

Уральское отделение Российской академии наук
Секция “Неразрушающие физические методы контроля”
Научного совета РАН по физике конденсированных сред
Институт физики металлов УрО РАН

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

XXV Уральской конференции

“Физические методы неразрушающего контроля”

16-18 мая

г. Екатеринбург 2011 г.

Физические методы неразрушающего контроля

Тезисы докладов XXV Уральской конференции

г. Екатеринбург, 2011

Председатель Оргкомитета конференции:

Щербинин В.Е., член-корр. РАН, ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург

Зам. председателя:

Сморodinский Я.Г., д.т.н., ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург

Ученый секретарь:

Костин В.Н., д.т.н., ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург

Оргкомитет:

Бархатов В.А., к.т.н., ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург

Горкунов Э.С., член-корр. РАН, ИМАШ УрО РАН, г. Екатеринбург

Гуревич С.Ю., д.т.н., ЮУрГУ, г. Челябинск

Ильясов Р.С., д.т.н., ФТИ УрО РАН, г. Ижевск

Кортов В.С., д.т.н., УрФУ, г. Екатеринбург

Мигун Н.П., д.т.н., ИПФ НАН Беларуси, г. Минск

Мироненко В.И., к.т.н., ген. директор НПО “Интротест”, г. Екатеринбург

Миховски М., д.т.н., Институт механики БАН, г. София, Болгария

Муравская Н.П., к.т.н., ВНИИОФИ, г. Москва

Муравьев В.В., ИжГУ, г. Ижевск

Ничипурук А.П., к.ф.-м.н., ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург

Новиков В.Ф., д.ф.-м.н., Тюменский нефтегазовый университет, г. Тюмень

Перевалов С.П., к.т.н., ОАО “Инженерный центр энергетики Урала”, г. Екатеринбург

Ревина Н.А., к.т.н., ООО “Уральский центр аттестации”, г. Екатеринбург

Ринкевич А.Б., д.ф.-м.н., ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург

Сташков А.Н., к.т.н., ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург

Место проведения конференции:

г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18, ИФМ УрО РАН

СЕРТИФИКАЦИЯ ПЕРСОНАЛА ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ В ИЖЕВСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

В.В. Муравьев

В 2008 г. в Ижевском государственном техническом университете организован Уполномоченный орган и экзаменационный центр по сертификации персонала в области неразрушающего контроля технических объектов железнодорожного транспорта в соответствии с «Правилами сертификации персонала по неразрушающему контролю технических объектов железнодорожного транспорта». Это пятый Уполномоченный орган в России, работающий по правилам ПР 32.113. Центр прошел аккредитацию Ростехрегулирования и головной организации ОАО РЖД «НК-центр» в ноябре 2008 г. (РССП рег.№РОСС RU.0001.03Н300 О-23; ССПНК ЖТ.УО №005) и расширение области аккредитации в ноябре 2010 г.

Область сертификации - акустический (ультразвуковой), акустико-эмиссионный, магнитный и вихретоковый виды (методы) контроля в секторах железнодорожного транспорта и машиностроения и металлопроизводства. Среди объектов железнодорожного транспорта – вагоны, локомотивы, металлические сварные мосты, рельсы и стрелочные переводы в эксплуатации и при изготовлении.

Центр оснащен необходимыми экзаменационными образцами с естественными и искусственными моделями дефектов и необходимым количеством дефектоскопов для проведения практических экзаменов. Экзаменационный центр располагается в шести помещениях общей площадью 130 кв.м. В Центре работают по 3 специалиста 3-го уровня по каждому виду контроля и специалисты 2-го уровня по соответствующим видам и объектам контроля.

Большинство специалистов, прибывающих на сертификацию, работают на предприятиях вагонного хозяйства. Это второй центр в России, занимающийся аттестацией специалистов по акустико-эмиссионному контролю литых деталей в вагонном хозяйстве, поэтому наибольший объем сертификаций приходится на этот метод.

Работа спланирована так, что по каждому виду контроля проводится от двух до четырех сертификаций в год. Перед экзаменами проводятся консультации в объеме 40 часов, затем три экзамена – теоретический, специальный и практический. После теоретического и специального экзаменов комиссия проводит собеседование индивидуально с каждым претендентом.

К 2011 г. прошли сертификацию специалисты вагонных ремонтных депо и заводов по заявленным видам контроля в количестве более 400 человек с Горьковской, Московской, Северной, Октябрьской, Северо-Кавказской, Южно-Уральской, Юго-Восточной, Приволжской ДРВ, а также предприятий производящих новые изделия для ЖД транспорта и ремонтных предприятий Брянска, Владикавказа, Выксы, Ижевска, Камбарки, Перми и др. Из них на первый уровень сертифицировались 57 человек, на второй – 345. По акустическому контролю сертификацию прошли – 87 человек; акустико-эмиссионному – 167 человека; магнитному – 92 человека, по вихретоковому - 62.

Адрес Уполномоченного органа: 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7. (УОСП).

Адрес Центра: 426069, г. Ижевск, ул. 30 лет Победы, 30.

Электронный адрес: uosp@mail.ru. Телефон, факс (3412)588897, (3412)618281.

Работа выполнена при поддержке аналитической ведомственной целевой программы Минобрнауки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)» (Рег. номер: 2.1.2/12069).

МОНИТОРИНГ СТРЕСС-КОРРОЗИОННОЙ ДЕФЕКТНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

С.А. Бабкин, Г.С. Корзунин, А.Ф. Матвиенко

В связи с увеличением количества аварийных отказов в 1980-2000 годы были привлечены самые современные методы физического металловедения, и уже первые результаты исследований аварийного металла из южных районов страны показали, что учёные встретились с очень серьёзной проблемой. Аварийные отказы были связаны с трещинообразованием, которое имело локальный характер: колония трещин, состоящая из большого количества параллельных друг другу коротких трещин на наружной поверхности труб. Благодаря комплексному подходу к данной проблеме, как со стороны ОАО «Газпрома», ЗАО НПО «Спецнефтегаза», так и со стороны ИФМ УрО РАН, были найдены общие причины, приводящие к стресс-коррозионному повреждению металла труб МГ. Учёные обнаружили влияние большого количества факторов, приводящих к возникновению и развитию стресс-коррозионных повреждений.

Дополнительно была проведена внутритрубная дефектоскопия в 2000-2010 годы, которая позволила решить проблему предупреждения стресс-коррозии и наметить пути дальнейшей работы в этом направлении. Однако, как показали многочисленные исследования, проведённые научно-исследовательскими организациями России, США, Японии, Германии, Канады, Австралии, Ирана, Пакистана проблема образования и развития стресс-коррозионных дефектов пока однозначно не решена.

ЭМА СКАНЕР - ДЕФЕКТОСКОП С ИМПУЛЬСНЫМ ПОДМАГНИЧИВАНИЕМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Ю.Л. Гобов, А.В. Михайлов, Я.Г. Смородинский
ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: go@imp.uran.ru

При переизоляции труб магистральных газопроводов, необходимо проводить автоматизированный неразрушающий контроль, т.к. переизоляция дает хороший доступ к поверхности трубы.

Именно для этих целей предназначен электромагнитно – акустический (ЭМА) сканер – дефектоскоп, разработанный в ИФМ УрО РАН. Он может обнаруживать дефекты типа нарушения сплошности в ферромагнитных объектах с толщиной стенки от 8 до 16 мм и более. В основе прибора лежит не требующий контакта, ЭМА способ возбуждения волн Лэмба и Рэлея и приема этих волн отраженных от дефектов.

Опытным путем установлена высокая эффективность использования волн Рэлея на трубах с толщиной стенки от 12 до 16 мм и более, а волн Лэмба на толщинах от 8 до 12 мм. Недостаток применения волн Рэлея заключается в поверхностном характере ее распространения. Это не позволяет выявлять внутренние дефекты в теле трубы газопровода. Однако, как практика показывает, подавляющее число дефектов, в том числе и самые опасные – стресс коррозионные растрескивания, располагаются вблизи внешней поверхности трубы, что и объясняет применимость волн Рэлея для контроля трубопроводов.

Для излучения ультразвуковой волны, в ЭМА сканере используется тангенциальное импульсное подмагничивающее поле, создаваемое электромагнитном специальной конфигурации. Прием осуществляется с помощью системы, состоящей из постоянных магнитов, создающей подмагничивающее поле, направленное по нормали к поверхности объекта контроля.

Необходимым условием для эффективного возбуждения и приема ультразвуковых волн ЭМА способом является наличие достаточного подмагничивающего поля. Напряженность такого магнитного поля для случая тангенциальной поляризации должна составлять порядка $3 \cdot 10^4$ А/м, для нормальной более $5 \cdot 10^5$ А/м.

Создать такие поля довольно сложно. Именно поэтому в ЭМА сканере используется система импульсного подмагничивания при излучении и специальная малогабаритная система, состоящая из постоянных высокоэнергетических магнитов при приеме. Использование таких подмагничивающих систем позволило значительно повысить чувствительность к дефектам и при этом уменьшить массу и притяжение сканера к трубе. Последнее обстоятельство позволило в несколько раз увеличить скорость сканера – дефектоскопа.

Толщина стенки трубы не влияет на параметры импульсного поля подмагничивания при излучении ультразвуковой волны (работает скин-эффект) и на величину нормального поля подмагничивания на приеме. Поэтому сканер-дефектоскоп одинаково эффективно работает на любых толщинах стенки.

КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Р.Р. Динисламов, А.В. МIRONENKO
ЗАО НПО "Интротест" (г. Екатеринбург), us-lab@introtest.com

Достоверность ультразвукового контроля во многом зависит от параметров применяемых пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП). Необходимо проводить контроль параметров ПЭП при производстве, а также входной и периодический контроль при эксплуатации ПЭП. Методика измерения параметров ПЭП, предложенная в ГОСТ 23702-90, предполагает использование большого количества приборов и требует больших затрат времени на измерение характеристик одного ПЭП. Всё это затрудняет проведение измерений в производственных условиях.

Требования, предъявляемые к средству измерения характеристик ПЭП в производственных условиях — простота эксплуатации, надежность, высокая производительность измерений, низкая стоимость.

В ЗАО «НПО «Интротест» (г. Екатеринбург) совместно с ООО «ИЦ «Физприбор» в 2004 году был создан программно-аппаратный комплекс "USStudio". Комплекс состоял из ультразвуковой платы, устанавливаемой в компьютер, и программного обеспечения. Для проведения измерения требовались лишь стандартные образцы СО-2 и СО-3. Комплекс позволял измерять частотно-временные характеристики прямых и наклонных ПЭП, характеристики диаграммы направленности наклонных ПЭП. На получение паспорта ПЭП требовалось 3-5 минут. Комплексы «USStudio» успешно эксплуатируются на ряде предприятий.

В настоящее время выпускается вторая версия комплекса — "USStudio-2". В новом исполнении возможности комплекса расширены:

- теперь комплекс позволяет измерять характеристики прямых совмещенных и раздельно-совмещенных, наклонных, иммерсионных ПЭП;
- расширен перечень измеряемых параметров — теперь можно измерять диаграммы направленности прямых и иммерсионных ПЭП, фокусное расстояние и разрешающую способность по ПНАЭ Г-7-014-89.

Комплекс состоит из компьютера с установленными в него измерительными платами, измерителей координат, настольной иммерсионной ванны и комплекта образцов. Измерение основных параметров ПЭП производится на образцах СО-2, СО-3. Перемещение преобразователей по поверхности образцов производится вручную. Измерение сводится к двум действиям. Первое: получить максимальный сигнал на СО-3, для наклонных ПЭП — от цилиндрической поверхности, для прямых — от плоскости. При этом комплекс измеряет и рассчитывает несколько параметров — вид эхо-сигнала, его спектр, частоту, ширину спектра, длительность, акустическую задержку. Второе: получить огибающую эхо-сигнала от бокового сверления в СО-2. По этой огибающей комплекс рассчитывает диаграмму направленности, угол ввода, ширину диаграммы направленности. Частотно-временные характеристики, импульсный коэффициент двойного преобразования, абсолютную чувствительность, фокусное расстояние, лучевая разрешающая способность раздельно-совмещенных прямых ПЭП измеряются на ступенчатых образцах. Настольная иммерсионная ванна используется для измерения характеристик иммерсионных ПЭП. Диаграмма направленности иммерсионного ПЭП может измеряться в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Бланк паспорта ПЭП может быть изменен под требования заказчика.

Комплекс внесен в Государственный реестр средств измерений под номером 45385-10 и позволяет измерять параметры ПЭП в соответствии с требованиями российских и зарубежных стандартов и нормативных документов.

СЕНСОРЫ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ОСНОВЕ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.В. Ронкин¹, А.П. Носов¹, И.В. Грибов¹, Н.А. Москвина¹, Т.С. Карпова²,
Е.В. Владимирова², В.Г. Васильев²

¹Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, ул. С.Ковалевской, 18

²Институт химии твердого тела УрО РАН, г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 91

Ronkin@imp.uran.ru

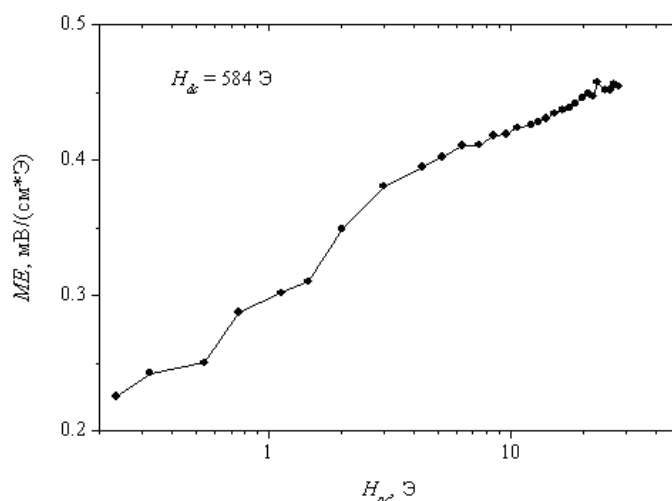
Одним из перспективных направлений разработки материалов для датчиков магнитных полей является создание магнитоэлектрических композитов, в которых электрическая поляризация индуцируется внешним магнитным полем. Такие композиты могут состоять из смеси пьезоэлектрической и магнитострикционной фаз. Достоинствами таких материалов являются высокая чувствительность, широкий динамический диапазон и энергонезависимость.

Целью работы являлось получение и исследование свойств магнитоэлектрических композитов типа магнитострикционный феррит CoFe_2O_4 /пьезоэлектрическая керамика ЦТС-19.

Композитные структуры получали смешиванием порошков CoFe_2O_4 /ЦТС-19 в соотношении 30%/70% мол. с последующим прессованием и термообработкой. Образцы имели форму дисков с типичными размерами: диаметр - 10 мм, толщина - $1 \div 1,5$ мм. Фазовый состав контролировали рентгеноструктурным анализом. На поверхность образцов наносили контактные площадки из серебра. Образцы поляризовали в постоянном электрическом поле, ориентированном перпендикулярно их плоскости. Для проведения магнитоэлектрических измерений образцы помещали в электромагнит, позволяющий получать статическое магнитное поле величиной до 10 кЭ, ориентированное в плоскости образцов. Высокочастотное поле создавали парой катушек. Магнитоэлектрические свойства характеризовали величиной магнитоэлектрического коэффициента $M\mathcal{E} = U/(d \times H)$, где U – величина регистрируемого электрического напряжения, d – толщина композитной структуры, H – величина статического магнитного поля.

Были проведены измерения статических магнитных и магнитострикционных свойств. Исследованные частотные, полевые и ориентационные характеристики показали возможность детектирования как статических, так и высокочастотных магнитных полей величиной менее 1 Э. На рисунке представлены данные, полученные на частоте 140 Гц в статическом поле 548 Э.

Работа выполнена при поддержке Программ Президиума РАН №18, 09-П-2-1037, проекта УрО и СО РАН №09-С-2-1016.



РАЗРАБОТКА МЕТОДА ЛОКАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ МЕНЕЕ ОДНОГО ПРОЦЕНТА В АУСТЕНИТНЫХ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВАХ

М.Б. Ригмант, Д.И. Давыдов, Н.Н. Степанова, А.П. Ничипурук, Н.В. Казанцева
Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, e-mail: rigmant@bk.ru

Жаропрочные никелевые сплавы применяются для изготовления турбинных лопаток стационарных газотурбинных установок (ГТУ), длительно работающих в широких интервалах температур и напряжений. фазами таких сплавов являются твердый раствор на основе никеля и упрочняющая фаза на основе интерметаллида Ni_3Al со сверхструктурой типа $L1_2$ (γ' -фаза). Кроме интерметаллидной γ' -фазы также присутствуют карбиды (MeC и Me_{23}C_6), которые выделяются на границах и внутри зерен в виде включений. Магнитные методы неразрушающего контроля широко используются в промышленности для оценки работоспособности деталей, но никогда не применялись для изделий из жаропрочных никелевых сплавов. В интерметаллическом соединении $\text{Ni}_{75}\text{Al}_{25}$ все фазы сплава и при комнатной температуре, и в интервале рабочих температур находятся в парамагнитном состоянии. Магнитная восприимчивость χ при этом не превышает значений $\chi \leq 10^{-4}$. В настоящее время в энергетике активно предпринимаются попытки повышения мощности и к.п.д. газотурбинных установок. В частности экспериментальная турбина ГТЭ-45-3 Якутской ГРЭС имеет мощность в четыре раза больше серийных турбин, что достигается повышением рабочей температуры с 800°C до 880°C и в полтора раза скорости вращения. При работе по такому режиму сплав ЧС-70В оказывается в экстремальных условиях по температуре и уровню напряжений. Целью данной работы являлось изучение фазовой и структурной стабильности сплава ЧС-70В в ходе эксплуатации; установление причин появления деформационно-индуцированного магнетизма в жаропрочном сплаве с упрочняющей фазой на основе интерметаллида Ni_3Al ; оценка возможности применения к изделиям из него методов магнитного неразрушающего контроля. Исследования проводились на образцах, вырезанных из разных участков литой поликристаллической лопатки из коррозионно-стойкого сплава ЧС-70В (ХН58КВТЮМБЛ) после длительной эксплуатации на Якутской ГРЭС по экспериментальному режиму. Нарботка составляет 9390 ч (13 месяцев), 17 пусков. Для оценки исходного состояния использован образец после стандартной термообработки: ступенчатый отжиг 1170°C , 4 ч; охлаждение в аргоне; 1050°C , 4 ч, охлаждение на воздухе; 850°C , 16 ч. При исследовании лопатки, работавшей по экспериментальному режиму, установлено повышение магнитной восприимчивости χ материала. Магнитная восприимчивость меняется от значения $2 \cdot 10^{-4}$ в исходном состоянии до $40 \cdot 10^{-4}$ в пере лопатки вблизи замковой части и до $360 \cdot 10^{-4}$ в спинке пера. Измерения выполнены при комнатной температуре двумя способами – на баллистической установке и с помощью измерителя магнитной проницаемости ИМПАС, разработанном в ИФМ УрО РАН. Прибор ИМПАС позволяет измерять магнитную восприимчивость χ в диапазоне значений $\chi = 0,0001 \div 0,200$ л локальным методом. Отжиг деформированного сплава, связанный с полным растворением интерметаллидной фазы, устраняет дефекты внутри частиц интерметаллида. После отжига магнитная восприимчивость образцов соответствует исходному (до деформации) значению. Наблюдается корреляция между количеством структурных дефектов в различных частях турбинной лопатки и значением магнитной восприимчивости. Это открывает возможность применения методов магнитного неразрушающего контроля.

ДЕФЕКТОМЕТРИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОРМАЛЬНОГО ПОДМАГНИЧИВАЮЩЕГО ПОЛЯ

Ю.Л. Гобов, Ю.Я. Реутов, А.В. Грамматин, А.В. Волков, П.А. Агзамова
Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: go@imp.uran.ru

В настоящее время в России находится несколько сот тысяч километров действующих магистральных газопроводов, для безаварийной работы которых необходимо периодически проводить диагностику состояния наружной поверхности трубопроводов. Одним из способов диагностики является метод магнитных полей рассеяния, по результатам которого определяют форму, ориентацию дефектов и их геометрические параметры (длину, глубину и раскрытие).

Известные к настоящему моменту устройства для магнитного контроля наружной поверхности трубопроводов обладают рядом недостатков, к числу которых относятся большое энергопотребление и большая масса устройства. Кроме того, в большинстве устройств используется тангенциальное подмагничивающее поле, при котором амплитуда полей рассеяния от дефектов зависит как от глубины, так и от формы дефекта, что существенно усложняет восстановление топографии дефекта по топографии полей рассеяния. Таким образом, известные технические устройства не дают полного решения проблем, связанных с наружным диагностированием трубопроводов.

В данной работе предложено устройство для обнаружения поверхностных дефектов с использованием нормального подмагничивающего поля.

В предлагаемом устройстве магнитная система выполнена в виде постоянных магнитов с направлением намагниченности по нормали к поверхности трубы, расположенных на выбранном расстоянии от стенки трубы. С помощью датчиков магнитного поля измеряются компоненты магнитного поля. Однако измерение только нормальной составляющей магнитного поля (Hz) является достаточным условием для восстановления топографии дефекта.

Предлагаемое устройство решает задачу уменьшения массы и энергопотребления, увеличения точности при определении глубины и формы дефекта по измеренным параметрам магнитного поля. Более того, устройство видит как продольные, так и поперечные дефекты. Топография создаваемого магнитного поля полностью повторяет топографию дефекта, что повышает надёжность и точность идентификации обнаруженных дефектов.



Фотография дефектов

Топография магнитного поля
при нормальном намагни-
чивании

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ФАЗЫ МАТЕРИАЛОВ

Ю.Л. Гобов, А.В. Михайлов, А.П. Новослугина
ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: go@imp.uran.ru

На сегодняшний день в промышленности широко применяются материалы и сплавы, к магнитным свойствам которых предъявляются высокие требования.

Определение фазового состава материалов необходимо при оценке изменений, происходящих в этом составе в результате термических и деформационных воздействий при определении концентрации магнитной фазы в неферромагнитных материалах, объема пор и неферромагнитных включений в ферромагнитной матрице.

Одним из методов фазового анализа является метод, основанный на определении намагниченности насыщения. Для реализации этого метода необходимо создать магнитное поле с большим значением напряженности. Все известные приборы, способные создавать такие поля, обладают недостатками, среди которых: большой размер и вес, недостаточная точность, необходимость использования внешнего источника питания и образцов для сравнения.

В устройстве для локального измерения ферромагнитной фазы материала были учтены и преодолены все вышеперечисленные недостатки за счет измерения нормальной составляющей магнитной индукции, соответствующей намагниченности насыщения.

Вместо громоздких электромагнитов, в приборе используется малогабаритная магнитная система, которая представляет собой концентратор из материала с высокой намагниченностью насыщения, например пермендюра, на каждой нерабочей поверхности которого установлен высокоэнергетичный магнит так, чтобы одноименные полюса магнитов были направлены внутрь концентратора. Верхний предел динамического диапазона устройства определяется намагниченностью насыщения материала концентратора.

При измерении намагниченности насыщения в материалах с малым содержанием ферромагнитной фазы концентратор может быть заменен на постоянный магнит с высокой величиной остаточной намагниченности. В таком случае намагничивающее поле вблизи рабочей поверхности больше, чем с концентратором с высокой намагниченностью насыщения. Это позволяет с большей точностью измерять намагниченность насыщения в материалах с малым содержанием ферромагнитной фазы.

Первичный преобразователь выполнен в виде датчика для измерения магнитного поля, например в виде датчика Холла или магниторезистора, и расположен на рабочей поверхности концентратора.

Предлагаемый прибор, благодаря своей портативности, позволяет легко и оперативно определить намагниченность насыщения на основе измеренных значений нормальной составляющей индукции магнитного поля в локальной области массивного изделия. По значению намагниченности насыщения можно судить о ферромагнитной фазе материала.

МАГНИТОУПРУГИЙ ЭФФЕКТ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ СТАЛЯХ ПРИ РАЗГРУЗКЕ ПОСЛЕ ПЛАСТИЧЕСКОГО РАСТЯЖЕНИЯ

В.Г. Кулеев, Т.П. Царькова
Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: kulejev@imp.uran.ru

Резкое уменьшение магнитоупругой намагниченности M_σ в ферромагнитных сталях при их разгрузке после пластического растяжения обусловлено появлением в значительной части зерен больших остаточных сжимающих напряжений, ориентированных вдоль направления действия нагрузки и приводящих к образованию в этих зернах доменной структуры типа «легкая плоскость» (ЛП). Причина этого явления – анизотропия модуля Юнга E в феррите в сочетании с изотропным распределением ориентаций зерен, размер которых во много раз превышает размер однодоменности (что справедливо для большинства сталей).

В нагруженном состоянии первоначальный рост M_σ с увеличением напряжений σ обусловлен смещениями 90° ДГ (доменных границ) и положительностью константы магнитострикции λ_{100} ; далее при $\sigma > \bar{\sigma}_i$ (где $\bar{\sigma}_i$ – средняя величина внутренних напряжений первого рода) он сменяется плавным уменьшением M_σ за счет процессов вращения и отрицательности константы магнитострикции λ_{111} .

Другие особенности зависимостей M_σ от σ (в упругой области) и от деформаций ε (в пластической) обусловлены либо критическими размерами областей существования микронапряжений в зернах при некотором ε (вокруг скоплений дислокаций в армко-железе), либо наличием таких областей вокруг легирующих элементов (как в стали 10ХСНД). В этих областях возникает магнитножесткая система 90° ДГ, смещение которых с ростом σ приводит к возрастанию величины M_σ из-за положительности константы магнитострикции λ_{100} .

ВЛИЯНИЕ НА ВЕЛИЧИНЫ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТАЛЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОГО РАСТЯЖЕНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РАЗГРУЗКИ

В.Г. Кулеев, Т.П. Царькова, А.П. Ничипурук, В.И. Воронин
Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
E-mail: kulejev@imp.uran.ru

Установлено, что пластическое растяжение механически изотропных сталей и последующее снятие нагрузки приводят к резким скачкам их магнитных параметров (таких, как коэрцитивная сила, остаточная намагниченность, магнитная проницаемость, магнитоупругий эффект в слабых полях). Определяющей причиной такого поведения является существенное изменение доменной структуры, вызванное появлением при разгрузке в значительной части зерен стали больших остаточных сжимающих напряжений.

В частности при разгрузке коэрцитивная сила мало- и среднеуглеродистых сталей возрастала в 2 раза, остаточная намагниченность уменьшалась в 3-4 раза, начальная магнитная проницаемость уменьшалась в 2-3 раза, магнитоупругий эффект в слабых полях при разгрузке падал до 5 раз (армко-железо).

Эти величины изменений указанных магнитных параметров достигались после завершения переходного процесса, имевшего место при малых пластических деформациях ε от нуля и до 2%, после чего с ростом ε величины скачков величин магнитных параметров сталей практически не изменялись.

Рассмотренные явления в конечном счете обусловлены анизотропией модуля Юнга в зернах α -Fe в сталях в сочетании с изотропией распределения ориентаций осей этих зерен в поликристаллических ферромагнитных механически изотропных сталях..

ОЦЕНКА ОТНОСИТЕЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ОСТАТОЧНО СЖАТЫХ ЗЕРЕН В СТАЛЯХ ПОСЛЕ ИХ ПЛАСТИЧЕСКОГО РАСТЯЖЕНИЯ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ

В.Г. Кулеев

Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

E-mail: kulejevv@imp.uran.ru

Резкое уменьшение величины остаточной намагниченности в изотропных ферромагнитных сталях при снятии растягивающей нагрузки, приводящей к пластической деформации, позволяет оценить относительную долю остаточно сжатых зерен. Вклад в такое изменение вносят только те зерна, в которых величина остаточных сжимающих напряжений превышает среднюю величину исходных внутренних напряжений первого рода, имевших место до пластического растяжения. В результате в них перестраивается доменная структура от состояния типа легкой оси (при действии нагрузки) к состоянию типа легкой плоскости (после разгрузки).

В итоге такой перестройки при последующих намагничивании и перемагничивании ферромагнитных сталей резко возрастал вклад в намагниченность обратимых процессов вращения, что и приводило к наблюдаемому резкому уменьшению остаточной намагниченности при разгрузке.

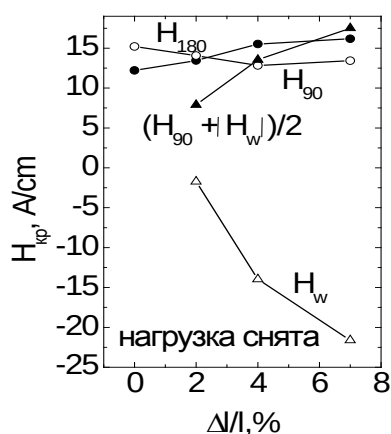
Для проявления этого эффекта необходимо, чтобы модули Юнга любых двух соседних граничащих друг с другом зерен отличались на такую величину, при которой величина упругой деформации разгрузки была бы достаточна для создания в механически более жестком зерне остаточных сжимающих напряжений, превышающих среднюю величину исходных внутренних напряжений первого рода. Исходя из этого условия, в работе и были получены величины относительных долей зерен с большими остаточными сжимающими напряжениями при различных значениях величин пластических деформаций.

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ УПРУГОЙ И ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ПРИСТАВНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ С ОРТОГОНАЛЬНЫМ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕМ

А.П. Ничипурук, А.Н. Сташков, М.С. Огнева

Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, nichip@imp.uran.ru

Одной из актуальных задач магнитной структуроскопии по-прежнему остается оценка степени пластической деформации в конструкциях из низкоуглеродистых и слаболегированных сталей. В ряде работ было показано, что, исследуя зависимость дифференциальной магнитной проницаемости от поля, можно получить параметры критических полей смещения 90-градусных доменных границ, чувствительность которых к величине и анизотропии упругих и пластических деформаций достаточно велика. Критические поля получают, подгоняя расчетную кривую $\mu_d(H)$ к экспериментальной, измеренной на предельной петле магнитного гистерезиса. При этом одним из параметров является поле наведенной магнитной анизотропии $H_a = (|H_w| + H_{90})/2$, где H_w - среднее поле, в котором вследствие наведенной анизотропии происходит смещение 90-градусных доменных границ в диапазоне полей от $H_{\max}$ до нуля; H_{90} - среднее критическое поле смещения 90-градусных доменных границ в приближении к техническому насыщению. Подгонка сопряжена с затратами времени и определенным субъективизмом при оценке параметров.



В предлагаемой работе сделана попытка получить данные параметры экспериментальным путем. Измерения проводили на пластине из стали 09Г2, подвергавшейся упругой и, затем, пластической деформации. Зависимость $\mu_d(H)$ снимали с помощью приставных электромагнитов с измерительной катушкой, намотанной на их сердечник. Цикл измерения состоял из двух этапов. На первом снимали кривую $\mu_d(H)$ при перемагничивании одним электромагнитом по петле гистерезиса, близкой к предельной. Затем первым электромагнитом намагничивали участок пластины до технического насыщения, выключали намагничивающий ток и вторым электромагнитом перемагничивали пластину под углом 90° к исходному намагничиванию. Из первой кривой

определяли H_{180} - поле максимальной дифференциальной проницаемости и H_w - поле начала перегиба на участке кривой $\mu_d(H)$ в диапазоне полей от $(-H_{\max})$ до нуля. Из второй кривой получали H_{90} - поле максимальной дифференциальной проницаемости при перемагничивании под 90° .

На рисунке, в качестве примера, приведены зависимости полученных параметров от величины относительного удлинения пластически деформированной пластины после снятия приложенной силы. Можно отметить, что в исследованном диапазоне пластических деформаций H_w и $(|H_w| + H_{90})/2$ - аналог поля наведенной магнитной анизотропии монотонно изменяются при увеличении относительного удлинения.

Таким образом, показана возможность экспериментального определения критических полей смещения 90-градусных доменных границ и их использования в магнитной структуроскопии.

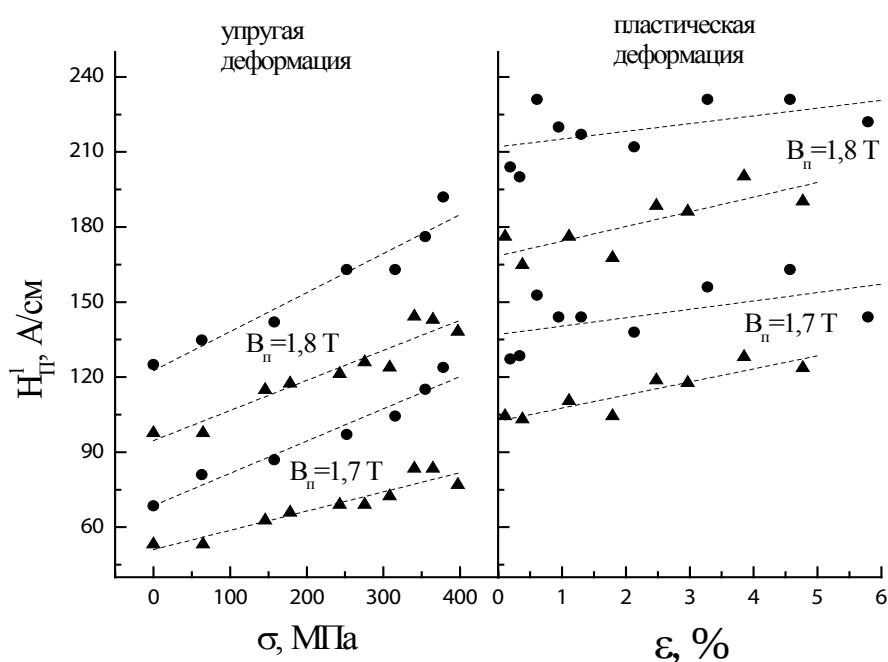
Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ, номер МК-2716.2010.8.

О КОНТРОЛЕ УПРУГОГО И ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ РАСТЯЖЕНИЕМ

К.В. Костин, Т.П. Царькова, А.П. Ничипурук, Я.Г. Смородинский
Институт физики металлов УрО РАН, 620041, г. Екатеринбург, ул. С.Ковалевской, 18
E-mail: kostin@imp.uran.ru

Одним из наиболее опасных и трудно выявляемых дефектов является растрескивание трубных сталей в коррозионной среде под действием растягивающих напряжений (КРН). Своевременное обнаружение мест концентрации и определение уровня этих напряжений позволит оценивать остаточный ресурс трубопроводов и устанавливать сроки и объемы необходимого ремонта трубопроводов.

Установлено, что в наибольшей степени под действием упругих и пластических растягивающих деформаций меняются участки предельной и несимметричной петель гистерезиса соответствующие перемагничиванию преимущественно смещением 90° доменных границ. Индукция коэрцитивного возврата трубных сталей монотонно растет при увеличении упругих растягивающих напряжений. Рост величины продолжается при напряжениях выше предела текучести. Снятие пластически деформирующего напряжения приводит к снижению индукции коэрцитивного возврата ниже уровня, характерного для ненагруженных сталей, причем величина разгруженных сталей уменьшается по мере роста деформаций. Таким образом, по изменению величины можно не только оценивать величину упругих растягивающих напряжений, но и обнаруживать появление и оценивать величину начинающихся пластических деформаций.



На рисунке показана возможность контроля растягивающих деформаций по величине магнитного поля, соответствующего фиксированной намагниченности на нисходящей ветви предельной петли гистерезиса. Параметр практически линейно растет во всем диапазоне изменения упругих напряжений, причем рост этого параметра продолжается и при пластически деформирующих нагрузках. Предложенная методика контроля реализована практически с помощью прибора СИМТЕСТ - 2.11.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН (проект 09-П-2-1001 «Анализ, моделирование и экспериментальное исследование топологии магнитных и акустических полей в ферромагнитных объектах»).

ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ СЖАТИЕМ, РАСТЯЖЕНИЕМ, КРУЧЕНИЕМ И ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ НА МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЕЙ 11ХНЗД И 15ХН4Д

Э.С. Горкунов, С.М. Задворкин, А.Н. Мушников
г. Екатеринбург, Россия. mushnikov@imach.uran.ru

Разработка магнитных методов оценки напряжений в элементах стальных конструкций является одной из актуальных задач неразрушающего контроля. Определению влияния упругих и пластических деформаций на магнитные свойства сталей посвящено большое число статей. Однако основная часть этих работ направлена на исследование магнитных характеристик сталей при одноосном нагружении. Между тем, на практике почти никогда не встречаются случаи чистого одноосного растяжения, сжатия или кручения, поэтому изучение поведения магнитных параметров материалов в условиях действия комбинированных нагрузок особенно актуально.

В докладе приводятся результаты исследования магнитных характеристик легированных конструкционных сталей 15ХН4Д и 11ХНЗД при упругом деформировании одноосным сжатием или растяжением одновременно с кручением и гидростатическим давлением.

Исследования проводились на полых цилиндрических образцах. Нагрузка при испытаниях на растяжение и сжатие прикладывалась вдоль оси образца. Кручение совершалось вокруг этой же оси. Полые образцы имеют меньшую неоднородность сдвиговых деформаций по сечению при испытаниях на кручение, по сравнению со сплошными цилиндрами. Кроме того, использование полых образцов дало возможность проводить испытания с гидростатическим давлением во внутренней полости.

Установлено, что внутреннее гидростатическое давление до 50 МПа не оказывает существенного влияния на магнитные характеристики исследованных сталей. Это может быть связано с тем, что напряжения, возникающие от гидростатического давления, действуют в плоскостях перпендикулярных оси намагничивания. Например, при повышении гидростатического давления коэрцитивная сила H_c увеличивается менее чем на 5 %. Наиболее чувствительной к этому виду нагружения оказалась остаточная индукция B_r , которая уменьшается почти на 10 %.

Увеличение нормальных напряжений σ в условиях фиксированных касательных напряжений τ приводит к уменьшению H_c и возрастанию B_r и максимальной магнитной проницаемости $\mu_{\text{макс}}$.

В случае варьирования τ при фиксированных σ чувствительность H_c к касательным напряжениям снижается. Касательные напряжения практически не влияют на величину B_r при $\sigma \approx -50 \dots +50$ МПа. Вне этого диапазона нормальных напряжений увеличение τ вызывает уменьшение B_r . В то же время, величина $\mu_{\text{макс}}$ очень слабо реагирует на изменение касательных напряжений в интервале $\sigma \approx 80 \dots 150$ МПа, уменьшаясь с ростом τ вне этого диапазона нормальных напряжений. Таким образом, максимальную магнитную проницаемость можно использовать для оценки касательных напряжений при нормальных напряжениях близких к нулю, когда это невозможно сделать с помощью остаточной индукции, а остаточную индукцию для оценки касательных напряжений в условиях действия нормальных напряжений величиной порядка 100 МПа.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРОВНЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА МАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ

Э.С. Горкунов, Ю.В. Субачев, С.М. Задворкин, А.И. Ульянов*
Екатеринбург, Россия; *Ижевск, Россия; subachev@imach.uran.ru

В докладе приводятся результаты изучения связей магнитных характеристик порошковых материалов на основе железа с их твердостью и величиной временного сопротивления.

Исследования проводили на следующих материалах: спеченное железо с различной структурой пор, полученное из порошков разных фракций в диапазоне от 40 до 200 мкм; углеродистые порошковые стали с различным содержанием углерода (0,03; 0,45; 0,95 %); конструкционная порошковая сталь 50Н2М (0,54 С; 2,0 Ni; 0,3 Мо; мас. %). Образцы из углеродистых порошковых сталей с различной пористостью подвергали деформации прокаткой при комнатной температуре до величины относительной деформации 30 %. Образцы из конструкционной порошковой стали подвергали закалке в масло (с температур в диапазоне от 700 до 910 °С) с последующим отпуском (в диапазоне температур от 150 до 650 °С).

Изучали параметры петель гистерезиса (коэрцитивную силу, максимальную магнитную проницаемость, остаточную индукцию, максимальную намагниченность) и прочностные характеристики (твердость, временное сопротивление) материалов. Магнитные измерения проводили в замкнутой магнитной цепи по схеме пермеамметра, максимальная напряженность магнитного поля внутри образцов достигала 60 кА/м. Твердость по Бринеллю определяли по ГОСТ 25698-83, микротвердость по Виккерсу – по ГОСТ 9450-76, временное сопротивление разрыву – по ГОСТ 18227-98.

Установлены однозначные закономерности, позволяющие оценивать твердость и временное сопротивление порошкового материала по измерениям максимальной намагниченности (при варьировании величины пористости) и по измерениям коэрцитивной силы (при изменении размеров пор).

Монотонное повышение коэрцитивной силы углеродистых порошковых сталей при холодной прокатке позволяет оценивать величину их временного сопротивления. Кроме того, с помощью коэрцитивной силы можно оценить величину относительной деформации упрочненных прокаткой изделий из этих сталей.

Экспериментально подтверждено, что коэрцитивная сила является предпочтительным параметром контроля твердости спеченных изделий из конструкционной стали 50Н2М при закалке. Установлено, что коэрцитивная сила применима и для контроля твердости закаленных изделий из порошковых конструкционных сталей при низко- или среднетемпературном отпуске.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА НА ОСНОВЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОТОКА В МАССИВНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТАХ

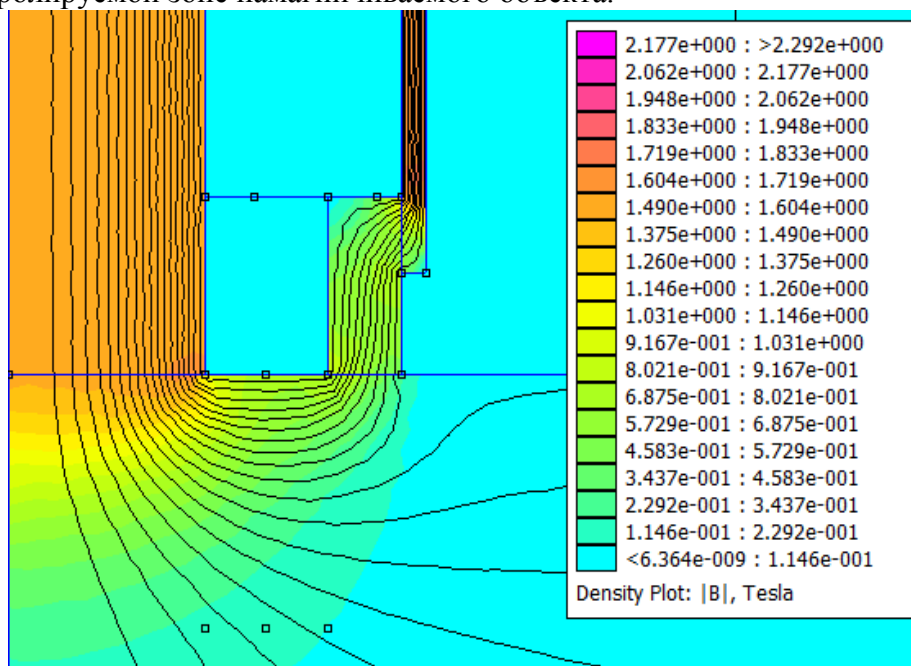
В.Н. Костин, О.Н. Василенко, Г.В. Бида

Институт физики металлов УрО РАН, 620041, г. Екатеринбург, ул.С.Ковалевской, 18

E-mail: kostin@imp.uran.ru

При намагничивании приставным П-образным электромагнитом массивный ферромагнитный объект в межполюсном пространстве намагничивается очень слабо вследствие бокового рассеяния магнитного потока. Двухполюсной цилиндрический электромагнит является осесимметричной конструкцией и не имеет бокового рассеяния.

Моделированием пространственного распределения магнитного потока, создаваемого цилиндрическим электромагнитом в массивном объекте, установлено, что для концентрации магнитного потока целесообразно использовать наконечник-вкладыш к внешнему полюсу. Путем оптимального выбора диаметров внутреннего и внешнего полюсов электромагнита, а также формы и размеров вставного наконечника можно добиться уменьшения эффективного расстояния между полюсами и, как следствие, необходимой величины тангенциальной составляющей магнитного потока в контролируемой зоне намагничиваемого объекта.



На рисунке представлено распределение магнитного потока в объекте. Видно, что основная часть магнитного потока не выходит за границы внешнего полюса. При диаметре внутреннего полюса 16 мм и межполюсном расстоянии 5 мм значение тангенциальной составляющей магнитной индукции в межполюсном пространстве вблизи поверхности превышает 1 Т, а на глубине 5 мм индукция меняется в пределах 0,5-0,3 Т, что значительно превышает индукцию в межполюсном пространстве П-образного электромагнита.

Сменные насадки на внутренний и внешний полюса цилиндрического электромагнита позволяют использовать один преобразователь на объектах с различной кривизной поверхности.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (проект МК-2716.2010.8) и гранта Президиума РАН (проект 09-П-2-1001)

МАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ СКЛОННОСТИ К ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЮ ЛИТЫХ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ИЗ БЕЛОГО ЧУГУНА

Г.В. Бида *, О.В. Нестерова **

* Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

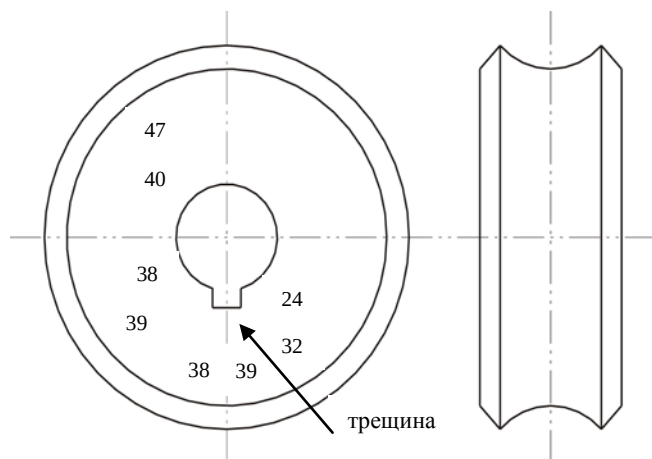
** Северский трубный завод, г. Полевской Свердловской области, Россия

У исследуемых валков из белого чугуна ИЧХ16МЛ в литом состоянии структура – дендриты аустенита с крупными карбидами, при этом форма карбидов и аустенитных образований зависят от степени модифицирования иттрием. Количество карбидов в чугуне в основном определяется содержанием углерода и хрома и составляет 25-30 %. Высокая износостойкость этих чугунов обеспечивается повышенной микротвёрдостью карбидов, их мелкодисперсностью и разветвлённому строению. Размеры первичных и эвтектических карбидов определяются скоростью охлаждения в процессе кристаллизации и их критический размер составляет 7-8 мкм. При увеличении их размера износостойкость скачкообразно уменьшается.

Чугуны данного типа обладают высокой твёрдостью и износостойкостью. Вместе с тем они обладают повышенной склонностью к образованию горячих и холодных трещин. Это обусловлено широким температурным интервалом кристаллизации из-за (как минимум) тройной эвтектики (аустенит + графит, аустенит + цементит, аустенит + карбиды хрома) при низкой теплопроводности, что приводит к постепенному накоплению напряжений в процессе кристаллизации расплава и повышению вследствие этого общего уровня внутренних напряжений.

Склонность к трещинообразованию обусловлена внутренними напряжениями и их градиентами. Это [1]:

- Тепловые напряжения, обусловленные неодновременным падением температуры валка по его сечению при закалке. Происходит неодновременное тепловое сжатие отдельных участков валка;
- Структурные напряжения, из-за неодновременного расширения металла при распаде аустенита, обусловленного предыдущим фактором;
- Сконцентрированные напряжения в местах резких изменений формы наружной и внутренней поверхности валков. Наиболее вероятным концентратором напряжений является шпоночный паз.



Основной причиной образований трещин в исследуемых валках являются внутренние напряжения в локальных участках валков. Это приводит к разным показаниям коэрцитиметра в разных участках одинаковой поверхности. Такая неоднородность коэрцитивной силы в приповерхностных слоях торцов после закалки и отпуска и ручьев была обнаружена на ряде валков. У них имеются трещины вдоль углов шпоночных пазов (см. рис). Размах в показаниях коэрцитиметра на торцах потрещавших валков составляет 16,5 – 26 *отн. ед.* Критическим установлен размах показаний коэрцитиметра $\Delta I_{pc} \cong 15$ *отн. ед.*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО МЕТОДА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СКЛОННОСТИ СТАЛЬНОГО ПРОКАТА К ХРУПКОМУ РАЗРУШЕНИЮ

Г.В. Бида

Институт физики металлов УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

Практически на всех предприятиях чёрной металлургии бывшего Советского Союза был внедрен неразрушающий метод контроля (НМК) прочностных и пластических свойств листов и балок из малоуглеродистых и низколегированных сталей по показаниям коэрцитиметра, пропорциональным коэрцитивной силе $I_{pc} \sim H_c$. Вместе с тем, такой контроль склонности к хрупкому разрушению проката внедрять не удавалось. Главная причина отрицательного результата упомянутых исследователей состояла в том, что набираемый статистический материал соответствовал частным выборкам, соответствующим высоким значениям ударной вязкости KCU и далеким от генеральной совокупности, где корреляция $KCU(H_c)$ отсутствует (см. рис. (а)).

В общем случае корреляция $KCU(H_c)$ представляет собой кривую с максимумом при существенном разбросе значений KCU около линии регрессии с H_c в области

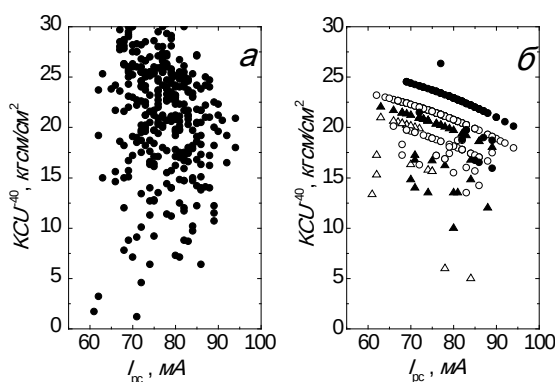
максимума.. Попытаемся понять причины такого разброса. Такими причин в первую очередь следует назвать инструментальные погрешности оценки KCU и I_{pc} ,

особенно первую. Другая причина - видманштеттова структура: крупное и при этом игольчатое зерно феррита. Вследствие крупности зерна коэрцитивная сила металла должна убывать, из-за магнитной анизотропии, обусловленной игольчатостью зерна, коэрцитивная сила должна возрастать.

В обоих случаях ударная вязкость убывает. Здесь же может встречаться разнотернистый металл, а также наличие бейнита.

Для выявления фактической корреляции ударной вязкости стали 09Г2 при -40°C с показаниями коэрцитиметра использовали скорректированный метод наименьших квадратов [1], учитывающий погрешность оценки KCU^{-40} и в множественных расчётных корреляционных моделях учитывали балл ферритного зерна и балл видманштеттова феррита [2]. Корреляция рассчитанных значений KCU^{-40} с показаниями коэрцитиметра представлена на рис. (б). На нем же учтен балл зерна феррита: Δ – 6 балл; $\blacktriangle$ – 6 и 7 баллы; $\circ$ – 7 балл; $\bullet$ – 8 балл.

Таким образом, учет инструментальной погрешности определения ударной вязкости и параметров структуры металла позволяют выявить фактическую корреляцию между ударной вязкостью и коэрцитивной силой.



ПОЛЕ ВБЛИЗИ НАМАГНИЧЕННОГО ПРЕДМЕТА

Ю.Я. Реутов, В.И. Пудов, А.В. Волков
ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, pudov@imp.uran.ru

Поле H на оси симметрии точечного магнитного диполя выражается известной формулой (1)

$$H = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot z^3} \quad (1) \quad \text{или по-другому} \quad H = \frac{P}{2 \cdot \pi} \cdot \alpha_T \quad (2), \quad \text{причем} \quad \alpha_T = \frac{1}{z^3} \quad (3)$$

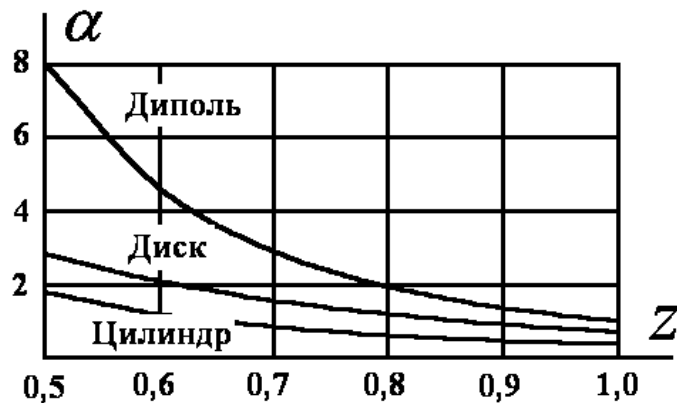
где P - магнитный момент диполя, z - расстояние от диполя.

Теоретически, измерив, поле диполя в двух местах (или измерив, напряженность поля и ее пространственный градиент), можно определить величины P и z , то есть найти частное решение обратной задачи магнитостатики. Однако, с приемлемой точностью это можно сделать лишь на расстояниях, существенно превышающих размеры намагниченного предмета, когда его можно считать точечным диполем. На малых расстояниях z между поисковым устройством и объектом поиска начинают сказываться размеры и форма объекта. Можно выделить два крайних случая. Случай, когда намагниченный предмет является вытянутым цилиндром длиной l , намагниченным вдоль длины, и случай, когда он имеет форму круглого диска диаметром d и намагничен поперек плоскости.

Поле цилиндрического предмета определяется выражением (2), если вместо α_T в него подставить

$$\alpha_{\text{ц}} = \frac{1 + \frac{l}{2 \cdot z}}{z^3 \cdot \left(1 + \frac{l}{z}\right)^2} \quad (4), \quad \text{а для намагниченного диска} \quad \alpha_{\text{д}} = \frac{1}{(0,25 \cdot d^2 + z^2)^{1,5}} \quad (5)$$

Если принять характерный размер намагниченного предмета (l или d) за единицу и выразить через него величину z , то получим зависимости $\alpha(z)$, представленные на рисунке.



Из рисунка видно, что, в зависимости от формы намагниченного предмета, его поле при заданном магнитном моменте и заданном расстоянии может различаться, по крайней мере, в несколько раз. Отсюда следует, что при отсутствии априорных сведений о размерах и форме намагниченного объекта не приходится ожидать высокой точности определения его магнитного момента или расстояния до него.

Работа поддержана проектом Президиума РАН № 09-П-2-1001.

ЦИФРОВОЙ ФЕРРОЗОНДОВЫЙ МАГНИТОМЕТР С ПИТАНИЕМ ОТ USB- ПОРТА

Ю.Я. Реутов, В.И. Пудов, А.В. Волков
ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, pudov@imp.uran.ru

Несмотря на появление [1, 2] микросхемных преобразователей индукции магнитного поля в электрический сигнал, основанных на использовании гальваномагнитного или магниторезистивного эффекта, сохраняется потребность в использовании феррозондовых преобразователей. Объясняется это возможностями измерения с их помощью малых по величине магнитных полей при большей температурной стабильности. Вместе с тем, использование феррозондовых преобразователей невозможно без соответствующих, довольно сложных электронных схем, обеспечивающих возбуждение преобразователя, а также усиление и выделение снимаемого с него сигнала.

Нами была разработана модель феррозондового магнитометра, сопрягаемого с персональным компьютером через USB порт, причем питание схемы магнитометра осуществляется от самого компьютера через указанный порт.

В магнитометре применен феррозондовый преобразователь типа второй гармоники с кольцевым пермалловым сердечником. В качестве такого сердечника с тороидальной обмоткой возбуждения использован промышленный импульсный трансформатор [3]. Трансформатор помещен в каркас с цилиндрической измерительной обмоткой (см. рис. 1), одновременно выполняющей функцию автокомпенсации измеряемого поля. Феррозондовый преобразователь помещен в корпус диаметром 18 и длиной 35 мм. С электронной схемой он соединяется гибким четырехжильным кабелем длиной 1 метр.

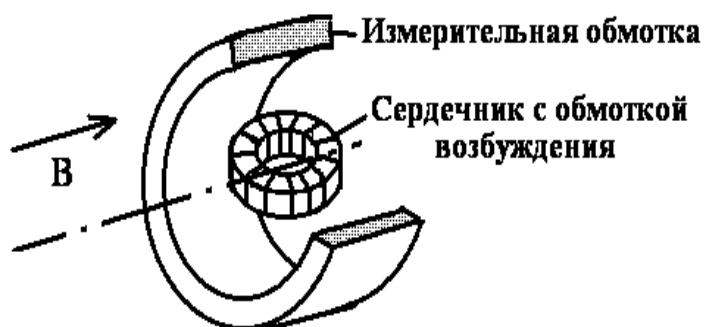


Рис. 1. Феррозондовый преобразователь

Электронная схема магнитометра, наряду с узлами возбуждения, усиления и синхронного детектирования, содержит 10 – разрядный микроконтроллерный АЦП с интерфейсом USB порта.

Схема размещена в прямоугольном пластмассовом корпусе размерами 127 x 63 x 42 мм и соединяется с компьютером гибким четырехжильным кабелем длиной 1 метр.

Данный магнитометр измеряет проекцию индукции постоянного поля на продольную ось феррозондового преобразователя в пределах от - 100 микротесла до + 100 микротесла с дискретностью 0,25 микротесла. Как показали исследования, уход нуля магнитометра за 8 часов работы не превышает 0,5 микротесла.

Проведенные исследования функциональных возможностей данного цифрового магнитометра, показали его высокую перспективность применения в производственных отраслях.

Работа частично поддержана проектом Президиума РАН № 09-П-2-1001.

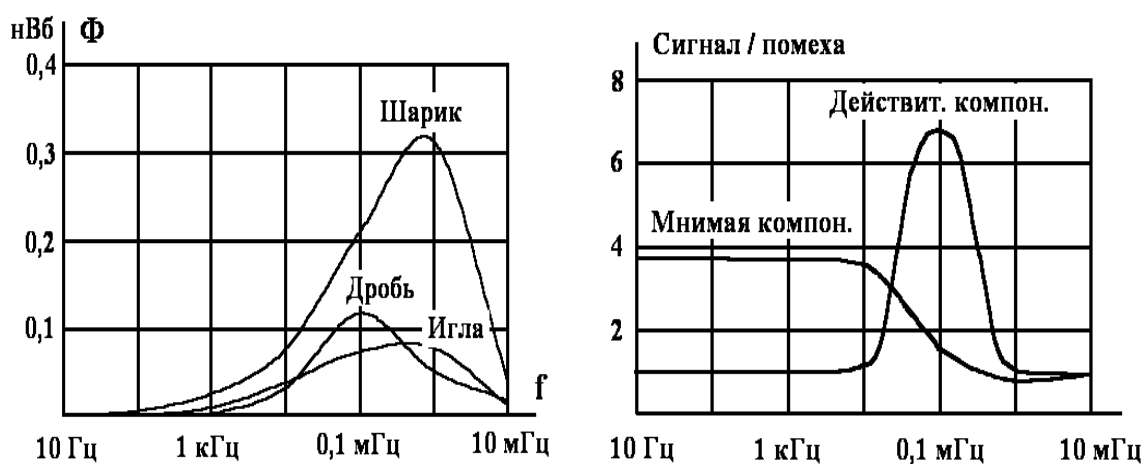
ВЫБОР РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ МЕДИЦИНСКОГО МЕТАЛЛОИСКАТЕЛЯ

Ю.Я. Реутов, В.И. Пудов, А.В. Волков
ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, pudov@imp.uran.ru

При хирургическом извлечении из тела человека металлических предметов (пули, осколки, слабомагнитные обломки инъекционных игл) применяются специально разработанные медицинские металлоискатели (или локаторы инородных тел). Их применение позволяет определить положение инородного предмета перед операцией и уточнить непосредственно в ходе операции. Поскольку человеческое тело обладает заметной электропроводностью, перемещения поискового датчика в полости хирургического разреза вызывают изменения показаний металлоискателя при отсутствии поблизости металлического предмета, что затрудняет процесс поиска.

Очевидно, что рабочая частота металлоискателя должна выбираться такой, чтобы его реакция на объекты поиска была максимальной при минимальном влиянии проводимости человеческого тела. В тоже время, преимущество должно отдаваться обеспечению обнаружения самых мелких объектов, поскольку обнаружение крупных не столь проблематично. Поэтому было выполнено компьютерное моделирование реакции объектов поиска (например, свинцовая дроби́нка, стальной шарик и обломок инъекционной иглы) на воздействие гармоническим полем разных частот. Шарик и дроби́нка имели диаметр 4 мм, а обломок иглы диаметром 1 мм имел длину 4 мм.

На рисунках приведены частотные зависимости мнимой компоненты потока поля рассеяния объекта поиска, а также отношения сигнала от свинцовой дроби́нки к помехе от человеческого тела с удельной электропроводностью 0,22 Сим/м.



Выраженный максимум отношения сигнал / помеха на частоте 100 кГц для действительной компоненты поля переизлучения свинцовой дроби́нки сопровождается резким ухудшением условий обнаружения по мнимой компоненте. Окончательно вопрос оптимизации рабочей частоты поискового прибора придется решать экспериментально.

Работа поддержана проектом Президиума РАН № 09-П-2-1001.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВИХРЕТОКОВЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ КОНТРОЛЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В ДИСПЕРСНОМ МАТЕРИАЛЕ

В.И. Пудов, А.С. Соболев
ИФМ УрО РАН, г.Екатеринбург, pudov@imp.uran.ru

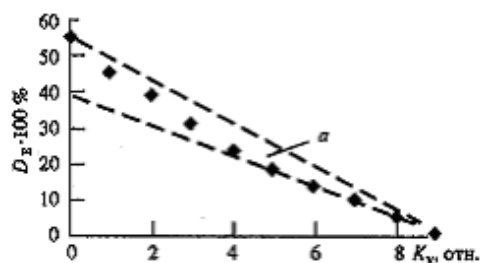
При контроле содержания в дисперсном материале металлических и не металлических электропроводящих включений используют различные методы и средства, в том числе вихрековые устройства (ВУ) отечественного и импортного производства. Эффективность применения ВУ существенно зависит от уровня метрологического обеспечения. Его основным элементом являются стандартные образцы (СО), используемые для проверки работоспособности, настройки и градуировки ВУ в производственных условиях.

Надо заметить, что за последние десятилетие предприятия большей частью переоснащались импортным оборудованием, которые существенно отличаются друг от друга техническим качеством и функциональными возможностями. При этом многие их производители не утруждали себя решением вопросов метрологического обеспечения, что приводит к снижению эффективности их применения.

В работе рассмотрена возможность повышения эффективности работы металлодетектора Fa 604 (пр. Франция), путем использования градуировочной характеристики, построенной на основе применения разработанных СО. Металлодетектор применяют при входном контроле гранулированного фенопласта Т 265. Недопустимое содержание электропроводящей магнитной компоненты (ЭМК) в фенопласте контролируется при нормированном коэффициенте усиления K_y по индикаторному сигналу в условиях прохождения образцов фенопласта через датчик металлодетектора. Ранее его градуировка осуществлялась по стандартным образцам в виде порошкообразного железа, которого, как показали исследования, не содержится в контролируемом фенопласте. Особенностью изготовленных новых стандартных образцов является то, что они содержат подлежащую контролю ЭМК. Поэтому с их помощью строится более реальная градуировочная характеристика металлодетектора Fa 604 (см. рис.).

Из представленной на рисунке зависимости коэффициента усиления K_y от относительного содержания D_v (в массовых долях ЭМК) в механической смеси магнетита и каолина видно, что использование построенной градуировочной характеристики позволяет определять с относительной погрешностью 10 % содержание ЭМК в контролируемом фенопласте в диапазоне от 0 до 55 %. Этот диапазон включает допустимое по ТУ 6-07-296-89 содержание металлических включений на уровне 0,01 % (в

Градуировочная характеристика Fa 604
а – интервал неопределённости для
градуировочной характеристики.



относительных процентах), что соответствует 6,5–7 % электропроводящих включений (по относительной массовой доле).

Таким образом, применение разработанного и аттестованного комплекта стандартных образцов предприятия, позволяет посредством настройки чувствительности и градуировки металлодетектора Fa 604, обеспечить повышение эффективности его использования для входного контроля электропроводящих включений в гранулированном фенопласте.

СРАВНЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИМПУЛЬСОВ, ОТРАЖЕННЫХ ОТ ДЕФЕКТОВ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

О.В. Немытова, А.Б. Ринкевич, Д.В. Перов
Институт физики металлов УрО РАН, E-mail: mif--83@mail.ru

Основными информативными параметрами эхо-импульса, отраженного от некоторой несплошности среды, являются, как правило, время задержки сигнала и его амплитуда. Такой подход далеко не всегда позволяет сделать адекватный вывод об особенностях обнаруженного объекта, а также оценить его размеры и форму. В связи с этим становится актуальным вопрос о нахождении соответствующих информационных признаков, позволяющих классифицировать отражатели по характеристикам эхо-сигналов.

Один из возможных подходов к решению данной проблемы заключается в использовании информации об изменении во времени мгновенной частоты отраженного сигнала. Используя алгоритм определения мгновенной частоты, основанный на использовании непрерывного вейвлетного преобразования, можно значительно увеличить помехоустойчивость метода.

Экспериментальные исследования были выполнены с использованием стальных образцов следующих видов: образец со сварным швом с заранее известным типом дефекта (непровар), стандартные образцы предприятия с искусственными отражателями типа зарубок с различной площадью плоской передней грани и двугранными углами.

Для возбуждения и приема ультразвуковых колебаний использовался наклонный преобразователь с резонансной частотой 5 МГц. Излучение зондирующих импульсов и прием эхо-сигналов осуществлялись с использованием дефектоскопа типа PCUS-10.

Полученные результаты представлены на рис. 1. Здесь частота f_0 соответствует максимуму огибающей эхо-сигнала, а частоты f_1 и f_2 определены в точках, в которых значения амплитуды огибающей составляют половину от ее максимального значения.

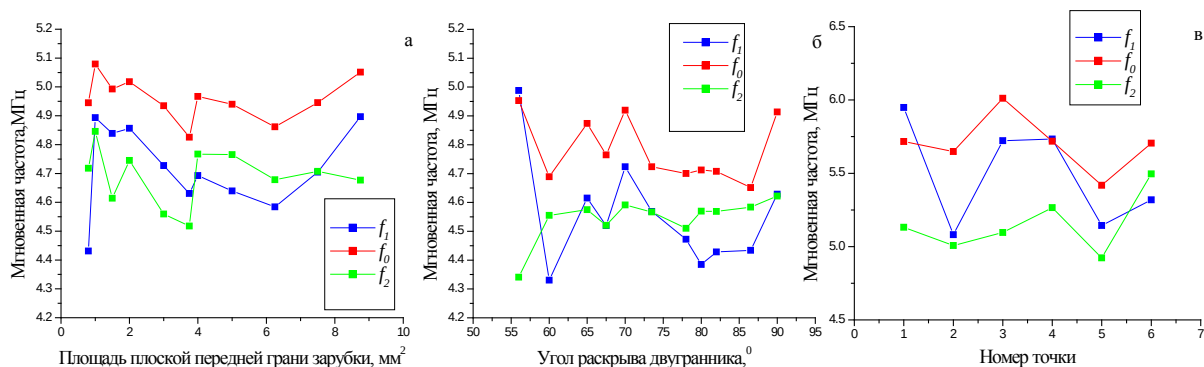


Рис. 1. Зависимость мгновенной частоты от параметров отражателей: а) от площади плоской передней грани зарубки; б) от угла раскрыва двугранника; в) от порядкового номера естественного дефекта (непровар в корне шва).

Данные результаты свидетельствуют о том, что для отражателей в виде двугранного угла и зарубки мгновенная частота эхо-сигнала выше номинальной частоты пьезопреобразователя, причем центральная частота f_0 на графиках зависимости мгновенной частоты выше значений f_1 и f_2 . Это в свою очередь является отличительной чертой таких отражателей. Кроме того, проведенный анализ частотных характеристик эхосигнала отраженного от естественного дефекта типа непровар в сварном шве дает приблизительно такие же результаты. То есть, можно говорить о том, что существует корреляция между результатами, полученными на естественных и искусственных плоскостных отражателях.

Работа выполнена по плану РАН (тема “Диагностика”).

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ АКУСТИКО-ЭМИССИОННОГО КОНТРОЛЯ ЛИТЫХ БОКОВЫХ РАМ И НАДРЕССОРНЫХ БАЛОК ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В.В. Муравьев, О.В. Муравьева

Предложены подходы к обоснованию критериев чувствительности акустико-эмиссионного метода контроля к развивающимся дефектам боковой рамы тележки грузового вагона с позиций теории упругости, теории статической и динамической прочности.

С позиций теории упругости сопоставление амплитуд электрических импульсов АЭ с уровнями сигналов АЭ, регистрируемых в ходе реальных испытаний боковых рам тележки грузового вагона (рис.1), позволяет оценить размеры скачков трещин, выявляемых методом АЭ, и сопоставить по уровню чувствительности магнитопорошковый и акустико-эмиссионный методы контроля. Уровень регистрируемых напряжений $U_{эл} = 1 \div 6$ мВ

соответствует диапазону скачков $S = 1,5 \cdot 10^{-8} \div 6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$ или длине трещины

$l = 0,3 \div 6 \text{ мм}$ при размере усталостной бороздки $\Delta = 0,1 \div 3 \text{ мкм}$. Рассчитанные значения размеров трещин соответствуют ГОСТ Р 52727-2007 и удовлетворительно совпадают с принятыми критериями браковки магнитопорошковым методом в соответствии с РД 32.159-2000.

Использование положений статической теории прочности (рис. 2) позволяет оценить характер напряженного состояния вблизи вершины трещины в области внутреннего угла буксового проема боковой рамы, а также размеры начальных очагов и уровень механических напряжений, достаточный для излучения волн АЭ. При уровне нагружения по внутреннему углу буксового проема 80 МПа, коэффициент запаса прочности, эквивалентный коэффициенту концентрации напряжений составляет ~ 6 , и обозначает уровень, начиная с которого микротрещины будут развиваться, а, следовательно, излучать волны АЭ.

Согласно усталостному критерию на основании кинетической диаграммы усталостного разрушения с использованием построены зависимости абсолютной длины и скорости роста усталостной трещины от числа циклов нагружения (рис.3), согласно которой может быть оценено влияние начальной трещины в детали на ее циклическую долговечность.

Предложенные подходы позволили оценить предельную чувствительность метода акустической эмиссии к размерам скачков усталостных трещин; размеры начальных очагов зарождения усталостной трещины и уровень механических напряжений, достаточный для излучения волн АЭ; влияние начальной трещины в детали на ее циклическую долговечность.

Работа выполнена при поддержке аналитической ведомственной целевой программы Минобрнауки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)» (Рег. номер: 2.1.2/12069).

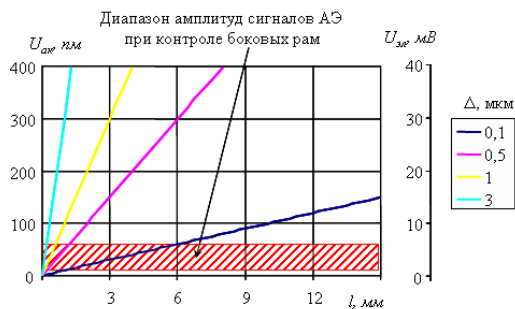


Рис.1 Зависимости амплитуд электрического и акустического импульсов АЭ от размеров прироста трещины

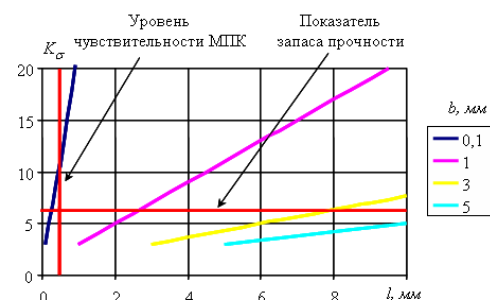


Рис.2 Зависимости амплитуд электрического и акустического импульсов АЭ от размеров прироста трещины

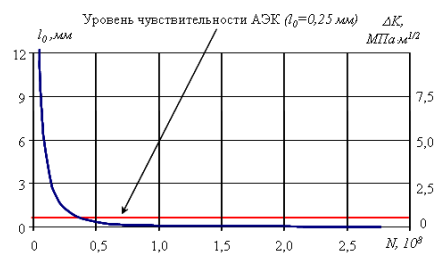


Рис. 3 Зависимость скорости роста усталостной трещины

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВАГОННЫХ, ЛОКОМОТИВНЫХ КОЛЕС И РЕЛЬСОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

В.В. Муравьев, О.В. Муравьева, Е.Н. Балобанов, Л.В. Волкова

В ободьях железнодорожных вагонных колес, вследствие механических и физико-химических процессов при изготовлении, формируются остаточные напряжения: вблизи поверхности катания – сжимающие напряжения, уровень которых снижается и переходит в растягивающие по мере приближения к диску колеса. В бандажах для посадки на центры локомотивных колес имеет место более равномерное распределение напряжений. Однако, после горячей посадки происходит перераспределение внутренних напряжений.

В ходе исследований был использован ультразвуковой поляризационно-временной метод измерения напряжений, основанный на измерении разности времен распространения двух сдвиговых волн с взаимно-перпендикулярными плоскостями поляризации, совпадающими с главными напряжениями в анизотропном материале. Разработанная экспериментальная установка, основанная на бесконтактном способе возбуждения и приема поперечных волн с помощью ЭМА преобразователя, обеспечивает инструментальную погрешность измерений времени задержки, не превышающую 0,01%. Специально разработанная магнитная система ЭМА преобразователя обеспечивает значение нормальной составляющей вектора магнитной индукции в среднеуглеродистой стали около 2,7 Тл при воздушном зазоре 0,5 мм между полюсом магнита и поверхностью ввода. Специализированное программное обеспечение позволяет одновременно наблюдать на мониторе эхограммы многократных переотражений двух поперечных волн и с необходимой точностью определять разность времен прихода.

Значения сжимающих напряжений у поверхности катания исследованных колес в основном не превышают допустимые и находятся в диапазоне 100 – 160 МПа. Распределение остаточных напряжений по окружности обода для новых колес достаточно однородно (не превышает 40 МПа). В колесах повышенной твердости, бывших в эксплуатации, наблюдается неравномерное распределение напряжений по окружности обода (разница между минимальным и максимальным значением напряжений по окружности может достигать ~60 МПа).

В бандажах локомотивных колес посаженных на центры с удалением от поверхности катания растягивающие напряжения растут как в неупрочненных, так и в упрочненных колесах и достигают величин от 150 до 250 МПа на глубине 55 мм. Вблизи поверхности катания (25 мм) наблюдается снижение остаточных напряжений от 150 – 200 МПа на неупрочненных колесах до 50 МПа и менее после упрочнения поверхности.

Произведена оценка остаточных напряжений ЭМА методом по высоте рельса и с боковой поверхности шейки рельса. Полученные значения напряжений (до -250 МПа) совпадают с результатами Калакуцкого-Закса-Давиденкова. Интегральная характеристика напряжений по высоте рельса может быть использована для оценки компенсирующих растягивающих напряжений в головке и подошве рельса.

Опробованная экспериментальная методика позволяет с необходимой точностью оценивать уровень остаточных напряжений, глубину зоны перехода сжимающих напряжений в растягивающие, толщину объекта контроля.

Работа выполнена при поддержке аналитической ведомственной целевой программы Минобрнауки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)» (Рег. номер: 2.1.2/12069).

ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ УПРУГИХ СВОЙСТВ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ МЕТОДОМ АКУСТОУПРУГОСТИ

Н.Е. Никитина, С.В. Казачек, А.В. Камышев

Нф ИМАШ РАН (wvs-dynamo@mail.ru), ООО «ИНКОТЕС» (avk-nn@mail.ru)

Во многих элементах конструкций, один из характерных размеров которых значительно меньше двух других, реализуется плоское напряженное состояние. Если материал конструкции можно считать изотропным или напряжения растяжения-сжатия действуют вдоль осей симметрии слабоанизотропного материала, то их величины можно определить экспериментально, используя ультразвуковые волны, распространяющиеся перпендикулярно плоскости действия напряжений:

$$\sigma_1 = K_1 \Delta_1 - K_2 \Delta_2,$$

$$\sigma_2 = K_1 \Delta_2 - K_2 \Delta_1.$$

где K_1 , K_2 - коэффициенты упругоакустической связи материала конструкции;

$\Delta_1 = \left(\frac{t_3 t_{01}}{t_1 t_{03}} - 1 \right)$, $\Delta_2 = \left(\frac{t_3 t_{02}}{t_2 t_{03}} - 1 \right)$ - акустические параметры, не зависящие от изменения

толщины элемента конструкции при деформации. Под определением акустических параметров понимается прецизионное измерение времен распространения трех типов волн, а именно, $t_1, t_2, t_3, t_{01}, t_{02}, t_{03}$ - двух сдвиговых, взаимно перпендикулярно поляризованных, и продольной волны, после и до приложения нагрузки.

Коэффициенты упругоакустической связи (КУАС) являются связующим звеном между акустическими параметрами и механическими напряжениями. Величины КУАС можно определить, нагружая образцы известной нагрузкой или вычислить, используя известные константы упругости второго и третьего порядков.

Здесь представлены результаты экспериментального определения значений КУАС трех типов трубных сталей (17Г1С, 09Г1ФБ и Х70) с различными значениями собственной акустической анизотропии, определяемой анизотропией упругих свойств материала. Образцы вырезаны из труб большого диаметра вдоль и поперек направления проката (оси трубы).

В процессе механических испытаний образцы подвергали одноосному растяжению при ступенчатых значениях нагрузки. Максимальное значение нагрузки не превышало 0,7 от предела текучести материала. Для каждого образца при каждом значении нагрузки выполнено прецизионное измерение времен распространения трех типов волн, распространяющихся перпендикулярно направлению нагружения: двух сдвиговых, взаимно перпендикулярно поляризованных, и продольной волны.

В экспериментах использован акустический стенд (на базе серийного прибора И2-26) и автоматизированный прибор ИН-5101А, разработанный фирмой «ИНКОТЕС», реализующие ультразвуковой эхо-метод неразрушающего контроля.

Результаты акустомеханических испытаний показали, что для определения напряжений в трубных сталях со значением собственной акустической анизотропии менее 1,5% достаточно провести акустомеханические испытания образцов, вырезанных вдоль оси трубы. Для сталей со значением этой величины более 3% необходимо проводить испытания образцов, вырезанных вдоль и поперек оси трубы.

При расчете напряжений в трубах по результатам прецизионных ультразвуковых измерений следует использовать уточненные алгоритмы, учитывающие разницу величин КУАС для напряжений, действующих вдоль и поперек направления проката трубной стали (оси трубы).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 10-08-01108).

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Н.Е. Никитина, А.В. Камышев, С.В. Казачек
Нф ИМАШ РАН (wvs-dynamo@mail.ru), ООО «ИНКОТЕС» (avk-nn@mail.ru)

В действующих магистральных и технологических трубопроводах обычно реализуется плоское напряженное состояние. Определение двухосных напряжений без разрушения материала можно осуществить на основе упругоакустического эффекта, с помощью упругих волн, распространяющихся по нормали к поверхности трубы.

Относительная величина изменения скорости ультразвука из-за возникновения напряжений, близких к пределу текучести, в стальных трубах не превышает 1%. Для надежного определения напряжений надо обеспечить измерения скоростей волн с погрешностью 0,1-0,01 процента. Согласно литературным данным, температурные коэффициенты скоростей продольных волн для основных конструкционных материалов имеют порядок 10^{-4} обратных градусов, то есть при повышении температуры на 1°C скорость уменьшается на 0,01 процента или даже более. Значит, температурные изменения, происходящие одновременно с изменением напряженного состояния трубопровода, могут повлиять на точность измерения напряжений.

Осевое σ_z и окружное σ_t напряжения по результатам прецизионных акустических измерений можно определить по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_z &= K_1\Delta_1 - K_2\Delta_2, \\ \sigma_t &= K_1\Delta_2 - K_2\Delta_1,\end{aligned}\tag{1}$$

где K_1, K_2 - коэффициенты упругоакустической связи трубной стали;

$\Delta_1 = \left(\frac{t_3}{t_1} \frac{t_{01}}{t_{03}} - 1 \right), \Delta_2 = \left(\frac{t_3}{t_2} \frac{t_{02}}{t_{03}} - 1 \right);$ t_1, t_2, t_3 - времена распространения сдвиговых и продольной волн (до и после возникновения напряжений). Продольные волны используются в расчетных алгоритмах (1) для учета изменения толщины материала при деформации. Акустические параметры Δ_1, Δ_2 будут зависеть от температуры, если скорости продольных и сдвиговых волн зависят от нее по-разному.

Нами проведены экспериментальные исследования влияния температуры стальных образцов трубной стали на времена распространения в них объемных волн. Прецизионные УЗ измерения осуществлены с помощью прибора ИН-5101А, разработанного фирмой «ИНКОТЕС». По результатам наших измерений, разница температурных коэффициентов для продольных и сдвиговых волн составляет величину $5 \cdot 10^{-5}$ град $^{-1}$.

Значения коэффициента K_1 , основного при определении напряжений, составляет в трубных сталях величину $-(1,2-1,3) \cdot 10^5$ МПа, поэтому изменение температуры на 1°C может дать ошибку при определении напряжений 6-8 МПа, что меньше чувствительности акустического метода в условиях натурных измерений. При изменении температуры на 5°C и более температурный фактор следует учесть и заменить в алгоритмах (1) величины $\frac{t_3}{t_{1,2}}$ на величины $\frac{t_3}{t_{1,2}}(1 + k_T \Delta T^{\circ})$, где $k_T = k_{T3} - k_{T1,2}$, а

$\Delta T^{\circ} = T^{\circ} - T_0^{\circ}$ - разница температур при проведении акустических измерений в напряженном и в начальном состояниях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (код проекта 10-08-01108).

ПРАКТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ОДНОМЕРНОЙ ОБРАТНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

В.А. Бархатов

Институт физики металлов УрО РАН, 620041, г. Екатеринбург, ул. С.Ковалевской, 18

Решение обратной задачи состоит в следующем. Эхосигналы, полученные в ультразвуковом дефектоскопе, подвергаются обработке с целью определения зависимости коэффициента отражения от расстояния. В одномерном случае эхосигналы $F(L)$ формируются следующим образом

$$F(L) = \int_l f(L-l)\rho(l)dl.$$

$f(l)$ - функция отклика точечного источника (ФОТИ). Это, в сущности, эхосигнал от отражателя малых размеров. $\rho(l)$ - функция распределения отражателей по дальности (ФРОД), зависимость коэффициента отражения от расстояния. Здесь, вместо времени t в качестве аргумента функций указано расстояние L . Время задержки сигнала и расстояние до отражателя связаны между собой через скорость звука.

Операция восстановления $\rho(l)$ также представляет собой интеграл свертки

$$\rho(l) = \int_l h(l-L)F(L)dl$$

$h(l)$ - функция обратного преобразования.

В докладе рассматривается способ синтеза функции обратного преобразования, приводятся результаты экспериментов, демонстрирующих эффективность данного подхода. Показано, что лучевая разрешающая способность ультразвукового преобразователя может быть улучшена в 3-4 раза, Рис.1.

Применение обработки посредством решения обратной задачи позволяет заменить амплитудный критерий на разбраковку по коэффициенту отражения. Такой подход является более прогрессивным и реалистичным поскольку восстановленная функция $\rho(l)$ уже практически не содержит интерференционных составляющих ультразвукового сигнала.

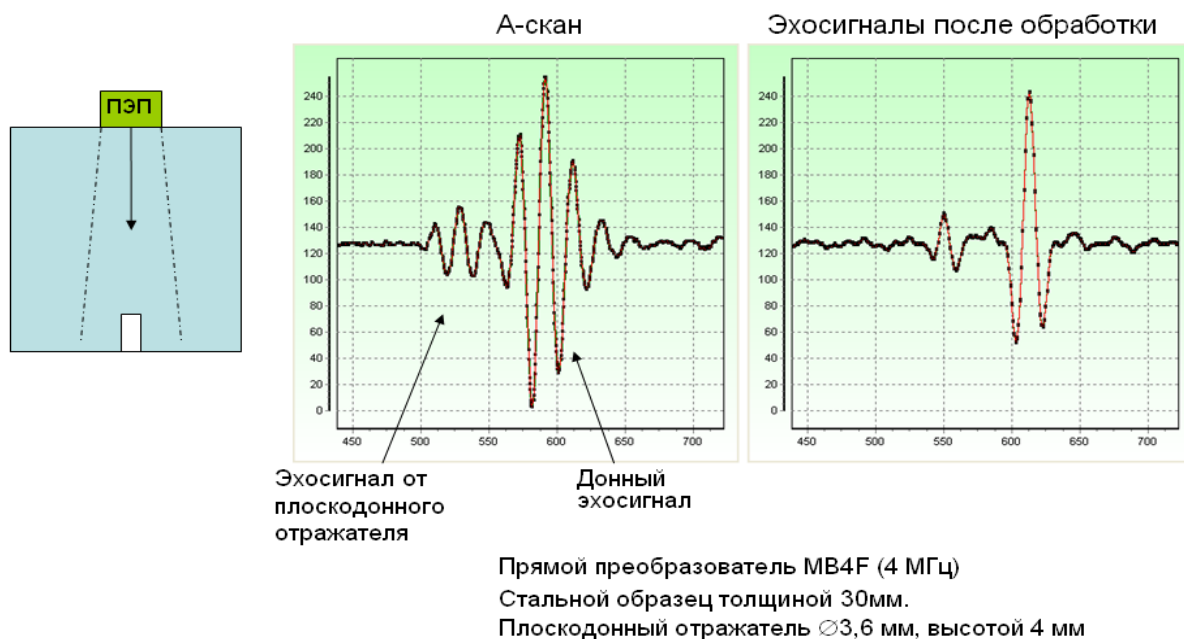


Рис.1. Пример обработки ультразвуковых эхосигналов

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛН ЛЭМБА, ВОЗБУЖДАЕМЫХ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛАСТИНАХ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

С.Ю. Гуревич, Ю.В. Петров, Е.В. Голубев

Южно-Уральский государственный университет, 454080, Челябинск, пр. им. Ленина, 76,
e-mail: sergur@susu.ac.ru

Представлен анализ решения системы уравнений динамической термоупругости для бесконечной металлической пластины, на поверхности которой поглощается короткий оптический импульс. Методами численного интегрирования получены Фурье-спектры нормальных колебаний упругой пластины, возбуждаемых импульсным лазерным излучением с учетом параметров различных металлов (алюминий, железо, никель и железо-никелевый сплав инварного состава). Форма оптического импульса выбрана в виде функции Гаусса, длительность импульса (по критерию e^{-1}) принималась равной 30 нс.

Показано, что форма спектров рассмотренных мод существенно изменяется, если учитывается изменение температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) в процессе поглощения оптического импульса в случае ферромагнитных металлов. Эффект определяется поведением температурной зависимости ТКЛР в окрестности равновесной температуры и заключается в смещении максимума спектра в сторону более высоких частот и его увеличении. Наибольшие изменения соответствуют точкам Кюри рассматриваемых ферромагнетиков.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЛАЗЕРНУЮ ГЕНЕРАЦИЮ ВОЛН ЛЭМБА В ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПЛАСТИНЕ

С.Ю. Гуревич, Ю.В. Петров, Е.В. Голубев

Южно-Уральский государственный университет, 454080, Челябинск, пр. им. Ленина, 76,
e-mail: sergur@susu.ac.ru

Ранее было показано, что при термоупругом механизме лазерной генерации ультразвука в пластинах из железоникелевого сплава инварного состава возникают симметричные волны и антисимметричные волны Лэмба низших номеров. При нагреве пластин вблизи температуры магнитного фазового перехода наблюдалось нелинейное увеличение амплитуды возбуждаемых акустических импульсов. Было установлено, что причиной увеличения является изменение температурного коэффициента расширения ферромагнетика. В данной работе продолжены работы по анализу температурной зависимости основных характеристик акустических импульсов – формы, максимальной амплитуды, длительности, частоты колебаний и скорости их распространения в пластине.

Генерация волн Лэмба в пластинах толщиной 0,60 мм и 1,50 мм осуществлялась импульсным лазером ЛТИ-403, работающим на длине волны 1064 нм в многомодовом режиме. Частота повторения импульсов 12,5 Гц, их длительность 30 нс, максимальная энергия – 300 мДж. Диаметр лазерного пятна 2,0 мм, среднее значение поверхностной плотности тепловой мощности лазерного излучения 1,0 МВт/см².

Регистрировались волны Лэмба методом водяного «клина» пьезоискателями с собственными частотами колебаний 0,60; 1,25 МГц. Визуализация, запись и анализ акустических импульсов, осуществлялись с помощью двухканального цифрового осциллографа GDS-2202. Для температурных исследований использовался внешний источник тепла в виде плоского электрического нагревателя.

Анализ полученных данных подтвердил нелинейное увеличение максимальной амплитуды возбуждаемых акустических импульсов за счёт изменения температурного коэффициента расширения ферромагнетика в среднем в семь раз. Заметных изменений формы импульсов, их длительности и частоты колебаний при нагревании пластин не наблюдалось.

Была разработана методика расчета средней скорости волн Лэмба как функции температуры. Из полученных зависимостей следует, что скорость симметричных и антисимметричных волн Лэмба в ферромагнитной пластине с увеличением температуры вплоть до точки фазового перехода «ферро-парамагнетик», линейно увеличивается примерно на 12 %. После фазового перехода скорости волн Лэмба уменьшаются. Изменение толщины пластин и частоты акустических колебаний на температурную зависимость скоростей существенного влияния не оказывают.

Результаты проведенных исследований можно использовать при разработке и создании средств и методов контроля тонкостенных изделий из ферромагнитных металлов с помощью волн Лэмба, возбуждаемых оптическим квантовым генератором.

ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КРУТИЛЬНЫХ ВОЛН ПРИ АКУСТИЧЕСКОМ КОНТРОЛЕ ЛИНЕЙНО-ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

С.А. Мурашов

На основе комплексного анализа теории и практики использования акустических волноводных методик неразрушающего контроля обоснована целесообразность использования при акустическом контроле линейно-протяжённых объектов нулевой крутильной моды колебаний, отличающейся отсутствием дисперсии скорости, малым затуханием и высокой чувствительностью к дефектам.

Разработана физико-математическая модель и предложен численный метод расчета процесса распространения крутильных волн в протяжённых объектах и их взаимодействия с дефектами, позволяющие определить скорость и коэффициент отражения крутильной волны от дефекта в зависимости от геометрии сечения, размеров и упругие свойства объекта, типа и геометрических параметров дефекта, рабочей частоты аппаратуры.

Теоретически и экспериментально исследованы зависимости скорости крутильной волны в насосно-компрессорной трубе от глубины модельных дефектов типа протира, разностенности и продольной трещины. Показано, что скорость крутильной волны линейно уменьшается с глубиной дефекта в диапазоне малых глубин и резко уменьшаются при приближении глубины дефекта к толщине стенки трубы. Показано, что при прочих равных условиях крутильная волна обладает более высокой чувствительностью к продольным трещинам труб, нежели прутков.

Показано, что использование в качестве информативных характеристик скорости, коэффициента отражения и коэффициента затухания крутильной волны позволяет оценить глубину дефекта типа протира, продольной трещины, разностенности, овальности в трубах и прутках с использованием номограмм скорость-протяженность-глубина.

Численным методом исследованы зависимости скорости крутильной волны в линейно-протяжённых объектах со сложным профилем сечения: круг, эллипс, шестигранник, квадрат, квадрат со скругленными углами, треугольник, лента, рельс, провод токоведущий. Оценены основные параметры контроля (величина мертвой зоны и разрешающая способность), показана возможность их улучшения на ~20% для объектов с треугольным профилем и более чем в 2 раза для пластин. Показано, что применимость аналитических формул скорости крутильной волны для простейших объектов ограничена для тонких пластин.

Оценена предельная чувствительность акустического контроля с использованием крутильных волн при контроле геометрии сечения протяжённого объекта, а также при отражении от моделей дефектов различного типа.

Разработанная методика расчёта позволяет теоретически исследовать процессы взаимодействия крутильных волн с дефектами различного типа и размеров в протяжённых объектах различной геометрии из различных материалов и может служить основой для дальнейшего развития новой технологии акустического контроля протяжённых объектов.

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований использованы для обоснования новых информативных параметров и методик контроля по скорости и затуханию при разработке акустического метода и оборудования для контроля насосно-компрессорных труб (дефектоскопа АДНКТ), внедрённого на участке ремонта насосных штанг и насосно-компрессорных труб ОАО «Белкамнефть» (с.Каракулино, Удмуртия).

Работа выполнена при поддержке аналитической ведомственной целевой программы Минобрнауки РФ «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)» (Рег. номер: 2.1.2/12069).

КОМПЬЮТЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА ДЕФЕКТОВ И МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЛИТЫХ ДЕТАЛЯХ

О.М. Огородникова

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, o.m.ogorodnikova@bk.ru

В данной работе для колесного диска, выполненного из алюминиевого сплава АК12, проведено совместное компьютерное моделирование тестовых испытаний на изгиб и технологии литья под низким давлением. Компьютерными методами выявлены усадочные дефекты и остаточные технологические напряжения в отливке. Диагностированы поля напряжений с учетом структуры металла и технологической специфики изготовления литой детали. Выявлено неоднородное распределение предельных механических характеристик в литейном сплаве. Показано, что технологические остаточные напряжения оказывают влияние на величину и распределение концентраторов напряжений в нагруженном состоянии.

В работе реализован оригинальный подход к совместному анализу технологий и эксплуатационных режимов. В начальный сеточный куб к подробной сетке детали добавлена с меньшей точностью сеточная модель для всех конструктивных частей пресс-формы, матрицы и системы охлаждения. В создании комплексной сеточной модели участвуют одновременно поверхности детали и отливки, поэтому на первом этапе в моделировании технологических процессов литья и в выявлении литейных дефектов присутствуют геометрия отливки и вложенная в нее геометрия детали. На следующем расчетном этапе конструкционному анализу и силовому нагружению подвергается только деталь без литейных уклонов и припусков на механическую обработку, отличающих геометрию отливки от геометрии детали, но с усадочными дефектами и остаточными напряжениями, которые были выявлены в отливке на технологическом этапе моделирования.

Отклонение расчетных значений температуры от экспериментально измеренных пирометром в момент раскрытия пресс-формы отличается не более чем на 7%. По результатам расчетов прогнозируется расположение горячих зон и усадочных дефектов в ступице, здесь же ожидается минимальное значение прочности (рис.1,а). Расчетное распределение остаточных напряжений в отливке: наибольшие напряжения наблюдаются на ободе; в ступице, где снижены прочностные характеристики, уровень остаточных напряжений нулевой. Расположение концентраторов напряжений существенно зависит от участия в расчете остаточных напряжений: с учетом остаточных литейных напряжений в литом колесе при виртуальном тестовом испытании на изгиб максимальные напряжения прогнозируются в ступице; без учета остаточных напряжений – спицах.

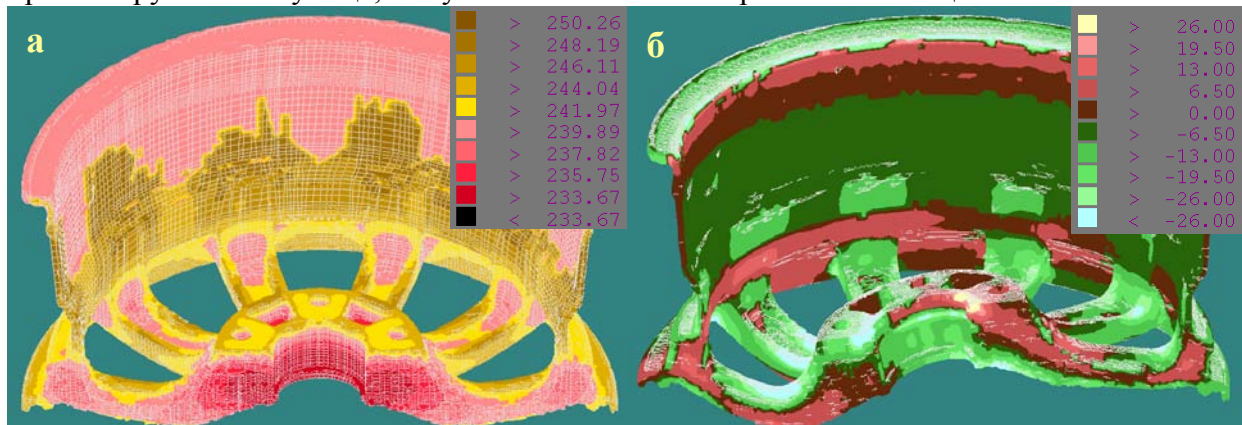


Рис.1. Расчетное напряженное состояние: а – распределение расчетного предела текучести (разброс значений составляет 20 МПа); б – напряжения в литом колесе при виртуальном тестовом испытании на изгиб с учетом остаточных литейных напряжений.

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРОЛЯ ПОЛЫХ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ ЛОПАТОК

¹С.В. Щербинин, ²Р.В. Сафиуллин, ²Р.Р. Мулюков, ¹А.Л. Филатов

¹Институт электрофизики УрО РАН, scher@iep.uran.ru,

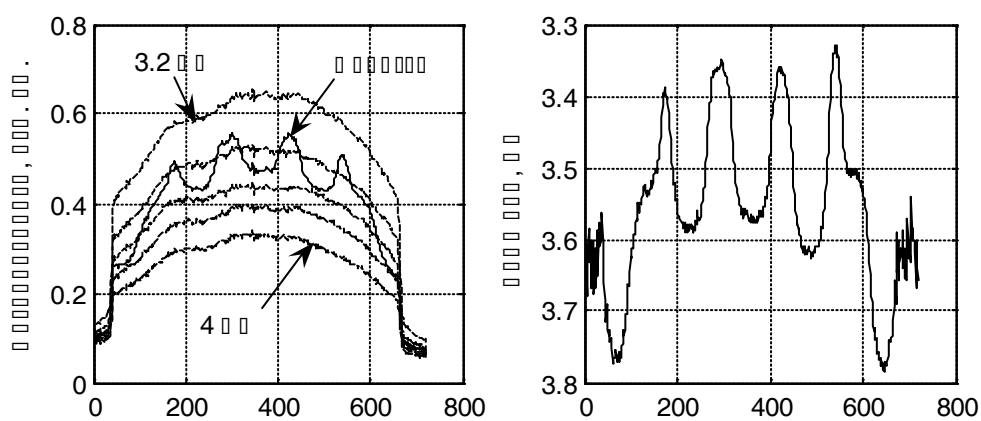
²Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, dr_rvs@mail.ru

Рентгеновские методы контроля находят широкое применение при контроле ответственных узлов аппаратов, предназначенных для работы в условиях высоких знакопеременных механических нагрузок. К таким изделиям, в частности, относятся вентиляторные лопадки. Они изготавливаются из титановых сплавов с помощью сварки давлением плоских заготовок, последующей гибки-крутки и окончательной формовки в условиях сверхпластичности. При такой технологии изготовления требуется обеспечить высокое качество сварных соединений заготовок.

Контроль заготовок с использованием рентгенотелевизионного комплекса не дает надлежащей информации о качестве сварки твердофазных соединений. В данной работе рассмотрен метод повышения чувствительности рентгеновского комплекса.

Предложенный метод базируется на компенсации нелинейных искажений, вносимых, в основном, рентгеновским электронно-оптическим преобразователем. Сущность метода заключается в сравнении получаемого изображения с ослаблением излучения в эталонных пластинах заданной толщины. Для каждой точки изображения находятся коэффициенты аппроксимирующей зависимости, вычисленной на основе ослабления интенсивности рентгеновского излучения в данном сплаве. Затем по полученной аппроксимирующей кривой находится соответствующая ей «толщина» объекта. Из значений «толщин» в каждой точке формируется новое изображение.

На рисунке слева изображена средняя горизонтальная линия изображения до обработки в сравнении с данными, полученными при просвечивании эталонных пластин толщиной от 3,2 до 4 мм с шагом 0,2 мм. На рисунке справа – линия того же участка изображения после обработки.



Следует отметить, что чувствительность контроля без обработки составляла порядка 10%. С использованием данного метода чувствительность улучшилась до 0,5%. Повышение чувствительности позволило не только повысить визуальный контраст получаемых рентгеновских образов, но и определять в исследуемых образцах дефекты в твердофазных соединениях.

КРИСТАЛЛЫ, СФОРМИРОВАННЫЕ ИЗ НАНОКРИСТАЛЛИТОВ В ПЛЕНКАХ И ОБЪЕМНЫХ ОБРАЗЦАХ ТВЕРДОГО ЭЛЕКТРОЛИТА НА ОСНОВЕ ZrO_2

В.Б. Малков³, В.Г. Пушин¹, А.В. Малков³, В.Н. Стрекаловский², С.В. Плаксин²,
О.В. Малков³

¹Институт физики металлов УрО РАН

²Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН

³ЗАО НПЦ «РОСНА»

e-mail: mvb@ihfe.uran.ru

Методами просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии выполнены исследования процесса образования кристаллов сформированных из нанокристаллитов в пленках и объемных образцах твердого электролита на основе диоксида циркония.

С помощью трансмиссионной электронной микроскопии и электронографии исследован процесс образования и роста упорядоченных нанокристаллических структур в пленках твердого электролита на основе ZrO_2 . Выявлены начальные стадии роста упорядоченных нанокристаллических структур в пленках твердого электролита на основе ZrO_2 (рис.1а). Как правило, процесс роста упорядоченных нанокристаллических структур приводит к формированию упорядоченных нанокристаллических объектов, имеющих правильную геометрическую форму (Рис1б). Электронограммы от упорядоченных нанокристаллических структур, имеющих правильную геометрическую форму, являются точечными, что указывает на монокристаллический характер нанокристаллитов, образующих данные структуры. Характер электронограмм от упорядоченных нанокристаллических структур указывает на высокую координационную и ориентационную упорядоченность нанокристаллитов их образующих.

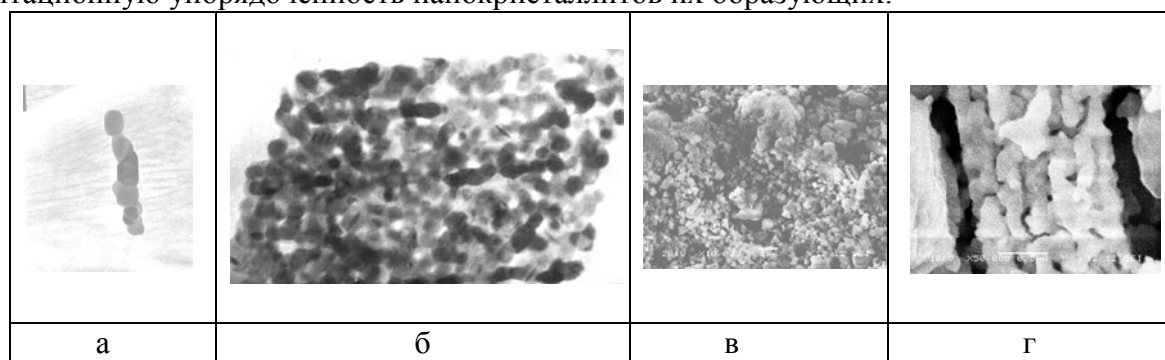


Рис.1 Электронно-микроскопические изображения упорядоченных нанокристаллических структур в пленках и объемных образцах твердого электролита на основе ZrO_2 .

С помощью сканирующей электронной микроскопии исследован процесс формирования и роста упорядоченных нанокристаллических структур в объемных образцах твердого электролита на основе ZrO_2 . Выявлены начальные стадии роста упорядоченных нанокристаллических структур (Рис.1в) в объемных образцах твердого электролита на основе диоксида циркония. Как правило, процесс образования и роста упорядоченных нанокристаллических структур приводит к формированию многослойных упорядоченных нанокристаллических объектов (Рис.1г).

Обсуждается общее название упорядоченных нанокристаллических объектов, обнаруженных в пленках и объемных образцах твердого электролита на основе ZrO_2 , – кристаллы сформированные из нанокристаллитов (Crystals From Nano).

ИНВЕРСИЯ РАЗМАГНИЧИВАЮЩЕГО КОЭФФИЦИЕНТА ПРИ ЛОКАЛЬНО НАМАГНИЧИВАНИИ

Ю.Я. Реутов

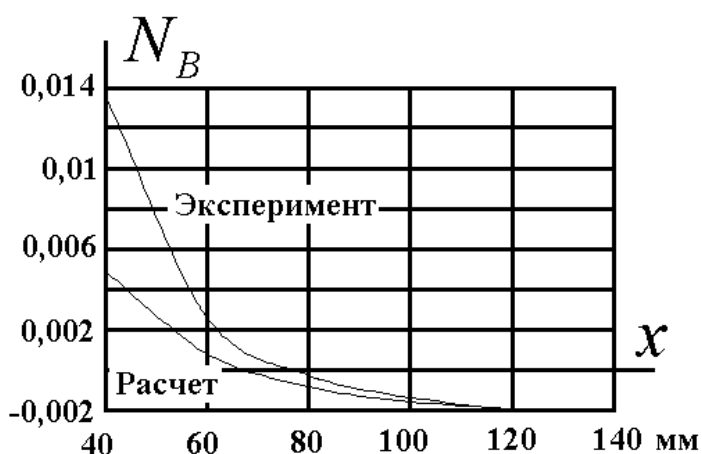
ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия, asija1@yandex.ru

Известно понятие размагничивающего коэффициента N , характеризующего возможности намагничивания предмета конечной длины первоначально однородным полем. До недавних пор считалось, что размагничивающий коэффициент может принимать значения от нуля до единицы. Работами В.А. Захарова с сотрудниками было показано, что в однородных полях, приближающих насыщение ферромагнетика, центральный размагничивающий коэффициент может принимать отрицательные значения.

Здесь сообщается о наблюдении отрицательного размагничивающего коэффициента (центрального) у ферромагнитного стержня, локально намагничиваемого слабыми полями. Исследовался феррит марки НН-400 в виде цилиндра длиной 140 и диаметром 8 мм. Он намагничивался вдоль длины двумя одинаковыми, симметрично размещенными, соединенными последовательно-согласно, локальными катушками, по которым пропусклся гармонический ток частотой 2 кГц. Для феррита намагничивание током такой частоты равносильно статическому намагничиванию. Индукция поля в центральном сечении стержня измерялась по ЭДС, наводимой в короткой измерительной катушке, размещенной посередине стержня. На приводимом рисунке изображены графики зависимости центрального (баллистического) коэффициента размагничивания N_B от расстояния x между центрами намагничивающих катушек. Кривая «эксперимент» соответствует результатам измерений, а кривая «расчет» - результатам численного моделирования в программе ELCUT. Из рисунка видно что, начиная с некоторого расстояния между намагничивающими катушками, коэффициент размагничивания принимает отрицательные значения.

Этот эффект объясняется возникновением на поверхности стержня, вблизи концов намагничивающих катушек, двух пар кольцевых магнитных полюсов (зарядов). Поле внешней пары полюсов направлено навстречу намагничивающему полю и ослабляет его. В то же время поле внутренней пары полюсов усиливает намагничивающее поле и в итоге приводит к инверсии размагничивающего коэффициента.

Обнаруженный эффект не только расширяет знания о процессах намагничивания ферромагнитных предметов, но и может найти практическое применение в измерительной технике и дефектоскопии.



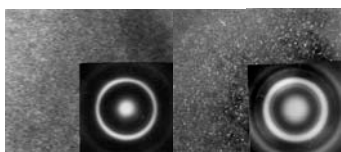
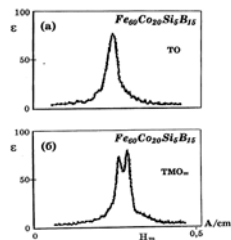
ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТНОГО СПОСОБА АТТЕСТАЦИИ НАНОСТРУКТУРЫ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ

Н.И.Носкова, А.Г.Лаврентьев, Г.С. Корзунин
Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия
noskova@imp.uran.ru

Целенаправленно формируя условия изготовления и режим технологических обработок можно влиять на структурное состояние и магнитную структуру расстекловывающихся аморфных сплавов, предназначенных для изготовления чувствительных элементов магнитоизмерительной аппаратуры, используемой в наукоемких технологиях. Для исследования были выбраны сплавы $Fe_{60}Co_{20}Si_5B_{15}$, $Co_{81,5}Mo_{9,5}Zr_9$, имеющие уникальные магнитомягкие свойства и высокую температурную и временную стабильность. Структуру аморфных сплавов исследовали методом просвечивающей электронной микроскопии на микроскопе JEM-200KX. Для выявления изменения тонкой структуры при расстекловывании аморфных сплавов был использован магнитный способ на основе шумов Баркгаузена.

Аморфные ленты сплавов $Fe_{60}Co_{20}Si_5B_{15}$ и $Co_{81,5}Mo_{9,5}Zr_9$ получали методом закалки расплава. Образцы для исследования имели форму полос. На рисунке представлены осциллограммы огибающих амплитуд шумов Баркгаузена (СБ) для образцов сплава $Fe_{60}Co_{20}Si_5B_{15}$ после отжига (ТО) при 300°C (а) и после термомагнитной обработки (ТМО) в постоянном магнитном поле при 400°C (б).

Одновременно были сделаны электронно-микроскопические снимки структуры аморфно-нанокристаллического сплава $Fe_{60}Co_{20}Si_5B_{15}$ после тех же самых обработок. Из осциллограмм (а) видно, что распределение СБ по полю подчиняется гауссовскому закону, что обусловлено наличием в образце мелких областей перемангничивания с критическими полями старта, распределенными случайным образом. Структурные исследования (в) показали, что сплав после отжига при 300°C находится в аморфном состоянии. После ТМО в постоянном поле на осциллограмме (б) наблюдаются несколько областей критических полей старта.



Электронно-микроскопические исследования (г) показали, что в структуре сплава после этой обработки имеются дисперсные выделения фаз Co_2Si и Fe_3Si , направление намагниченности в которых определяется направлением магнитного поля при ТМО. Аналогичные данные были получены для сплава $Co_{81,5}Mo_{9,5}Zr_9$. Приведенные результаты указывают на существование возможной корреляции между структурой сплава и выбранным параметром эффекта Баркгаузена. Впервые было показано, что распределение СБ по полю, по гауссовскому закону соответствует аморфной структуре, возникновение дисперсных выделений в сплаве приводит к появлению на осциллограмме нескольких областей критических полей старта, соответствующих выделениям в аморфной матрице. На основании обнаруженной корреляции между структурой сплава и выбранным информативным параметром эффекта Баркгаузена предложен способ контроля структурного состояния аморфно-нанокристаллических сплавов, на который был получен патент «Способ магнитной структуроскопии».

Предлагаемый способ позволяет следить за процессами структурообразования при переходе магнитомягких сплавов из аморфного состояния в нанокристаллическое, что обеспечивает создание оптимальной структуры. Сплавы, аттестованные подобным способом, могут более успешно работать в магнитометрической аппаратуре.

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНИВАНИЯ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛАБОМАГНИТНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

А.С. Соболев, В.И. Пудов

Институт физики металлов УрО РАН г. Екатеринбург, Россия

Слабомагнитные дисперсные системы с магнитной восприимчивостью в интервале от 10^{-3} до 10^{-1} ед. СИ (далее СДС) достаточно широко распространены в природе в основном в виде горных пород и минералов и находят применение в разнообразных технологических процессах. Магнитные свойства СДС служат физической основой магнитной разведки и методов контроля качества сырья, промежуточных продуктов и выпускаемой продукции. Аттестованные СДС могут так же использоваться в качестве материала калибровочных образцов, применяемых для настройки и калибровки измерителей магнитной восприимчивости, например, каппаметров. Поэтому проблема оценивания и нормирования магнитных характеристик СДС является достаточно актуальной, имеет научную и непосредственную практическую значимость. Стандартная процедура нормирования метрологических характеристик СДС достаточно сложна и, как правило, включает разработку методов, применение аттестованных средств и методик измерений. В этих условиях возникает задача поиска других более простых способов оценивания магнитных характеристик СДС, например, применением расчетных методов. Этот прием нашел применение для твердотельных объектов, ограниченных поверхностями второго порядка (шар, эллипсоид). Путем учета размагничивающих факторов (включая и структурные элементы объектов), удается применить расчетные методы для оценивания их магнитных характеристик. Однако СДС в отличие от твердотельных объектов не имеют постоянной формы и возможности расчетных методов в этом случае существенно снижаются. Поэтому становится важным установление условий их применимости.

В работе представлена расчетная модель для оценивания магнитных характеристик СДС в виде механической смеси из магнитной компоненты и немагнитного (парамагнитного) наполнителя, помещаемой в сферическую оболочку из парамагнитного материала. Была произведена оценка условий малости межчастичного взаимодействия по сравнению с взаимодействием частиц с намагничивающим полем. Как известно межчастичное взаимодействие зависит от концентрации C_v и магнитных характеристик магнитной компоненты в СДС. При больших концентрациях C_v , близких к 100%, размагничивающий фактор определяется формой оболочки. С уменьшением концентрации вклад формы оболочки в размагничивающий фактор уменьшается и при малых концентрациях C_v определяющим становится размагничивающий фактор формы магнитных частиц смеси.

Экспериментальная проверка модели была выполнена на аттестованных образцах, созданных на основе СДС, в виде порошкообразных смесей магнетита (магнитная компонента) и магнезита (немагнитный наполнитель) в диапазоне концентраций C_v от 0,5% до 2,3%. Было получено приемлемое согласие между расчетными и экспериментальными данными.

Применение данной модели позволяет создавать расчетным путем калибровочные образцы на основе СДС с магнитной восприимчивостью до 0,1 ед.СИ при относительной погрешности не более 5% для объемной концентрации магнитной компоненты C_v до 10%. Применение СДС с нормированными магнитными характеристиками в качестве калибровочных образцов позволяет достаточно простым методом сравнения и без использования дорогостоящих метрологических установок производить с приемлемой для практики погрешностью на уровне 15–20% оценивание магнитных характеристик широкого круга реальных дисперсных слабомагнитных материалов.

РАЗРАБОТКА И АТТЕСТАЦИЯ СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

А.С. Соболев, В.И. Пудов
ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, pudov@imp.uran.ru

Стандартные образцы (СО) являются одним из основных средств метрологического обеспечения неразрушающего контроля. При разработке СО необходимо с учетом особенностей метода контроля решить комплекс вопросов, связанных с установлением типа СО, выбором материала и исследованием его физических свойств, а также с разработкой методики изготовления и метрологической аттестацией СО [1]. В работе эти вопросы рассмотрены применительно к вихретоковым устройствам, используемых для входного контроля гранулированного фенопласта на допустимое содержание электропроводящей магнитной компоненты (ЭМК). Объектом контроля являются отбираемые и помещаемые в пластмассовый контейнер образцы фенопласта. Недопустимое содержание ЭМК в фенопласте контролировалось по индикаторному сигналу при нормированном коэффициенте усиления K_y в условиях прохождения образцов через датчик устройства.

В процессе исследований было установлено, что основной магнитной составляющей ЭМК являются соединения типа природного магнетита (СМ), которые в виде гранул можно извлечь из фенопласта посредством постоянного магнита $B=0,4$ Тл. Магнитная восприимчивость извлеченного СМ составила $\sim 10^{-2}$ ед.Си. В состав фенопласта входит также каолин с магнитной восприимчивостью на уровне $\sim 10^{-5}$ ед. Си. На основе этих данных была разработана методика изготовления образцов, типа СО состава, в виде механической смеси СМ и каолина с их регулируемым содержанием. Методом взвешивания был изготовлен материал образцов, который в количестве 4 г помещался в отдельный пластмассовый контейнер. Аттестация этих СО состава осуществлена по процедуре их приготовления. В результате был создан комплект из 10 образцов [2].

Аттестованные значения СО в виде относительного содержания D_B (в массовых долях СМ) в механической смеси СМ и каолина определяли из выражения

$$D_B \cong \left(\frac{M_B}{M_B + M_K} \right), \text{ где } M_B, M_K - \text{масса магнитного вещества (СМ) и каолина соответственно.}$$

Результаты приготовления материала СО, значения $\delta = D_B \cdot 100\%$ и K_y для комплекта СО приведены в таблице.

№ СО	№0-1	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9
M_K , г	1,79	2,21	2,44	2,77	3,05	3,32	3,475	3,634	3,769	4,03
M_B , г	2,20	1,80	1,55	1,28	0,97	0,71	0,511	0,368	0,211	0
δ , %	55	45	39	31	24	18	13	9,3	5,2	0
K_y	0,8	1,5	2,9	3,5	4,8	5,5	6,5	7,2	8,2	9,0

Апробация комплекта СО с оценением его временной стабильности была проведена в течение 2003-08 гг. на промышленном предприятии с последующим внедрением в технологию входного контроля сырья.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СИСТЕМЫ – ДАТЧИК ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.В. Волков, Л.Л. Безукладникова
ИФМ УрО РАН, г. Екатеринбург, pudov@imp.uran.ru

Современные достижения в области интегральной и микропроцессорной техники позволили перейти к созданию нового поколения нетиповых устройств с улучшенными техническими характеристиками и с качественно новой обработкой информации об исследуемых объектах, получаемой с помощью компьютеров в реальном времени.

Рассматриваемая система построена на базе микроконтроллера PIC18F2550 – 8-разрядного микроконтроллера, выпускаемой фирмой Microchip Technology. Для питания используется напряжение +5 В подаваемое по шине USB от компьютера. Встроенный 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь микроконтроллера поочередно с интервалом 200 мкс преобразует в двоичные коды отсчеты напряжения от микросхем. В качестве датчиков магнитного поля используются микросхемы фирмы SENTRON модели 1SA-1M. Подключенная через USB интерфейс система распознается как HID устройство и не требует установки драйверов. Скорость передачи данных 800 байт/сек.

Для увеличения точности определения расстояния до намагниченного объекта, используется 4 преобразователя (датчика) расположенные вдоль одной оси с расстоянием 25 мм друг от друга. Динамический диапазон 5 мТл. При подаче поля ± 40 Э выходное напряжение меняется от 1,27 до 3,85 В, то есть на 2580 мВ. Отсюда чувствительность $2580/80 = 32,25$ мВ/Э. Разработанная компьютерная программа позволяет в реальном времени контролировать напряженность магнитного поля исследуемого объекта.

Для оценки чувствительности холловских датчиков разработана испытательная установка, состоящая из: регулируемого источника постоянного тока Б5–9, системы реостатов, амперметра М1107, соленоид с постоянной 200 Э/А. Методика оценки чувствительности состоит в следующем. Исследуемые датчики помещаем в соленоид и включаем источник питания Б5–9 (замыкаем ключ). Затем с интервалом в 50 мА увеличиваем ток, пропускаемый через соленоид и считываем показания на выходе АЦП. Операции повторяем в диапазоне от 0 до 500 мА.

Линейность показаний датчиков наблюдается в диапазоне от 0 до 60 Э (см. рис. 1). Из экспериментальных данных следует, что в диапазоне изменения напряженности магнитного поля нелинейность характеристики оценивается в пределах не более 2 %.

В случае превышения этого предела, программа автоматически исключает показания перегруженного датчика, расчет параметров и расстояния идет по оставшимся 3 микросхемам. Измерение производится по направлению продольной оси искомого объекта. Чувствительность датчиков позволяет измерять расстояние в диапазоне от 20 до 200 мм. Точность определения расстояния ± 10 мм. Например, для расширения диапазона измерения расстояния до исследуемого ферромагнитного объекта можно использовать феррозондовые преобразователи с градиентометрической схемой включения.

Таким образом, представленная методика оценки чувствительности может быть распространена на достаточно широкий круг нетиповых устройств.

Работа поддержана проектом Президиума РАН № 09-П-2-1001.

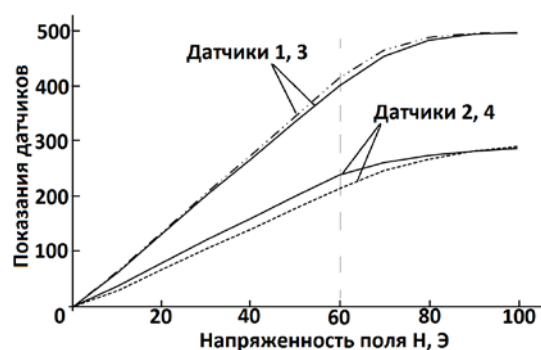


Рис. 1. Градуировочная характеристика датчиков

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОВ ПРИ СКРУЧИВАНИИ

Е.И. Зайкин, Н.В. Котова
Сибирский государственный индустриальный университет (г. Новокузнецк),
e-mail: nataly.kot@mail.ru

Прочностные характеристики металлов обычно получают при так называемых статических испытаниях. Последние характеризуются низкой скоростью деформации ($3 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-2}$ 1/сек) и комнатной температурой. Однако при разработке технологических процессов обработки металлов давлением следует использовать данные по сопротивлению деформации, полученные при температурно-скоростных условиях, соответствующих реальным процессам такой обработки.

Коллективом студентов и сотрудников кафедры ТиАКШП ГОУ ВПО «СибГИУ» создана машина для испытаний на скручивание с изменением скорости скручивания от 67 до 3000 мин⁻¹. Конструкция машины позволяет скручивать образцы с постоянной скоростью, заданной для данной серии экспериментов.

Испытания проводились при температурах от 900 до 1200°С через каждые 100°С. Размер образца: диаметр 6мм, длина рабочей части 30 мм. Исследуемые материалы: углеродистая сталь Ст3, легированные стали 20Х23Н18, 08Х18Н10Т.

При скручивании в качестве прочностной характеристики металла фиксировался крутящий момент, необходимый для деформации образца. Запись крутящего момента производилась по сигналу рабочего датчика машины, который фиксировался на осциллографе.

Сопротивление деформации легко рассчитывается по моменту скручивания:

$$\sigma_{\varepsilon} = \frac{12\sqrt{3M_{кр}}}{\pi d_0^3}$$

где $M_{кр}$ – момент скручивания,
 d_0 – исходный диаметр образца.

Установлено, что пластичность зависит от марки стали, скорости скручивания и температуры. Максимальная пластичность исследуемых сталей наблюдается при скоростях скручивания от 550 до 1600 мин⁻¹ (соответствует скоростям деформации от 1,5 до 4 с⁻¹). Из этого следует, что максимальные степени деформации этих сталей могут быть достигнуты при обработке металлов давлением на кривошипных прессах, на блюминге и на крупносортовых станах.

Таблица 1 – Смещение максимума пластичности в зависимости от температуры

Скорость скручивания, соответствующая максимальной пластичности, мин ⁻¹			
Температура, °С	Марка стали		
	Ст3	08Х18Н10Т	20Х23Н18
900	570	700	18
1000	650	850	18
1100	1200	1200	560
1200	1600	1550	800

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УПРУГОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПО ВЕЛИЧИНЕ ИЗМЕРЯЕМОЙ ТЕРМО-ЭДС

Ю.П. Кочкин, А.Ю. Солнцев, С.Г. Шевченко
ГОУ ВПО «МГТУ» Институт энергетики и автоматики, каф. физики
sav@magtu.ru

В данной работе исследовались особенности зависимости термо-э.д.с., обусловленной упругой деформацией стальных образцов при растяжении, на образцах разного химического состава и с разным исходным механическим состоянием. Для исследований использовалась установка, включающая в себя блок механического растяжения образца, блок измерения удлинения образца и блок измерения термо-э.д.с. Разность температур в продольном и поперечном направлениях в образце образуется горячим электродом, который находится в тепловом и электрическом контакте с поверхностью растягиваемого образца. Установка позволяет одновременно производить измерение усилия растяжения, удлинения деформируемого образца, термо-э.д.с. в продольном и поперечном направлении образца и контролировать температуру нагрева горячего электрода. Величина термо-э.д.с., обусловленная упругой деформацией, измерялась как разность термоэлектрических сигналов в нагруженном и ненагруженном состоянии образца.

Для исследования использовались образцы, вырезанные из листовой углеродистой стали (содержание углерода 0,1-1,3%) толщиной 0,7-0,8 мм, длиной 120-125 мм, шириной 25 мм. Образцы подвергались холодной прокатке с разными степенями обжатия для создания разного уровня механических свойств.

Исследования, проведенные ранее на этой установке, показали, что зависимости термо-э.д.с. от упругих напряжений, измеренных в продольном и поперечном направлениях в образце при его растяжении, имеют приблизительно линейный характер с разным наклоном. Это дает принципиальную возможность определять (контролировать) величину упругих напряжений по разности этих термо-э.д.с. Текущие исследования показывают, что для образцов низкоуглеродистых сталей (0,1-0,3% углерода) при их растяжении до ~4 мм термо-э.д.с., обусловленная упругой деформацией, крайне незначительна и поэтому трудно измеряема. Для образцов с содержанием углерода 0,5-1,3% и с высокими исходными механическими свойствами эта область нечувствительности термо-э.д.с. к упругой деформации находится при удлинении растягиваемого образца до ~1,5 мм. Т.е. контроль величины упругих напряжений в растянутом образце по разности термо-э.д.с. в продольном и поперечном направлениях возможен только при достаточно уровне этих напряжений.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЦЕЛЬНОКАТАНОЕ КОЛЕСО ВАГОНА

В.Ф. Новиков, К.Р. Муратов, В.В. Прилуцкий

Создание датчика силы способного фиксировать нагрузку на колесо вагона не потеряло своей актуальности. Косвенное определение силы действующей на вагон с помощью акселерометров, сильно усредняет эффект и не позволяет с необходимой точностью адресно определять силу воздействия ударных нагрузок на стыках рельс, динамику нагружения при колебаниях вагона, влияние ветровой, дождевой, снеговой нагрузок на поворотах, неровностях дорог и т.п.

Целью работы явилось разработка устройства для определения силового воздействия на колесо. За основу взято магнитоупругое свойство материала колеса, заключающееся в том, что при воздействии нагрузки на остаточно намагниченный ферромагнетик величина остаточного поля снижается до некоторого значения (эффект деформационного размагничивания). Последующие циклы нагружения до величин равных или меньших первому циклу практически идут по установившемуся циклу близко к линейному (пьезомагнитный эффект остаточно намагниченного состояния).

Измерительная система на колесе представлена на рисунке 1. В роли намагничивающего устройства служат постоянные магниты, которые намагничивают диск колеса в виде двух полос разной направленности по ориентации. Благодаря тому, что намагничивание осуществляется в разных направлениях, происходит компенсация воздействия внешних магнитных полей на результаты измерений. При вращении колеса вагона осуществляется его нагружение.

Дифференциально включенные датчики 1 и 3 измеряют изменение напряженности магнитного поля до и после воздействия нагрузки, возникающей при повороте колеса на 90° или дополнительной нагрузки, например, возникающей в колесе в момент его контакта со стыком рельса. Дифференциально включенные датчики 2 и 3, определяют величину нагрузки на колесо, преобразуемую по пьезомагнитному эффекту остаточно намагниченного материала. Чувствительность первого преобразования выше, однако оно не линейно, тогда как пьезомагнитный эффект практически линейно зависит от величины нагрузки. Устройство может быть применено на испытательных вагонах для контроля качества железной дороги, особенностей ее эксплуатации, контроля ударных нагрузок на дефектное колесо или стыках рельс, исследования динамики нагружения при колебаниях вагона, ветровой нагрузки, нагрузки на поворотах неровностях дороги. Имеются определенные трудности, заложенные в физике предлагаемого преобразователя. Это влияние вихревых токов на намагничивание и размагничивание, обусловленное скоростью вращения колеса, и влияние зазора между металлом колеса и датчиком на результаты измерений. Однако просматриваются и пути уменьшения влияния мешающих факторов.

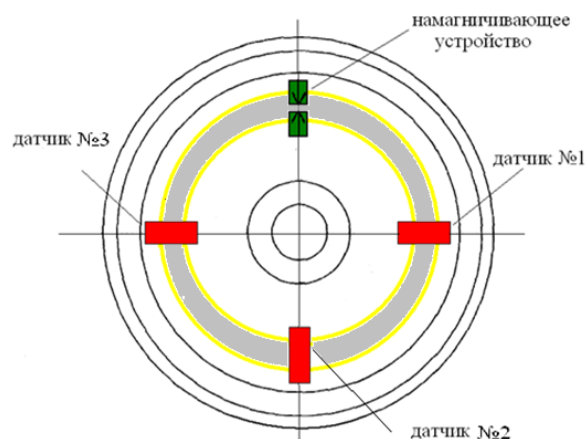


Рис.1 - Расположение датчиков и намагничивающего устройства при проведении контроля силового воздействия на колесо.

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДИАГНОСТИКИ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

И.Т. Скурту

г. Минск, ИПФ НАН Беларуси, tisotta@tut.by

Распространенной причиной выхода трансформаторов из строя являются витковые замыкания в обмотке. К достаточно частым дефектам можно отнести также образовавшийся зазор между частями витого магнитопровода и расшивку пластин в шихтованном магнитопроводе, в значительной степени схожие по своему влиянию на электрические параметры трансформатора.

Как показали исследования, одной из достаточно информативных характеристик, отражающих состояние трансформатора, является петля, параметрически задаваемая током и напряжением первичной обмотки, которая может быть получена при испытаниях в режиме холостого хода (Рис. 1).

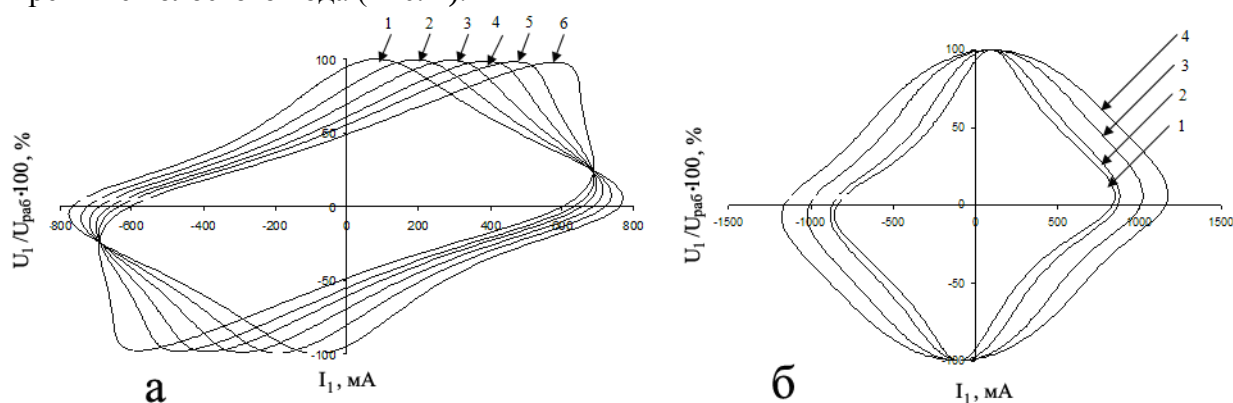


Рисунок 1 - а) зависимости характера петли U_1-I_1 при рабочем напряжении на первичной обмотке от количества КЗ витков: 1 – без дефекта; 2 – 1 КЗ виток;; 6 – 5 КЗ витков; б) зависимость характера петли U_1-I_1 при рабочем напряжении на первичной обмотке от ширины d зазора: 1 – без дефекта; 2 – $d=10$ мкм;; 4 – $d=30$ мкм.

Технологический разброс параметров (магнитных характеристик сердечников) трансформаторов может достигать 30-40 %. Петлевая вольт-амперная характеристика для трансформаторов одного вида имеет области повышенной стабильности, использование состояния которых в качестве диагностической информации, позволяет в значительной мере отстроиться от факторов технологического разброса. В частности, для дефекта в виде короткозамкнутого витка к таким областям относятся окрестности экстремумов напряжения холостого хода. В проведенных экспериментах вероятность идентификации одного КЗ-витка на фоне влияния технологического фактора составляла около 90 %.

Изложенные результаты, как и более широкие исследования, проведенные в работе, показывают возможность использования петель U_1-I_1 , задаваемых током и напряжением первичной обмотки в режиме холостого хода для испытания трансформаторов. При этом диагностической характеристикой может быть как форма петли в целом, так и её параметры, например, значения тока холостого хода в точке пересечения петли с осью абсцисс, сдвиг максимума (минимума) петли относительно её максимума (минимума) при отсутствии дефекта и др. Важно то, что различные дефекты воздействуют на петлю по-разному. Это принципиально позволяет отслеживать по характеру её деформации не только степень развития того или иного дефекта, но и идентифицировать его вид.

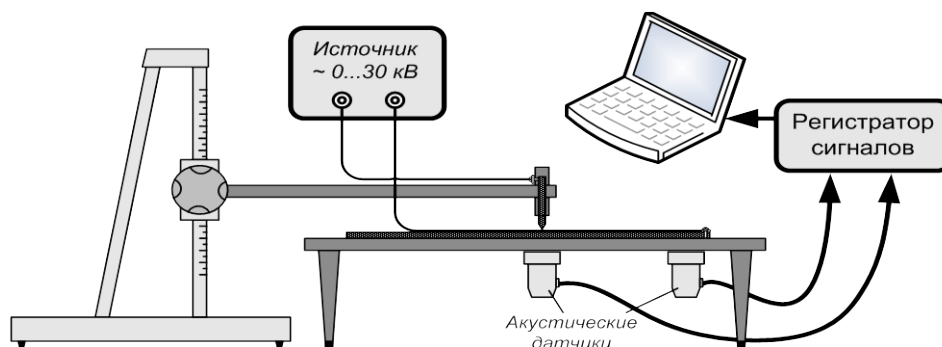
ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

С.М. Коробейников, М.В. Вечеркин
Магнитогорский Государственный Технический Университет

Одним из перспективных направлений диагностики состояния высоковольтного оборудования под рабочим напряжением является регистрация и анализ акустических сигналов частичных разрядов (ЧР). В отличие от электрических, акустические сигналы свободны от многочисленных электромагнитных помех, распространяющихся по сети и оказывающих существенное влияние на точность конечного результата.

Однако к настоящему времени отсутствуют общепризнанные методики оценки состояния оборудования, основанные на анализе акустических сигналов ЧР. Это обусловлено рядом проблем, главными из которых являются: неопределенность частотного и динамического диапазонов акустических сигналов ЧР; отсутствие четких критериев их идентификации. Для решения данных проблем необходимы многочисленные исследования в лабораторных условиях, с применением высокочувствительной широкополосной аппаратуры.

На рисунке приведена структура лабораторной установки, позволяющей моделировать различные виды ЧР в воздухе или жидкости и регистрировать создаваемые ими акустические сигналы.



Конструкция установки позволяет подключать различные системы электродов: «острие–плоскость», «острие–острие», «проводник–плоскость» и др. Тем самым имеется возможность создавать различные виды ЧР: скользящий разряд, корону, локальный пробой.

Для создания высокого напряжения промышленной частоты используется схема «автотрансформатор – разделительный трансформатор – повышающий трансформатор». Такая структура обеспечивает гальваническую развязку от сети и позволяет регулировать выходное напряжение в широком диапазоне.

Сигналы с акустических датчиков подаются на четырехканальный анализатор, созданный на базе модуля АЦП с частотой дискретизации до 1,5 МГц. Для предварительных оценок сигнала может быть использован цифровой широкополосный осциллограф.

Данная лабораторная установка может быть использована не только для изучения ЧР, но и как учебно-лабораторный стенд при подготовке кадров в области приборостроения и неразрушающего контроля.

СТРУКТУРНАЯ И ФАЗОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РЕЛАКСАЦИОННОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ СТАЛЕЙ

С.Г. Сандомирский

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, sand@iaph.bas-net.by

Основными магнитными параметрами сталей, чувствительными к их структуре, являются коэрцитивная сила H_C и остаточная намагниченность M_R . Фазочувствительной магнитной характеристикой является намагниченность M_S насыщения. В последнее время в как и структуро-, и фазо- чувствительный параметр используют релаксационную намагниченность M_{Hr} . В [Контроль. Диагностика, 2010, № 5, с.8 – 11; Метрология, 2010, № 3, с.33 – 41] аналитически установлена и экспериментально подтверждена связь M_{Hr} сталей с их M_R и M_S :

$$M_{Hr} \approx \frac{4}{3} M_R (1 - M_R/M_S)^2 \quad (1)$$

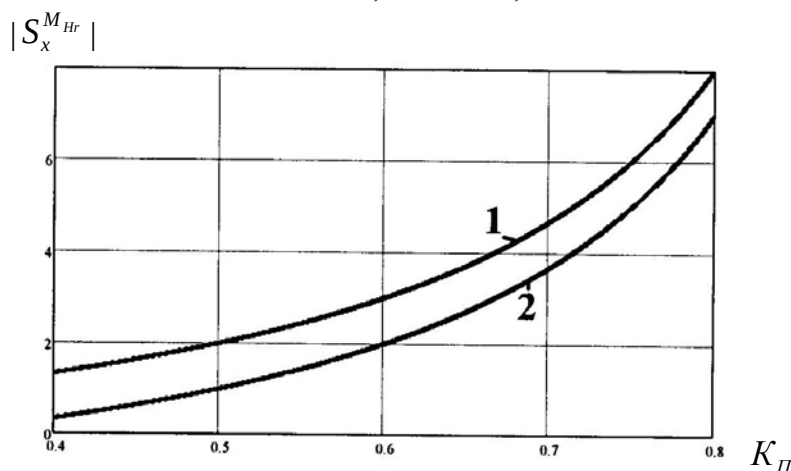
Для анализа структурной и фазовой чувствительности M_{Hr} воспользуемся чувствительностью $S_x^{M_{Hr}}$ величины M_{Hr} к параметру x (которым могут быть M_S или M_R):

$$S_x^{M_{Hr}} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta M_{Hr} \cdot x}{\Delta x \cdot M_{Hr}} = \frac{x}{M_{Hr}} M'_{Hr x}, \quad (2)$$

где ΔM_{Hr} – изменение релаксационной намагниченности ферромагнитного материала, соответствующее изменению Δx параметра x при постоянстве другого параметра; $M'_{Hr x}$ – производная M_{Hr} по x . Чувствительность $S_x^{M_{Hr}}$ показывает, в какой степени изменение x вызывает изменение M_{Hr} . Из (2) с учетом (1) получим [Металлы, 2011, № 2, с. 92 – 95]:

$$S_{M_R}^{M_{Hr}} = (1 - 3K_{II})/(1 - K_{II}); \quad S_{M_S}^{M_{Hr}} = 2K_{II}/(1 - K_{II}), \quad \text{где } K_{II} = M_R/M_S \quad (3)$$

На рисунке представлены зависимости $|S_x^{M_{Hr}}(K_{II})|$ при $x = M_S$ (1) и $x = M_R$ (2) в практически важном диапазоне изменения $0,4 \leq K_{II} \leq 0,8$.



Чувствительность $S_{M_R}^{M_{Hr}}$ величины M_{Hr} к структурочувствительному параметру M_R отрицательна и с увеличением K_{II} возрастает по модулю от 0,4 до 7. Чувствительность $S_{M_S}^{M_{Hr}}$ величины M_{Hr} к фазочувствительному параметру M_S положительна и с увеличением K_{II} возрастает от 1,6 до 8. Для любого K_{II} верно тождество

$$S_{M_S}^{M_{Hr}} + S_{M_R}^{M_{Hr}} \equiv 1 \quad (4)$$

ОТСТРОЙКА ОТ ВЛИЯНИЯ ЗАЗОРА ПРИ ПОЛЮСНОМ НАМАГНИЧИВАНИИ В МАГНИТНОМ СТРУКТУРНОМ АНАЛИЗЕ

С.Г. Сандомирский

Объединенный институт машиностроения Беларуси, sand@iaph.bas-net.by

Распространенным методом контроля изделий по результатам косвенного определения коэрцитивной силы H_C является метод «точечного полюса» [Дефектоскопия, 2006, № 9, с. 36 – 64]. В работе на основе результатов исследований распределения поля объекта при полюсном намагничивании и анализа влияния зазора при намагничивании [В мире НК, 2011, № 1, с.12 – 17] разработан способ отстройки от влияния зазора при полюсном намагничивании в магнитном структурном анализе при одностороннем доступе к объекту контроля [Патент Республики Беларусь № 9627].

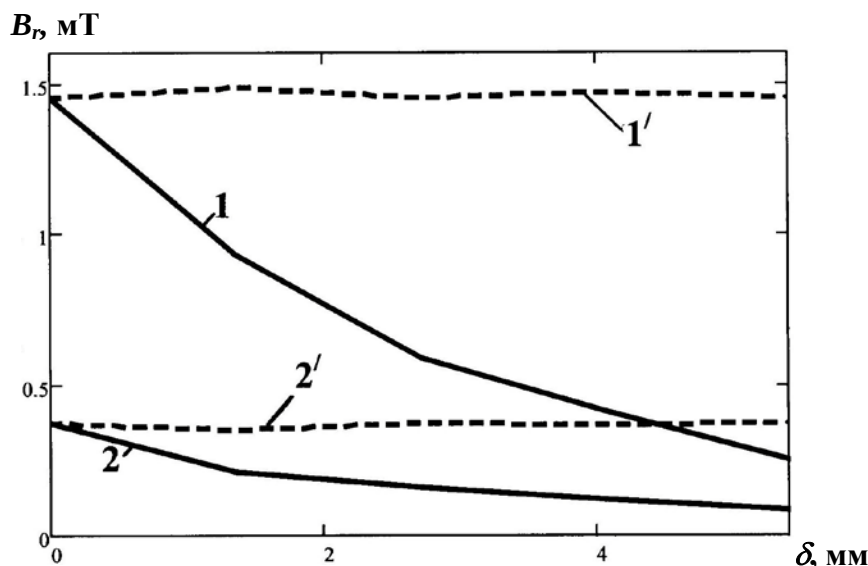
Перед проведением контроля на любом годном изделии определяют: H_0 , H_1 и H_2 – параметры поля остаточной намагниченности при нулевом зазоре и с зазорами δ_1 и δ_2 соответственно ($\delta_1 < \delta_2$); B_0 , B_1 , B_2 и B_∞ – максимальную индукцию при намагничивании изделия при нулевом зазоре, с зазорами δ_1 , δ_2 и на удалении от изделия.

После этого на контролируемом изделии при произвольном зазоре δ измеряют индукцию B под полюсом постоянного магнита при намагничивании и параметр H поля от остаточной намагниченности. Результирующий параметр $H_{рез}$ поля остаточной намагниченности определяют по выражению

$$H_{рез} = H \left[1 + \left(\frac{H_0}{H_1} - 1 \right) G^{\frac{n}{m}} \right], \quad (1)$$

где $G = \frac{(B_0 - B)(B_1 - B_\infty)}{(B_0 - B_1)(B - B_\infty)}$; $n = \ln \frac{H_0/H_2 - 1}{H_0/H_1 - 1}$; $m = \ln \frac{(B_0 - B_2)(B_1 - B_\infty)}{(B_0 - B_1)(B_2 - B_\infty)}$.

Результаты реализации известного (1, 2) и разработанного (1', 2') способов для контроля свойств листов из сталей 65Г (1, 1') и 3 (2, 2') сопоставлены на рисунке.



За счет снижения в 20 – 50 раз влияния непостоянства зазора между преобразователем и изделием на результаты контроля свойств изделия обеспечивается повышение достоверности контроля.

АКУСТИЧЕСКИЕ ПОЛЯ НЕОДНОРОДНЫХ ВОЛН

Х.Б. Толипов

Южно-Уральский государственный университет, E-mail: thb@susu.ac.ru

Общая тенденция развития акустических методов контроля и диагностики связана с глубоким изучением изменений пространственно-временной структуры поля, вызванных особенностями распространения ультразвуковых колебаний в контролируемой среде. Структура акустического поля неоднородных волн во многом определяется анизотропными свойствами упругой среды. Одной из широко известной является волна Рэлея, структура которой отражает анизотропию приповерхностной области полупространства. Эту волну можно представить в виде двух плоских объемных волн с волновыми векторами, направленными в глубину среды, но с параллельным к поверхности полупространства вектором фазовой скорости.

Амплитуды смещений волны Рэлея, состоящие из продольных и сдвиговых колебаний

$$U_x = A[k \exp(-qz) - ps \exp(-sz)],$$
$$U_z = -A p i [k \exp(-sz) - q / p \exp(-qz)],$$

$$q_r = \sqrt{k_r^2 - k_t^2}, \quad s_r = \sqrt{k_r^2 - k_t^2}.$$

строго говоря, принимают комплексные значения. Если амплитуда горизонтального смещения принимает действительное значение, то амплитуда вертикального смещения выражается чисто мнимым числом, свидетельствующим о 90-градусном сдвиге фазы.

Здесь важно напомнить, что продольные и сдвиговые колебания имеют разную природу, и представить в реальности сложение этих колебаний не представляется столь очевидным.

Поэтому вопрос о структуре волны Рэлея требует более внимательного рассмотрения. Отражение объемной акустической волны от плоскости приводит к возникновению и продольных, и сдвиговых колебаний, распространяющихся затем отдельно под разными углами от поверхности. Уменьшение угла падения акустической волны приводит к возрастанию скорости возмущений вдоль поверхности. При этом также изменяется угол между волновыми нормальными продольной и сдвиговой составляющих. С понижением скорости возмущений до рэлеевской этот угол приближается к 45°. Согласно законам теории упругости при этом угле нормальные напряжения переходят в сдвиговые, свидетельствующие о связанности продольной и сдвиговой составляющих волны Рэлея.

Отметим еще одну важную деталь, что амплитуда вертикального смещения на поверхности получается домножением горизонтальной амплитуды на коэффициент трансформации p (в этом можно убедиться, если учесть что $ps = q / p$). Следовательно, колебания продольных колебаний происходят вдоль поверхности, а сдвиговых – по глубине. Если учесть, что преобразование одних волн в другие происходит со сдвигом фаз в 90°, отражая факт взаимного превращения волн друг в друга, то это взаимное переизлучение изменяет распределение энергии в горизонтальной и вертикальной смещениях. Поэтому, если с одной стороны некоторое количество энергии сдвиговых колебаний в горизонтальных смещениях «уходит» в продольные колебания вертикального смещения, то с другой стороны такое же количество энергии должно «переходить» из колебаний вертикального смещения в горизонтальные, осуществляя, таким образом, обмен энергией между волновыми движениями.

1. Сертификация персонала по неразрушающему контролю в ижевском государственном техническом университете (В.В. Муравьев)	3
2. Мониторинг стресс-коррозионной дефектности магистральных газопроводов западной Сибири (С.А. Бабкин, Г.С. Корзунин, А.Ф. Матвиенко)	4
3. ЭМА сканер - дефектоскоп с импульсным подмагничиванием для контроля трубопроводов (Ю.Л. Гобов, А.В. Михайлов, Я.Г. Смородинский)	5
4. Комплекс для измерения параметров пьезопреобразователей (Р.Р. Динисламов, А.В. Мироненко)	6
5. Сенсоры магнитных полей на основе магнитоэлектрических композитных материалов (М.В. Ронкин, А.П. Носов, И.В. Грибов, Н.А. Москвина, Т.С. Карпова, Е.В. Владимирова, В.Г. Васильев)	7
6. Разработка метода локального контроля содержания ферромагнитных включений менее одного процента в аустенитных жаропрочных сплавах (М.Б. Ригмант, Д.И. Давыдов, Н.Н. Степанова, А.П. Ничипурук, Н.В. Казанцева)	8
7. Дефектометрия поверхностных дефектов с использованием нормального подмагничивающего поля (Ю.Л. Гобов, Ю.Я. Реутов, А.В. Грамматин, А.В. Волков, П.А. Агзамова)	9
8. Устройство для локального измерения ферромагнитной фазы материалов (Ю.Л. Гобов, А.В. Михайлов, А.П. Новослугина)	10
9. Магнитоупругий эффект в ферромагнитных сталях при разгрузке после пластического растяжения (В.Г. Кулеев, Т.П. Царькова)	11
10. Влияние на величины магнитных параметров сталей пластического растяжения и последующей разгрузки (В.Г. Кулеев, Т.П. Царькова, А.П. Ничипурук, В.И. Воронин)	12
11. Оценка относительного количества остаточно сжатых зерен в сталях после их пластического растяжения по изменению остаточной намагниченности (В.Г. Кулеев)	13
12. Оценка степени упругой и пластической деформации низкоуглеродистых сталей приставным преобразователем с ортогональным перемагничиванием (А.П. Ничипурук, А.Н. Сташков, М.С. Огнева)	14
13. О контроле упругого и пластического деформирования трубных сталей растяжением (К.В. Костин, Т.П. Царькова, А.П. Ничипурук, Я.Г. Смородинский)	15
14. Влияние упругих деформаций сжатием, растяжением, кручением и гидростатическим давлением на магнитные характеристики сталей 11ХНЗД и 15ХН4Д (Э.С. Горкунов, С.М. Задворкин, А.Н. Мушников)	16
15. Определение уровня прочностных свойств спеченных материалов на основе железа магнитными методами (Э.С. Горкунов, Ю.В. Субачев, С.М. Задворкин, А.И. Ульянов)	17
16. Оптимизация параметров осесимметричного электромагнита на основе 3d-моделирования магнитного потока в массивных ферромагнитных объектах (В.Н. Костин, О.Н. Василенко, Г.В. Бида)	18
17. Магнитный контроль склонности к трещинообразованию литых прокатных валков из белого чугуна (Г.В. Бида, О.В. Нестерова)	19
18. Совершенствование неразрушающего метода неразрушающего контроля склонности стального проката к хрупкому разрушению (Г.В. Бида)	20
19. Поле вблизи намагниченного предмета (Ю.Я. Реутов, В.И. Пудов,	

А.В. Волков)	21
20. Цифровой феррозондовый магнитометр с питанием от USB-порта (Ю.Я. Реутов, В.И. Пудов, А.В. Волков)	22
21. Выбор рабочей частоты медицинского металлоискателя (Ю.Я. Реутов, В.И. Пудов, А.В. Волков)	23
22. Повышение эффективности работы вихретоковых устройств при контроле электропроводящих включений в дисперсном материале (В.И. Пудов, А.С. Соболев)	24
23. Сравнение частотных параметров ультразвуковых импульсов, отраженных от дефектов различной формы (О.В. Немытова, А.Б. Ринкевич, Д.В. Перов)	25
24. Анализ результатов акустико-эмиссионного контроля литых боковых рам и наддресорных балок тележек грузовых вагонов (В.В. Муравьев, О.В. Муравьева)	26
25. Оценка напряженно-деформированного состояния вагонных, локомотивных колес и рельсов электромагнитно-акустическим способом (В.В. Муравьев, О.В. Муравьева, Е.Н. Балобанов, Л.В. Волкова)	27
26. Влияние анизотропии упругих свойств трубных сталей на точность определения напряжений методом акустоупругости (Н.Е. Никитина, С.В. Казачек, А.В. Камышев)	28
27. Влияние температурных изменений на точность ультразвукового контроля напряженного состояния трубопроводов (Н.Е. Никитина, А.В. Камышев, С.В. Казачек)	29
28. Практическое решение одномерной обратной акустической задачи (В.А. Бархатов)	30
29. Характеристики волн Лэмба, возбуждаемых в металлических пластинах импульсным лазерным излучением (С.Ю. Гуревич, Ю.В. Петров, Е.В. Голубев)	31
30. Влияние температуры на лазерную генерацию волн Лэмба в ферромагнитной пластине (С.Ю. Гуревич, Ю.В. Петров, Е.В. Голубев)	32
31. Информативные параметры крутильных волн при акустическом контроле линейно-протяженных объектов (С.А. Мурашов)	33
32. Компьютерная диагностика дефектов и механических напряжений в литых деталях (О.М. Огородникова)	34
33. Повышение чувствительности рентгеновского контроля полых вентиляторных лопаток (С.В. Щербинин, Р.В. Сафиуллин, Р.Р. Мулюков, А.Л. Филатов)	35
34. Кристаллы, сформированные из нанокристаллитов в пленках и объемных образцах твердого электролита на основе ZrO_2 (В.Б. Малков, В.Г. Пушин, А.В. Малков, В.Н. Стрекаловский, С.В. Плаксин, О.В. Малков)	36
35. Инверсия размагничивающего коэффициента при локальном намагничивании (Ю.Я. Реутов)	37
36. Возможности магнитного способа аттестации наноструктуры магнитомягких материалов (Н.И. Носкова, А.Г. Лаврентьев, Г.С. Корзунин) ...	38
37. Расчетная модель для оценивания магнитных характеристик слабомагнитных дисперсных систем (А.С. Соболев, В.И. Пудов)	39
38. Разработка и аттестация стандартных образцов для средств неразрушающего контроля (А.С. Соболев, В.И. Пудов)	40
39. Методика оценки чувствительности компьютерной системы датчик при диагностике ферромагнитных объектов (А.В. Волков, Л.Л. Безукладникова)	41

40. Оценка прочностных свойств металлов при скручивании (Е.И. Зайкин, Н.В. Котова)	42
41. Исследование возможности определения упругой деформации по величине измеряемой термо-эдс (Ю.П. Кочкин, А.Ю. Солнцев, С.Г. Шевченко)	43
42. Определение силового воздействия на цельнокатаное колесо вагона (В.Ф. Новиков, К.Р. Муратов, В.В. Прилуцкий)	44
43. Повышение информативности диагностики трансформаторов с использованием вольт-амперных характеристик (И.Т. Скурту)	45
44. Лабораторная установка для физического моделирования электрических разрядов на переменном токе промышленной частоты (С.М. Коробейников, М.В. Вечеркин)	46
45. Структурная и фазовая чувствительность релаксационной намагниченности сталей (С.Г. Сандомирский)	47
46. Отстройка от влияния зазора при полюсном намагничивании в магнитном структурном анализе (С.Г. Сандомирский)	48
47. Акустические поля неоднородных волн (Х.Б. Толипов)	49

XXV УРАЛЬСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
"ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ"

Тезисы докладов

Ответственный за выпуск д.т.н. Костин В.Н.

Отпечатано на ризографе ИФМ УрО РАН

620990, Екатеринбург, ул. С.Ковалевской, 18