

УДК 620.179.14

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОБИЛЬНЫХ МНОГОЦЕЛЕВЫХ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ

В. Н. КОСТИН, Я. Г. СМОРОДИНСКИЙ

ФГБУН «Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН»
Екатеринбург, Россия

UDC 620.179.14

THE DEVELOPMENT PERSPECTIVES OF THE MOBILE MULTIFUNCTIONAL HARDWARE/SOFTWARE SYSTEMS OF ELECTROMAGNETIC TESTING

V. N. KOSTIN, YA. G. SMORODINSKII

Аннотация

Показана неустойчивость результатов пассивного магнитного контроля к воздействию неконтролируемых неоднородных полей. Показано, что совместное использование нескольких параметров контроля для оценки одного объекта может быть обусловлено как нелинейностью взаимосвязей контролируемых параметров с измеряемыми параметрами контроля, так и необходимостью учета условий измерений. Сформулированы основные критерии, которым должны отвечать перспективные многоцелевые системы активного электромагнитного контроля.

Ключевые слова:

электромагнитный контроль, нормальная компонента поля, пассивный контроль, активный контроль, аппаратно-программная система.

Abstract

The instability of the passive electromagnetic testing results in the impact of uncontrollable inhomogeneous fields has been shown. It has been shown that the sharing of several testing parameters for state estimation of an object can be conditioned by both the non-linearity of the relation of tested parameters with measured testing parameters and the requirement of the consideration of measurement conditions. The basic criteria to be met by perspective multifunctional systems of an active electromagnetic testing have been formulated.

Key words:

electromagnetic testing, normal component of field, passive testing, active testing, hardware/software system.

Неразрушающий контроль (НК) и техническая диагностика (ТД) становятся неотъемлемыми элементами современной промышленности. Наиболее востребован неразрушающий контроль в таких отраслях, как космическое и авиастроение, железнодорожный транспорт, машиностроение, автомобилестроение, нефтегазовая промышленность, предприятия военно-промышленного комплекса. Необходимость технической диагности-

ки обусловлена повышением нагрузок на механизмы и сооружения, а также деградацией материалов под действием таких факторов, как коррозия, локальные пластические деформации, постоянные и переменные упругие деформации, изменения температурного режима.

Количество и уровень современных исследований и разработок доказывают актуальность и значимость магнитного и вихретокового видов контроля, объединяемых понятием электромагнитный контроль. Практически во всех работах предполагается воздействие на объект контроля постоянным или переменным магнитным полем, т.е. эти методы относятся к активным методам контроля и диагностики. Однако, к настоящему времени в некоторых изданиях появились публикации по магнитным методам дефектоскопии и структуроскопии в так называемых «геомагнитных полях». Эти методы не предполагают специального воздействия на контролируемые объекты постоянным или переменным магнитным полем. Процесс контроля заключается в регистрации и анализе неоднородностей намагничивания, возникающих в процессе жизненного цикла объектов контроля. При этом авторы таких пассивных методов не принимают во внимание практически повсеместное существование магнитных полей природного и техногенного происхождения, величина которых может многократно превосходить поле Земли (см., например, [1]). Очевидно, что за время жизненного цикла ферромагнетики могут подвергаться воздействию самых различных полей и их магнитная предыстория, как правило, неизвестна.

Легко показать, что предлагаемый в так называемом «методе магнитной памяти металлов» диагностический признак зон концентрации напряжений, а именно переход нормальной компоненты магнитного поля через ноль [2], формируется независимо от структурно-фазового или напряженно-деформированного состояния ферромагнетика. На рис. 1 приведены рассчитанные с помощью свободно распространяемой программы FEMM (<http://cxem.net/software/finiteElementMethodMagnetics.php>) силовые линии магнитного поля и распределения нормальной компоненты магнитного поля по длине цилиндрического стержня из стали 10 с начальной магнитной проницаемостью $\mu_n = 120$, длиной (length) 30 см и диаметром 1 см. Источником магнитного поля был соленоид длиной 100 см и диаметром внутреннего отверстия 5 см. Поле в центре соленоида было выбрано равным 1,2 А/м, т. е. было много меньше земного.

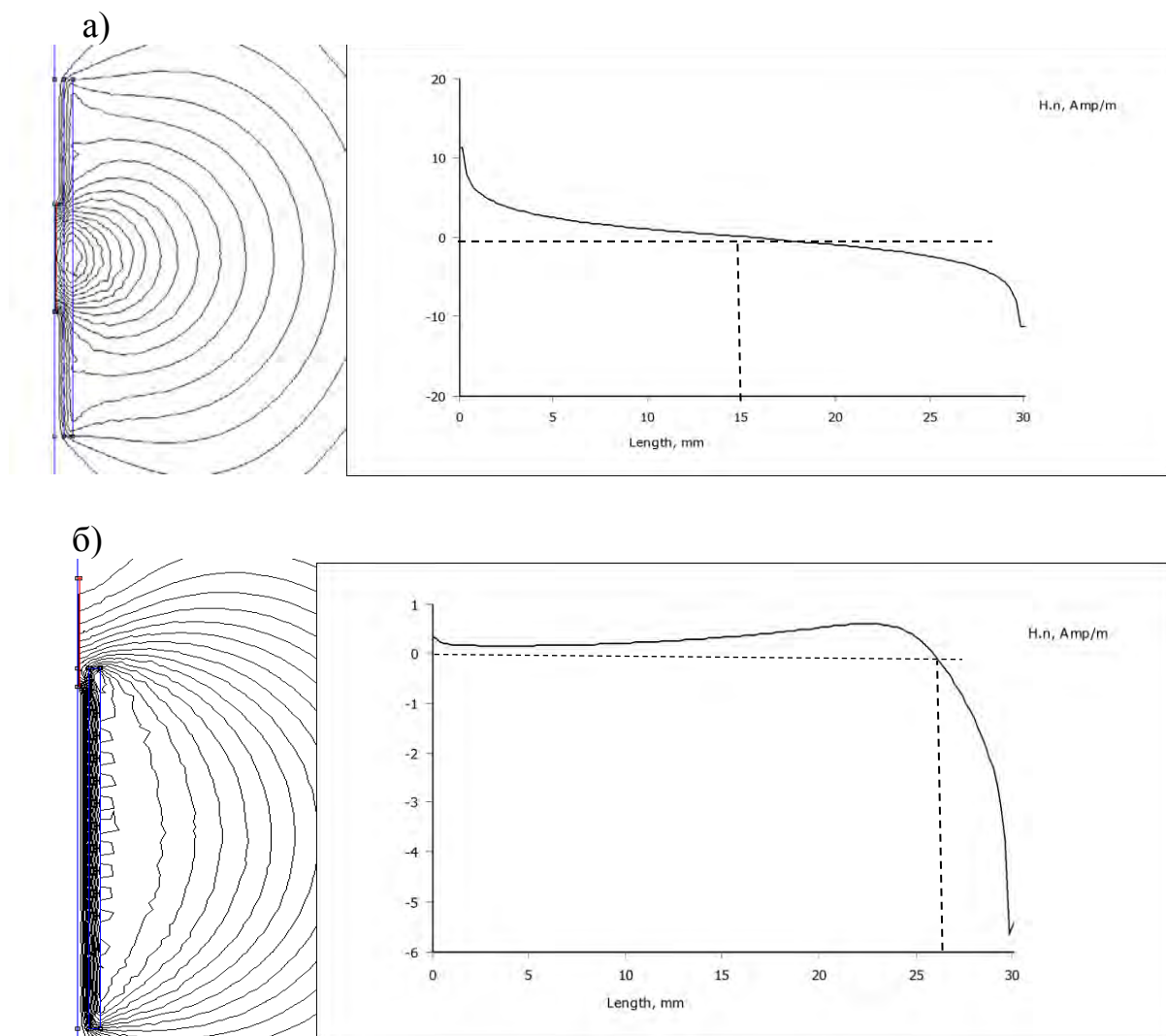


Рис. 1. Силовые линии магнитного поля и распределения нормальной компоненты магнитного поля по длине цилиндрического стержня из стали 10 ($\mu_n = 120$) при его различных положениях относительно источника слабого магнитного поля: а – в центре соленоида; б – 25 см стержня за пределами соленоида

Из рис. 1, а видно, что при расположении цилиндра в центре соленоида нормальная компонента поля на поверхности цилиндра имеет экстремумы разного знака вблизи торцов цилиндра и проходит через ноль в середине цилиндра. Как видно из рис. 1, б перемещение цилиндра к торцу соленоида, т. е. в область неоднородного магнитного поля, приводит к изменению характера распределения нормальной компоненты поля H_n вдоль цилиндра и к смещению места перехода этой компоненты через ноль. Соответственно изменяется и градиент нормальной компоненты поля вдоль оси цилиндра. При этом очевидно, что перемещение относительно источника слабого магнитного поля не может изменить напряженно-деформированное состояние намагничиваемого объекта (т. е. расстояние между атомами, плотность дислокаций и т. д.). Распределение нормальной компоненты поля вдоль намагничиваемых объектов, первую очередь, обу-

словлено их формой и размерами, причем это распределение легко может быть изменено неоднородным магнитным полем. Таким образом, пассивный контроль по устойчивости к внешним магнитным полям, а значит и по повторяемости и достоверности результатов явно уступает активным (с контролируемым намагничиванием) методам магнитной структуроскопии и дефектоскопии.

Необходимость измерения двух и более параметров для достоверного магнитного контроля структурно-фазового состояния ферромагнитных сталей и сплавов обусловлена двумя основными причинами:

- 1) методическая, когда для полной оценки состояния объекта требуется определение нескольких его магнитных параметров;
- 2) измерительная, когда для достоверного измерения необходимого параметра контроля требуется измерение двух и более магнитных величин, характеризующих как объект контроля, так и условия измерений.

Методическая многопараметровость

Одним из первых примеров двухпараметрового магнитного контроля явился контроль качества закалки подшипниковых сталей. В этом случае необходимость измерения второго параметра контроля была обусловлена неоднозначной зависимостью коэрцитивной силы H_c от температуры закалки сталей с высоким содержанием углерода. В качестве второго параметра использовалась относительная величина намагниченности насыщения, которая дифференциальным способом измерялась приборами типа ДМС. В работе [3], например, показано, что для магнитной твердометрии закаленных и отпущенных углеродистых сталей во всем диапазоне изменения твердости необходимо использовать два параметра: коэрцитивную силу H_c и намагниченность коэрцитивного возврата M_{Hc} .

Измерительная многопараметровость

В работе [4] для случая однородного намагничивания образцов конечных размеров было получено следующее выражение:

$$M_r = -\frac{H_e^*}{H_i^*} M_r^t, \quad (1)$$

где H_e^* – значение внешнего магнитного поля, соответствующее остаточной намагниченности вещества, т. е. нулевому внутреннему полю; H_i^* – значение внутреннего магнитного поля, соответствующее остаточной намагниченности тела, т. е. нулевому внешнему полю.

Как следует из (1), даже при однородном намагничивании определение остаточной намагниченности вещества образцов конечных размеров требует измерения трех магнитных величин. При локальном, неоднородном намагничивании с помощью приставных преобразователей результаты магнитных измерений дополнительно будут зависеть от формы поверхности и однородности намагничивания зоны контроля, наличия и величины зазоров в составных магнитных цепях и ряда других факторов. Это требует



принятия специальных мер для стабилизации условий измерений и (или) для уменьшения влияния мешающих факторов. В работах [4, 5] показано, что учет дополнительных магнитных параметров, характеризующих составную цепь приставной преобразователь – объект, позволяет значительно снизить влияние таких мешающих факторов, как неконтролируемый зазор между преобразователем и объектом, а также вариация формы и размеров контролируемых объектов.

Вихретоковый контроль (ВТК) является многопараметровым по своей сути, поскольку на сигнал вихретокового преобразователя оказывает влияние сразу много факторов (удельная электрическая проводимость и магнитная проницаемость материала объекта контроля, взаимное расположение ВТП и объекта, температура и т. д.). Присущая ВТК многопараметровость позволяет получить информацию сразу о нескольких функциональных характеристиках контролируемых объектов (например, электропроводность и толщина листа). Однако при этом необходимы специальные алгоритмы выделения информации о каждой контролируемой характеристике.

Таким образом, многопараметровый подход в электромагнитном контроле позволяет расширить круг контролируемых материалов и объектов, скомпенсировать влияние мешающих факторов, повысить достоверность и информативность контроля.

Анализ современных тенденций развития средств электромагнитного контроля позволяет сделать вывод о том, что перспективным направлением является создание и применение многоцелевых аппаратно-программных систем электромагнитного контроля и диагностики (МАПС ЭМК) с большой степенью унификации их аппаратной части. Схема получения и обработки информации в таких МАПС ЭМК показана на рис. 2. Фоном выделена единая аппаратная часть управления измерениями и обработки измерительной информации.

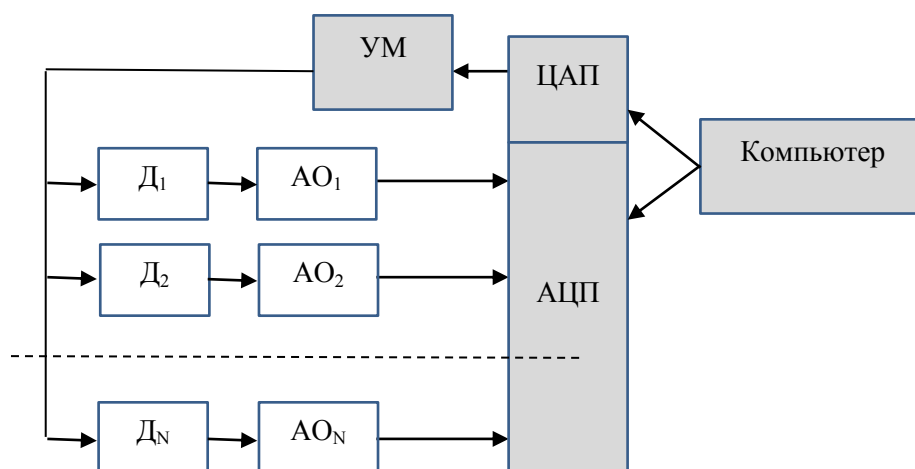


Рис. 2. Общая схема получения и обработки информации в многоцелевых аппаратно-программных системах электромагнитного контроля с одним или N параллельными источниками поля



Можно выделить ряд основных характеристик, которыми должны обладать перспективные МАПС ЭМК.

1. *Активный контроль.* Управляемое воздействие на объект контроля квазистатическим или переменным магнитным полем позволяет устранить влияние неизвестной магнитной предыстории, увеличить отношение сигнал/шум. Заданный алгоритм перемагничивания позволяет измерять несколько необходимых параметров контроля (максимальную индукцию, остаточную индукцию, коэрцитивную силу, и т.д. – при магнитном контроле; амплитуду и фазу сигнала, гармонический состав – при вихретоковом контроле).

2. *Многопараметровость.* Измерение нескольких параметров контроля может обеспечить расширение круга контролируемых объектов, определение нескольких контролируемых (функциональных) характеристик объектов, полностью или частично скомпенсировать влияние мешающих параметров.

3. *Многоканальная регистрация сигналов.* При измерении любого магнитного параметра вещества определение соответствующих значений внутреннего поля и намагниченности (или индукции) требует наличия как минимум двух измерительных каналов. Использование многоэлементных вихретоковых преобразователей требует минимум $N+1$ канала (один канал – измерение возбуждающего тока, n – количество измерительных обмоток или датчиков).

4. *Компьютерные технологии* генерации электромагнитных полей и обработки измерительной информации (написание управляющих измерениями программ на языках высокого уровня; легкая адаптация алгоритмов контроля под различные объекты и условия контроля и т. д.).

5. *Мобильность*, т. е. питание как от сети переменного тока, так и от автономных источников питания; минимизация весогабаритных характеристик МАПС ЭМК; защита от неблагоприятных внешних факторов.

6. *Модульность.* Показанная на рис. 2 схема содержит: 1 – модуль измерительных преобразователей; 2 – модуль генерации и преобразования измеряемых сигналов; 3 – компьютер. Модульный принцип построения позволяет легко менять характеристики МАПС ЭМК и даже виды реализуемого контроля (например, с магнитного на вихретоковый) путем смены измерительных преобразователей и запуска соответствующей управляющей программы.

7. *Приемлемая для широкого круга пользователей стоимость.*

Очевидно, что данный перечень требований может уточняться по мере развития средств электромагнитного контроля и диагностики.

Настоящая работа выполнена при поддержке проекта УрО РАН № 15-17-2-5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Реутов, Ю. Я.** Магнитные поля, действующие на человека и другие биологические объекты в условиях современного города / Ю. Я. Реутов, А. А. Литвиненко // Экология. – 1987. – № 1. – С. 66–74.

2. **Власов, В. Т.** Физические основы метода магнитной памяти металла / В. Т. Власов, А. А. Дубов. – М. : ЗАО «Тиссо», 2004. – 424 с.

3. Выбор параметров и алгоритма магнитной твердометрии углеродистых термообработанных сталей методом регрессионного моделирования / К. В. Костин // Дефектоскопия. – 2011. – № 2. – С. 3–11.

4. **Костин, В. Н.** Локальное измерение индукции коэрцитивного возврата при наличии зазора в составной цепи "преобразователь-объект" / В. Н. Костин, О. Н. Василенко // Дефектоскопия. – 2012. – № 7. – С. 3–14.

5. **Костин, В. Н.** О некоторых новых возможностях локального измерения коэрцитивной силы ферромагнитных объектов / В. Н. Костин, О. Н. Василенко // Дефектоскопия. – 2012. – № 7. – С. 15–25.

E-mail: kostin@imp.uran.ru