

ных и производственных предприятий благодаря широкому диапазону частот и напряжений, высокой точности, соответствующей уровню вторичного эталона Государственной поверочной схемы [1], высокой стабильности электротеплового коэффициента преобразования, большой перегрузочной способности и возможности совместного использования с компьютером.

Л и т е р а т у р а

1. Телитченко Г. П., Швецов В. И. Анализ метрологического обеспечения средств измерений переменного напряжения // Главный метролог. 2003. № 5. С. 15—23.

2. ГОСТ Р 8.648—2008. ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений переменного электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^9$ Гц.

3. ГОСТ 8.458—82. Преобразователи и компараторы образцовые термоэлектрические. Методы и средства поверки.

4. Гуревич М. Л. Новые приборы для точного измерения напряжений НЧ и ВЧ сигналов // Электроника. Наука, Технологии, Бизнес. 2009. № 7. С. 38—46.

5. Гуревич М. Л. Новые эталонные приборы для измерения переменных напряжений низких и высоких частот // Измерительная техника. 2009. № 10. С. 42—46.

6. Гуревич М. Л., Горшков А. В., Кудрявцев О. А., Кривошеев В. И., Куракин А. В. Особенности применения высокочастотных термоэлектрических компараторов напряжений для прецизионного измерения среднеквадратического уровня переменных сигналов очень низких частот // Приборы. 2012. № 2. С. 1—14.

7. ГОСТ 22261—94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия (с Изменением № 1).

Дата принятия 27.04.2015 г.

621.318.13:537.6

Разработка экрана из аморфного магнитомягкого сплава для уменьшения влияния магнитного поля Земли на чувствительный элемент фотоэлектронного спектрометра

А. С. ЖУКОВ, С. А. МАННИНЕН, О. В. ВАСИЛЬЕВА, П. А. КУЗНЕЦОВ

Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов «Прометей», С.-Петербург, Россия, e-mail: jouan2@gmail.com

Приведены результаты расчетов эффективности экранирования фотоэлектронного спектрометра аморфными сплавами, предназначенными для защиты прибора от магнитного поля Земли. Измерено распределение индукции магнитного поля внутри экрана при различном расположении прибора. Исследована анизотропия экранирующих свойств магнитополимерного экрана.

Ключевые слова: магнитное поле, аморфные сплавы, экранирование, фотоэлектронный спектрометр.

The results of number calculations of screening effectivity for photo-electronic spectrometer using various amorphous alloys have been presented. The special camera was created for protection against Earth magnetic field. The magnetic field had been measured inside the camera. The anisotropy of its properties had been studied. It had been established that the Earth magnetic field shielding factor in the camera meets the special requirements.

Key words: magnetic field, amorphous alloys, screening, photoelectronic spectrometer.

Анализ современных тенденций в изучении влияния физических полей, в частности, магнитного поля Земли на технические устройства показывает, что наибольшее внимание уделяется поиску оптимальных способов защиты [1—4]. В настоящее время существует множество приборов, показания которых чувствительны к магнитному полю Земли. К таким приборам относятся устройства, использующие физические законы движения заряженных частиц в магнитных и электрических полях: масс-спектрометры, растровые электронные микроскопы, рентгенофлуоресцентные спектрометры и др. Как статические, так и переменные магнитные поля

различной частоты могут отклонять частицы от их нормальных траекторий движения и тем самым искажать показания данных приборов. К другому виду магниточувствительных приборов относятся системы, с помощью которых проводят измерения предельно малых магнитных полей. Например, магнитокардиограф, предназначенный для проведения медицинской диагностики, обнаруживает магнитные поля, источником которых является сердце. Эти поля очень слабые, поэтому важно исключить влияние наведенных внешних магнитных полей на результаты измерений. Электромагнитная защита — необходимая часть кабинета магнитной то-

мографии. В случае нарушения ее целостности или отсутствию экранирования дорогостоящая техника не может правильно функционировать в связи с магнитными помехами, создаваемыми окружающим электронным оборудованием и геомагнитным полем. Стандарты в области электромагнитной совместимости технических средств устанавливают требования устойчивости к электромагнитным помехам, качеству электрической энергии в сетях и новые методы испытаний [5, 6].

На практике не всегда можно перенести техническое оборудование на расстояние, при котором индукция поля ослабится до предельно допустимого значения. В этом случае необходимо применять экранирующие материалы. Наибольшую сложность представляет экранирование постоянного и низкочастотного магнитных полей. Для этих целей требуются материалы, обладающие высокими магнитной проницаемостью и индукцией насыщения, низкой коэрцитивной силой. Они должны сохранять работоспособность в жестких условиях эксплуатации: быть нечувствительными к механическим и динамическим воздействиям (деформациям, вибрациям), работать в широком диапазоне температур, обеспечивать высокую воспроизводимость свойств.

Для защиты измерительных приборов от влияния посторонних физических полей их часто помещают в массивные замкнутые оболочки из ферромагнитного материала — обычно пермаллоя. Однако такие экраны имеют существенные недостатки: высокий коэффициент экранирования не сохраняется при механических воздействиях, неизбежно возникающих при изготовлении и монтаже экранирующих конструкций. Большие массогабаритные характеристики экрана накладывают дополнительные требования на инженерные решения при его изготовлении. Этих недостатков лишены аморфные магнитомягкие сплавы, что подтверждается данными отечественных и зарубежных работ [7–9].

Авторы изготовили экран из аморфного магнитомягкого сплава, который уменьшает в 100 раз влияние магнитного поля Земли на чувствительный элемент фотоэлектронного спектрометра, разработанного в Институте аналитического приборостроения РАН. Корректную работу данного прибора можно обеспечить только в полях с индукцией не более 0,5 мкТл. Фотоэлектронный спектрометр имеет высоту 280 мм, максимальную ширину 250 мм, его чувствительный элемент располагается на расстоянии 150–200 мм от верхней точки прибора.

Для выбора материала и геометрических параметров экрана были выполнены расчеты эффективности экранирования конечно-разностным методом на треугольной сетке переменного шага с помощью программного комплекса ELCUT, позволяющего проводить вычисления магнитных полей в двумерном приближении и с учетом нелинейных свойств материала экрана. Кривые намагничивания сплавов, используемые в расчете, снимали на установке МК-3Э производства НПО «Интротест» (Екатеринбург). Для измерений распределения индукции магнитного поля внутри экрана применяли магнитометр МТ-4 производства ООО «КРИОМАГ» (С.-Петербург), созданный на основе феррозондового трехкомпонентного датчика. Это позволяет одновременно измерять три ортогональных компонента вектора магнитной индукции постоянного магнитного поля с погрешностью не более 10 нТл.

В ходе предварительных исследований из различных сплавов (79НМ, 81НМА, АМАГ-172, АМАГ-200), применяемых для экранирования, был выбран аморфный сплав АМАГ-172 ввиду его высокой магнитной проницаемости μ и оптимальной коэрцитивной силы H_c (см. таблицу). Указанный сплав промышленно выпускает ОАО «Мстатор» (Боровичи), его химический состав соответствует формуле $\text{Co}_{72}\text{Fe}_5\text{Ni}_{10}\text{Cr}_{1,5}\text{Mn}_{1,5}\text{Si}_7\text{B}_3$. Сплав производят в виде аморфной ленты толщиной 20 мкм, шириной 20 мм. В ЦНИИ КМ «Прометей» на базе данного сплава запатентована конструкция рулонного металлополимерного экранирующего материала [10] и разработан магнитный экран марки МАР-1К.

Характеристики исследованных сплавов

Характеристика	79НМ	81НМА	АМАГ-172	АМАГ-200
μ	250000	430000	800000	120000
H_c , А/м	1,0	0,4	0,4	2,3

Исходя из геометрических размеров фотоэлектронного спектрометра, была построена модель цилиндрического экрана диаметром 30 см и длиной 28 см, один торец его глухой, а другой открытый, что необходимо для подведения электрических проводов к спектрометру. В качестве внешнего воздействия при моделировании задавали однородное магнитное поле, параллельное оси цилиндра, индукцией 50 мкТл, что соответствует магнитному полю Земли. Для задания магнитных свойств материала экрана использовали кривые намагничивания $B(H)$, измеренные экспериментально для сплава АМАГ-172 [11].

В ходе расчетов было установлено, что необходимая степень экранирования магнитного поля Земли до индукции 0,5 мкТл не обеспечивается при длине экранирующего цилиндра, сопоставимой с его диаметром (в соответствии с геометрией фотоэлектронного спектрометра), даже при использовании до 100 слоев экранирующего материала. Для решения этой проблемы длину цилиндра увеличили до 600 мм, что соответствует отношению длины к диаметру 2:1 и является приемлемым с точки зрения эффективности экранирования магнитного поля в требуемой области прибора [12]. Это позволило всего при 12 слоях экранирующего материала достичь оптимального значения индукции магнитного поля.

Как следует из рис. 1, при использовании разработанной конструкции экрана достаточная степень экранирования (светлая область) обеспечивается в месте предполагаемого расположения чувствительного элемента фотоэлектронного спектрометра.

Были изготовлены два магнитных экрана в форме цилиндров диаметром 300 мм и длиной 600 мм: в одном ленту аморфного магнитомягкого сплава располагали на твердой основе перпендикулярно образующей, в другой — вдоль образующей — параллельно оси цилиндра основы. Внутри экранов чувствительный элемент фотоэлектронного спектрометра размещается на расстоянии 150–200 мм от закрытого торца цилиндра. Для данных конструкций измерения проводили при различной ориентации экранирующего цилиндра

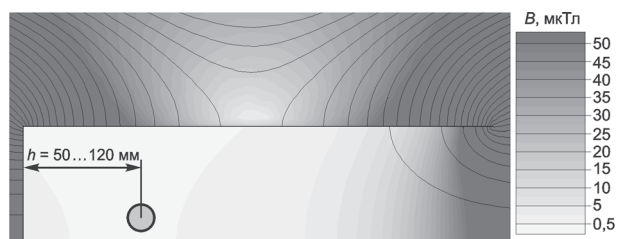


Рис. 1. Распределение индукции магнитного поля в цилиндрическом экране

относительно направления силовых линий магнитного поля. При вертикальном расположении измеряли компонент поля вдоль оси Z цилиндра, X -, Y -компоненты также контролировали, но они были малы. При горизонтальном расположении измеряли векторную сумму составляющих, перпендикулярных оси цилиндра, — X -, Y -компоненты, а Z -компонент вдоль оси был мал. Система координат связана с цилиндром.

Результаты измерений главных компонентов индукции магнитного поля в области экранирующего цилиндра, соответствующих месту размещения чувствительного элемента фотоэлектронного спектрометра, представлены на рис. 2. При горизонтальном положении поперечного цилиндра требуемая индукция магнитного поля легко достигается при $n=3$ слоя аморфного материала, а при вертикальном положении оно обеспечивается при $n=20$. В случае продольного цилиндра при $n=12$ слоев требуемая индукция достигается при любом его положении.

Можно предположить, что такое действие экрана объясняется расположением аморфных лент и самого цилиндра относительно линий магнитного поля. В первом случае, если линии магнитного поля, огибающего цилиндр, перпендикулярны лентам, то решающее влияние оказывает тот факт, что экранирующий материал для них не сплошной. Поскольку магнитное экранирование осуществляется за счет замыкания силовых линий магнитного поля в толще материала, каждый слой лент с небольшим воздушным зазором между ними приводит к проникновению силовых линий внутрь кон-

струкции и ослаблению экранирующих свойств. Если линии магнитного поля проходят вдоль лент экранирующего материала, то они постоянно находятся в его толще и стыковки практически не влияют на экранирующие свойства цилиндра. Во втором случае, поскольку длина цилиндра больше диаметра, при его вертикальном расположении силовые линии огибают камеру по более длинному и сложному контуру. При этом силовые линии «сталкиваются» с гранями торцов цилиндра. Так как один из торцов открытый, вертикальное положение еще больше снижает экранирующую способность цилиндра.

Таким образом, при горизонтальном положении поперечной конструкции оба фактора положительно влияют на экранирующие свойства цилиндра (поле внутри минимально, т. е. достигается максимальный коэффициент экранирования), а при вертикальном — отрицательно (коэффициент экранирования минимальный). Для продольной конструкции указанные факторы компенсируют друг друга, так что получается средний коэффициент экранирования, который мало зависит от ориентации цилиндра.

Выводы. Для исключения влияния магнитного поля Земли на чувствительный элемент фотоэлектронного спектрометра создан магнитный экран, внутри которого измерено распределение индукции магнитного поля и исследована его анизотропия. Установлено, что коэффициент экранирования поля Земли внутри экрана равен 100, что соответствует поставленным требованиям.

Проведенные исследования показали необходимость закрепления спектрометра в горизонтальном положении при использовании поперечного магнитного экрана как наиболее эффективного (с минимальным числом слоев экранирующего материала). При вертикальном или любом другом произвольном положении спектрометра рекомендуется применять продольный экран.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ, уникальный идентификатор прикладных научных исследований и экспериментальных разработок RFMEFI62514X0018.

Литература

1. Григорьев Ю. Г. Электромагнитное загрязнение окружающей среды как фактор воздействия на человека и биосистемы // Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения: Материалы науч.-практ. конф. Саратов, 2000. С. 96.
2. Григорьев О. А., Петухов В. С., Меркулов А. В. Проблема дрожания изображения видеомониторов на рабочих местах пользователей персональных компьютеров // Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения: Материалы науч.-практ. конф. Саратов, 2000. С. 40—41.

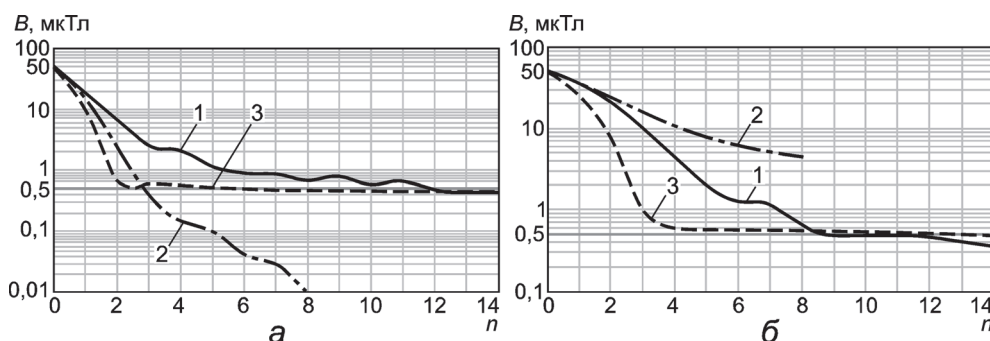


Рис. 2. Зависимости индукции магнитного поля от числа n слоев аморфного материала при горизонтальном (а) и вертикальном (б) положениях продольного (1) и поперечного (2) экранирующих цилиндров; 3 — результаты расчета

3. Шапиро Д. Н. Электромагнитное экранирование. Долгопрудный: Изд. Дом «Интеллект», 2010.

4. Кузнецов П. А., Фармаковский Б. В., Толочко О. В., Аскинази А. Ю., Васильева О. В., Песков Т. В. Исследования и разработки в области применения аморфных магнитомягких сплавов для создания магнитных экранов // Вопросы материаловедения. 2009. № 3 (59). С. 204—216.

5. ГОСТ Р 51724—2001. Экранированные объекты, помещения, технические средства. Поле гипогеомагнитное.

6. ГОСТ 18311—80. Изделия электротехнические. Термины и определения основных понятий.

7. Кузнецов П. А. Создание эффективных систем электромагнитной защиты на основе магнитомягких аморфных и нанокристаллических сплавов Co и Fe: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук. СПб., 2005.

8. Petzold J. Advantages of soft magnetic nanocrystalline materials for modern electronic applications // J. Magnetism and Magnetic Materials. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ. Co., 2002. № 2. P. 242—245.

9. Глезер А. М. Аморфные и нанокристаллические структуры: сходства, различия, взаимные переходы // Российский химический журнал. 2002. № 5. С. 57—63.

10. Пат. 2274914 РФ. Магнитный и электромагнитный экран / П. А. Кузнецов, Б. В. Фармаковский, А. Ю. Аскинази, Я. В. Орлова, Т. В. Песков // Изобретения. Полезные модели. 2006. № 11.

11. Гудошников С. А., Венедиктов С. Н., Гребенщиков Ю. Б., Кузнецов П. А., Маннинен С. А., Васильева О. В., Криволапова О. Н., Труханов К. А., Круглов О. С., Спасский А. В. Экранирующая камера для ослабления магнитного поля Земли на основе рулонных магнитных материалов // Измерительная техника. 2012. № 3. С. 58—61.

12. Реутов Ю. Я. Классические магнитные экраны. Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2006.

Дата принятия 16.01.2015 г.

АКУСТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

620.179.16:006.354

Особенности разработки стандартных образцов для контроля ультразвуковых дефектоскопов. Ч. 1. Общие принципы построения многоэлементных стандартных образцов

А. С. СОБОЛЕВ¹, В. И. ПУДОВ¹, Ю. И. ДИДИК²

¹ Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

² Уральский научно-исследовательский институт метрологии, Екатеринбург, Россия, e-mail: lemma@uniim.ru

Рассмотрены особенности функционирования стандартных образцов при неразрушающем контроле. Показано, что стандартные образцы являются изделиями, для которых целесообразно нормировать параметры связи, отражающие зависимость информационного сигнала средств неразрушающего контроля от геометрии моделей дефекта и физических свойств испытуемого материала. Установлено, что стандартные образцы для контроля нелинейности электроакустического тракта ультразвуковых дефектоскопов отсутствуют и существует необходимость создания новой группы стандартных образцов, например, в виде многоэлементной твердотельной конструкции, содержащей однотипные модели дефектов. Применение таких образцов позволит выявить некачественные ультразвуковые дефектоскопы.

Ключевые слова: стандартный образец, модель дефекта, ультразвуковая аппаратура неразрушающего контроля.

The features of certified reference materials (CRM) applications during non-destructive testing (NDT) are considered. It is shown that these CRM are the products for which it is advisable to standardize the communication parameters showing the dependence of NDT instruments information signal from the defect model geometry and physical properties of test material. The absence of CRM to control the ultrasonic defectoscopes electroacoustic canal nonlinearity is found. There is a need to develop the general principles for creating a new group of CRM, for example, in the form of multielement solidstate design, containing the models of the same type. The application of such CRM allows to defect the poor quality ultrasonic defectoscopes.

Key words: certified reference material, defect model, ultrasonic NDT device.

Доминирующее распространение ультразвуковых методов неразрушающего контроля (НК) в промышленности привело к появлению широкого класса ультразвуковых дефек-

тоскопов (УЗД). Эти приборы представляют связанную систему, состоящую из электронного блока и первичных пьезоэлектрических преобразователей прямого и наклонного ти-