

Аппаратная реализация некоторых магнитных методов неразрушающего контроля

Ю.П. Паньковский

ООО “Фирма РКК”, Москва

Одним из наиболее эффективных методов контроля остаточных и приложенных напряжений ферромагнитных материалов, характеристик микроструктуры, толщины упрочненных слоев и др. зарекомендовал себя метод эффекта Баркгаузена, основанный на смещении доменных границ кристаллической решетки под воздействием изменяющегося магнитного поля. Эффект был открыт немецким физиком Генрихом Баркгаузеном в 1919 г., но лишь в последние три–четыре десятилетия его начали активно использовать в промышленности. Для возбуждения и регистрации в исследуемом образце магнитного шума Баркгаузена используются накладные датчики-преобразователи. Схема типичного двухполюсного преобразователя Баркгаузена показана на рис.1. Двухполюсный приставной электромагнит 1 с обмоткой возбуждения 2 создает в образце 4 переменное магнитное поле, возбуждающее скачки намагниченности, в результате чего в катушке 3 возникает магнитный шум Баркгаузена, регистрируемый прибором (на рисунке не показан).

Российским и зарубежным пользователям известны ранее выпускавшиеся магнитошумовые анализаторы ИНТРОМЕТ, ИНТРОМАТ, специализированный прибор для контроля режущих кромок концевой металлорежущего инструмента МАША-1. Прибор ИНТРОМАТ (номер госрегистрации 21398-01 в Государственном реестре средств измерений) широко используется в авиадвигателестроении, в частности на заводах “Пермские моторы” и “Редуктор-ПМ” в Перми, Уральском заводе граждан-

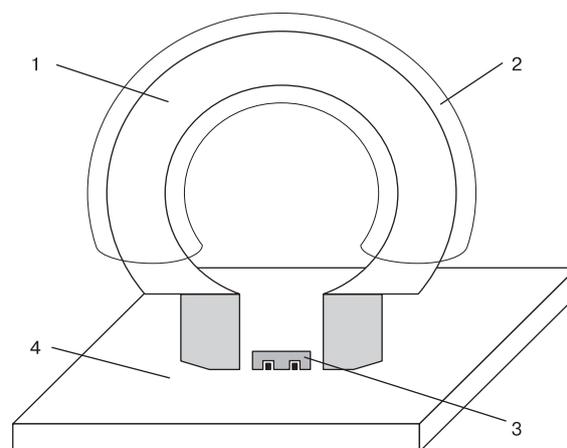


Рис. 1

Схематическое изображение двухполюсного преобразователя Баркгаузена

ской авиации в Екатеринбурге, заводе “Красный Октябрь” в Санкт-Петербурге.

Выпускаемый с 2003 г. магнитошумовой анализатор напряжений и структуры металлов ИНТРОСКАН имеет по сравнению с предшественниками и известными зарубежными аналогами ряд принципиальных преимуществ. К ним относятся абсолютная идентичность параметров датчиков, возможность работы в режиме стабилизации магнитного потока (что позволяет заметно снизить влияние подготовки поверхности на результаты измерений), возможность измерения угловой зависимости шума Баркгаузена путем вращения вектора магнитного поля возбуждения с помощью 4-полюсного датчика. Встроенный компьютер с операционной системой Windows-CE и цветным ЖК-дисплеем обеспечивает широкие возможности при подготовке, проведении и обработке измерений. Прибор ИНТРОСКАН

(зарегистрированный в Госреестре средств измерений под № 27094-04) применяется на предприятиях ОАО “Газпром” для контроля напряженно-деформированного состояния трубопроводов, приобретен ОАО “АВТОВАЗ” для контроля упрочненных слоев кулачков распределительных валов и рядом других российских и зарубежных, в том числе западных, предприятий.

Внешний вид прибора ИНТРОСКАН показан на рис. 2.

Основным информативным параметром магнитошумового метода неразрушающего контроля является интенсивность (спектральная плотность) магнитного шума. Этот параметр, регистрируемый в относительных единицах, зависит от свойств кристаллической структуры материала и от механического напряжения (остаточного или приложенного). Поскольку датчик позволяет проводить измерения в разных направлениях, определяемых направлением вектора поля намагничивания, поворотом датчика направление контролируемых напряжений может быть задано. Толщина слоя, “участвующего” в генерации магнитного шума, в зависимости от режимов измерения может меняться от нескольких микрометров до одного миллиметра. На основе этих свойств прибор, при условии методического разрешения неопределенности измерения, способен контролировать довольно широкий спектр свойств ферромагнитных материалов и изделий из них: внутренние механические напряжения, толщину упрочненного слоя,

шлифовочные прижоги, зоны термического влияния и многие другие, при наличии корреляционной связи между шумами Баркгаузена и физико-механическими характеристиками.

Структурные неоднородности и остаточные напряжения легко выявляются обнаружением зон относительного изменения уровня магнитного шума, а при необходимости контролировать параметры образцов в абсолютных единицах (твердости, напряжения, содержания остаточного аустенита и т.п.) проводится предварительная калибровка прибора на образцах с известными значениями этих параметров.

Для расширения возможностей прибора создано специальное программное обеспечение для внешнего компьютера, функционирующее в среде WIN95/98/NT/ME/2000/XP. Оно позволяет автоматизировать процесс управления работой прибора, обмениваться данными между прибором и программой, редактировать и сохранять данные в файловой системе персонального компьютера, строить калибровочные кривые. С помощью специального модуля программы реализуется технология послойного анализа напряжений в поверхностно упрочненных слоях. Управление прибором при этом осуществляется через устройство инфракрасной связи Tekram IR-210.

Приборы серии МАКСИ (магнитные анализаторы качества структуры изделий) основываются на коэрцитиметрическом методе и предназначены для высокопроизводительного автоматизированного контроля механических свойств ферромагнитных деталей.

Рис. 2

Магнитошумовой анализатор напряжений и структуры металлов ИНТРОСКАН: а – в базовой комплектации (с питанием от сети 220 В/50 Гц); б – в комплектации для мобильного использования (в сумке-чехле, с питанием от аккумуляторной батареи 12 В)



а



б

Внешний вид одного из серии этих приборов (МАКСИ-Р) показан на рис. 3.

В комплект прибора входят: электронный блок, датчик-преобразователь, исполнительный механизм браковки. Принцип работы заключается в бесконтактном намагничивании контролируемого изделия при его свободном падении сквозь область с намагничивающим полем постоянной напряженности, измерении величины остаточного магнитного потока в изделии, сравнении измеренной величины с предварительно установленными порогами годности изделия и последующей автоматической сортировке изделий по результатам сравнения.

Изделие в процессе свободного падения через датчик-преобразователь намагничивается в магнитном поле, создаваемом намагничивающей катушкой. В процессе своего движения в датчике намагниченное изделие проходит сквозь измерительную катушку и наводит в ней ЭДС в виде биполярного импульса напряжения. Вольт-секундная площадь однополярной полуволны индуцированного импульса несет информацию о величине магнитного потока в изделии.

Эта характеристика, как правило, коррелирует с механическими свойствами, и ее величина может служить для оценки качества закалки, твердости, структуры, химического состава и других параметров. В электронном блоке предусмотрена возможность установки верхнего и нижнего порогов браковки контролируемых изделий. При выходе значения измеренного параметра за установленные пороги на ЖК-дисплее наряду со значением параметра отображается надпись БРАК (в пределах порогов – ГОДЕН) и на исполнительный механизм поступает соответствующий сигнал. С помощью электромагнитного привода исполнительный механизм браковки обеспечивает отделение забракованных изделий от годных.

Производительность контроля в приборах серии МАКСИ достигает 3 изделий в секунду. Существующие модификации датчиков обеспечивают контроль деталей, имеющих продольные размеры порядка 10–120 мм, поперечные 3–40 мм. Эти размеры могут быть увеличены путем доработки конструкции датчика. Приборы МАКСИ обеспечивают эффективный 100% -ый контроль продукции на предприятиях с крупносерийным и массовым производством. Они успешно эксплуатируются на Минском заводе



Рис. 3
Прибор МАКСИ-Р

отопительного оборудования, Колпинском литейно-механическом заводе, Мценском литейном заводе и других предприятиях.

Еще одним прибором, реализующим коэрцитиметрический метод, является автономный магнитный сортировщик МС-3 (рис. 4). Этот портативный переносный прибор предназначен для сортировки сталей по маркам, контроля степени закалки, выявления отклонений химического состава и структурных неоднородностей чугуна (в том числе высокопрочного). Непосредственно измеряемый прибором параметр – величина градиента нормальной составляющей поля остаточной намагниченности (от 2×10^2 до $1,5 \times 10^5$ А/м²) над поверхностью контролируемого объекта после его намагничивания методом точечного полюса. В режиме непрерывного измерения градиента магнитного поля прибор может контроли-



Рис. 4
Прибор МС-3

ровать уровень намагниченности ферромагнитных материалов. Приведенная погрешность измерения градиента магнитного поля не более 5%. Питание прибора осуществляется как от сети переменного тока, так и от встроенных аккумуляторов.

В экспериментах по применению приборов типа МС-3, проведенных ООО “Фирма РКК”, были получены достоверные результаты:

- при выявлении зон повышенной твердости на входном контроле заготовок тормозных цилиндров из чугуна СЧ-18 (завод “Автоагрегат” в г. Кинешма Ивановской обл.);

- при определении марки металла трубопроводов технологического газа (ИТЦ “Оргтехдиагностика” ОАО “Газпром” в Москве);

- при отбраковке несортной стали на входном контроле (Московский завод автотракторного электрооборудования АТЭ-1);

- при отбраковке готовых шестерен сателлитов по маркам стали (Петровский завод автозапчастей АМО ЗИЛ в Саратовской обл.);

- при разбраковке готовых изделий из высокопрочного чугуна ВЧ-40 (Мценский литейный завод в Орловской обл.), а также при решении других технологических задач.

Прибор МС-3 незаменим при входном кон-

троле металла и заготовок, контроле качества выполнения технологических операций и контроле выходной продукции

Методика применения приборов, основанных на измерении магнитных свойств контролируемого материала, – это сравнение контролируемого параметра с браковочными порогами, полученными по образцам, подвергнутым прямым (разрушающим) методам контроля. Разработка частных методик для конкретных деталей подразумевает подбор или изготовление ряда образцов (обычно достаточно 7–10 шт.), перекрывающих интересующий пользователя диапазон изменения контролируемого параметра, построение корреляционной (калибровочной) кривой и, наконец, определение браковочных пределов с учетом доверительных интервалов.

Общей потребительской характеристикой приборов, реализующих магнитные методы неразрушающего контроля, является их относительно небольшая стоимость и простота выполнения измерений при достаточно высокой достоверности получаемых результатов, что позволяет применять их для широкого спектра задач. Все перечисленные качества объясняют нарастающий интерес предприятий различного профиля к этим приборам. ●

Окончание перечня документов со с. 6

МИ 191-79 ГСИ. Методика поверки образцовых и рабочих средств измерений магнитного момента

МИ 388-83 ГСИ. Прибор показывающий с индуктивными преобразователями мод. 276. Методы и средства поверки

МИ 940-85 ГСИ. Меры магнитной восприимчивости пара-, диа- и слабомагнитных материалов. Методика поверки

МИ 980-85 ГСИ. Преобразователи тока на эффекте Холла типа КИ-13942-ГОСНИТИ. Методика поверки

МИ 1055-85 ГСИ. Магнитометр пешеходный квантовый ММП-303. Методика поверки

МИ 1064-85 ГСИ. Магнитометр скважинный протонный МСП-2. Методика поверки

МИ 1067-85 ГСИ. Измерители неоднородностей линий. Методика поверки

МИ 1096-86 ГСИ. Средства измерений магнитной проницаемости и тангенса угла магнитных потерь ферромагнитных материалов в диапазоне частот 1...200 МГц. Методика поверки

МИ 1220-86 ГСИ. Магнитометр станции “Скат-77”. Методика поверки

МИ 1257-86 ГСИ. Магнитометр пешеходный протонный ММП-203. Методика поверки

МИ 1258-86 ГСИ. Аэромагнитометр квантовый ММ-305. Методика поверки

МИ 1295-86 ГСИ. Тесламетр универсальный 4305. Методика поверки

МИ 1654-87 ГСИ. Меры магнитного момента образцовые 2 и 3-го разрядов и рабочие. Методика поверки

МИ 1690-87 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений мощности электромагнитных колебаний в коаксиальных трактах в диапазоне частот 0,03...18 ГГц

МИ 1807-87 ГСИ. Аэромагнитометр квантовый ММ-91. Методика поверки

МИ 1918-88 ГСИ. Магнитные характеристики образцов магнитомягких сплавов. Методика выполнения измерений в диапазоне частот 50 Гц...20 кГц

МИ 2014-89 ГСИ. Стандартные образцы импульсной магнитной проводимости магнитомягких материалов. Методика поверки

МИ 2378-96 ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений магнитных потерь в магнитомягких материалах в диапазоне частот от 50 до $2 \cdot 10^5$ Гц

МИ 2433-97 ГСИ. Период выходного сигнала и электрическое сопротивление магнитных головок преобразователей измерительных струнных. Методика выполнения измерений периодометром многофункциональным типа ПЦПМ

МУ 184 по определению кривой намагничивания от 1000 до 30000 А/м и потерь при частоте 50 Гц у нормальных образцов листовой электротехнической стали

МУ 191 по измерению контактных электродвижущих сил в приборах сопротивления