практическую значимость. Текст диссертации имеет логичную структуру, написан грамотным научным языком.

Основное содержание диссертационной работы отражено в 31-й статье, в том числе в 2-х журналах из перечня ВАК, в 2-х статьях в журналах, входящих в базы цитирования W&S и Scopus, имеются 3 патента на способ регистрации сигнала и устройства для обнаружения дефектов и прецизионного позиционирования, результаты работы докладывались на Российских и международных конференциях. Автореферат и опубликованные работы полно и точно отражают содержание диссертации.

Заключение

Диссертация В.А. Сутарихина является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи выявления дефектов с помощью использования комплексного метода, сочетающего применение СВЧ зондирования с методами активного ультразвукового зондирования и пассивного метода, основанного на контроле акустической эмиссии, имеющей значение для развития неразрушающих методов диагностики и контроля дефектов в промышленных объектах и на транспорте и изложены новые научно обоснованные технические, технологические и методические решения и разработки, внедрение которых повысит безопасность на промышленных объектах и на транспорте. Автореферат и основные публикации полностью отражают содержание диссертации. Диссертационная работа по своим целям, задачам, содержанию, методам исследования, научной новизне и практической значимости соответствует п. 1. «Разработка физических основ генерации, усиления и преобразования колебаний и волн различной природы (электромагнитных, акустических, плазменных, механических), а также автоволн в неравновесных химических и биологических системах. Поиски путей создания высокоэффективных источников когерентного излучения миллиметрового, субмиллиметрового и оптического диапазонов, техническое освоение новых диапазонов частот и мощностей паспорта специальности 01.04.03 Радиофизика, п.1 «Научное обоснование новых и усовершенствование существующих методов аналитического и неразрушающего контроля природной среды, веществ,

материалов и изделий» и п.3 «Разработка, внедрение и испытания приборов, средств и систем контроля природной среды, веществ, материалов и изделий, имеющих лучшие характеристики по сравнению с прототипами» паспорта специальностей 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий и п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Автор диссертации Сутарихин Владимир Анатольевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.03 Радиофизика и 05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды.

На обработку персональных данных согласен.

Официальный оппонент

Доктор технических наук, профессор

Клименов
Василий Александрович

Клименов Василий Александрович,
ученая степень: доктор технических наук,
шифр научной специальности 01.04.07 –
Физика конденсированного состояния
ученое звание: профессор по специальности,
должность: руководитель отделения
материаловедения инженерной школы новых
производственных технологий федерального
государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный
исследовательский Томский политехнический
университет»,
адрес: 634050, Томская обл., г. Томск, просп. Ленина, д. 30
Телефон: 8(3822) 701777
E-mail: klimenov@tpu.ru

Подпись В.А. Клименова заверяю,

Ученый секретарь Ученого совета ТПУ



О.А. Ананьева

Дата подписания отзыва 10.10.2020 г.