

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРОСКОПИИ

Артемов В. А., Бакунов А. С., Кудрявцев Д. А. (ЗАО «НИИИИИ МНПО «Спектр», Москва),

м.н.с., заведующий отделом, заведующий сектором

Телефон (499) 245-56-18, E-mail: info@nio12.ru

Описан новый магнитный структуроскоп МС-10, предназначенный для определения различных характеристик материалов и изделий путем определения величины коэрцитивной силы. Проведено сравнение МС-10 с его старым аналогом - магнитным структуроскопом КРМ-Ц-К2М и с коэрцитиметром КИМ-2М.

The article deals with the new magnetic structure analyzer MS-10 intended to detect physic mechanical characteristics of materials by estimating the values of coercive force — H_C . Was made a comparison MS-10 with its old analog — KRM-C-K2M and with coercimeter KIM-2M.

Ключевые слова: магнитный метод, структуроскоп, неразрушающий контроль, сравнение, автономное питание, беспроводной интерфейс, преимущество, микропроцессор, диапазон измерения, диапазон температур.

Key words: magnetic method, structure analyzer, non-destructive testing, comparison, self-contained power supply, wireless interface, advantage, microprocessor, measuring range, temperature range.

Магнитный метод неразрушающего контроля (МНК) получил широкое распространение среди специалистов в области дефектоскопии металлических конструкций. Это не случайно, так как данный вид неразрушающего контроля применяют в основном для контроля изделий из ферромагнитных материалов, т.е. материалов, которые способны существенно изменять свои магнитные характеристики под воздействием внешнего (намагничивающего) магнитного поля, а подавляющая часть металлических инженерных конструкций таких, как магистральные трубопроводы, резервуары, цистерны, корпуса судов, детали подъемных механизмов и др., выполнены из сталей, обладающих ферромагнитными свойствами. Операция намагничивания (помещения изделия в магнитное поле) при этом виде контроля является обязательной. В зависимости от конкретных задач неразрушающего контроля, марки контролируемого материала, требуемой производительности метода могут использоваться те или иные первичные параметры. К числу наиболее распространенных относятся следующие информативные параметры: коэрцитивная сила, намагниченность,

остаточная индукция, магнитная проницаемость, напряженность, эффект Бракгаузена [1].

Одним из направлений МНК является магнитная структуроскопия, основанная на использовании корреляционных связей между физико-химическими или механическими характеристиками изделий и одной или несколькими магнитными характеристиками контролируемого материала. Наиболее полно магнитные характеристики материала отражены в зависимости, известной под названием "петля магнитного гистерезиса". Форма и размеры петли гистерезиса (точнее их семейства) зависят от химического состава материала, определяющего особенности межспиновых взаимодействий, следовательно обменную энергию, кристаллографическую анизотропию, наличие и расположение примесей и атомов легирующих элементов, микро- и макронапряжения и неоднородности, наличие и расположение дислокаций, размеры зерен и т.п.

На производстве для магнитной структуроскопии уже много десятилетий широко и успешно применяется метод, основанный на измерении коэрцитивной силы H_C металла в точке контроля. Приборы, реализующие этот способ контроля, обычно называют коэрцитиметры [2,3]. Однако, название коэрцитиметр для них не совсем корректно, так как выходной сигнал этих приборов хотя и пропорционален коэрцитивной силе материала, но зависит еще и от геометрических факторов. Поэтому в настоящее время подобные приборы все чаще называют структуроскопами. Принцип работы таких приборов состоит в исполнении следующей последовательности операций: а) намагничивание контролируемого участка детали накладным преобразователем, б) последующее размагничивание этого участка нарастающим полем, в) фиксации напряженности поля, соответствующей коэрцитивной силе (это происходит в процессе выполнения предыдущего пункта).

Магнитные структуроскопы позволяют решать различные задачи неразрушающего контроля. Среди них контроль режимов термообработки (контроль твердости поверхностно упрочненных изделий), контроль глубины закалки поверхностного слоя, в ряде случаев сортировка материалов по маркам сплавов, прогнозирование остаточного ресурса объектов ответственного назначения (конструкции подъемных механизмов, сосуды высокого давления, магистральные трубопроводы) и т. д.

Специфика большинства объектов требует от контрольной аппаратуры наличия независимого источника электроэнергии. В самом деле, трудно лазить по стреле крана и тянуть за собой шнур питания от электросети. Поэтому еще в 90-е годы прошлого века проводились работы по созданию портативного магнитного структуроскопа с автономным питанием [4]. В настоящее время широко известны такие приборы как магнитный структуроскоп КРМ-Ц-К2М и портативный импульсный коэрцитиметр КИМ-2М.

При всех достоинствах данных приборов им присущ и ряд недостатков и ограничений

возможностей, связанных с использованием аналоговой схемотехники или иными технологическими решениями. Поэтому в ЗАО «НИИИИН МНПО «Спектр» на замену магнитного структуроскопа КРМ-Ц-К2М был разработан магнитный структуроскоп МС-10. Новый прибор является цифровым. Он построен на базе микропроцессора, что позволило улучшить практически все его технические характеристики. Также удалось повысить мощность намагничивающего импульса, что существенно расширило диапазон измерений. При этом применение современной элементной базы позволило уменьшить энергопотребление и повысить надежность прибора в целом. Сравнительные характеристики магнитного структуроскопа МС-10, структуроскопа КРМ-Ц-К2М и коэрцитиметра КИМ-2М приведены в таблице.

Из таблицы видно, что структуроскоп МС-10 превосходит структуроскоп КРМ-Ц-К2М и коэрцитиметр КИМ-2М по многим показателям, в числе них такие важные для конечного пользователя, как: увеличенный диапазон измерения коэрцитивной силы материала контролируемых изделий до 60 А/см, что позволяет контролировать состояние большего спектра металлоконструкций; уменьшение погрешности измерений, что дает возможность точнее оценивать состояние контролируемых изделий; расширенный диапазон рабочих температур структуроскопа (до -20°C) позволяющий работать с прибором в зимних условиях даже при значительных морозах. Более компактные по сравнению с КРМ-Ц-К2М размеры прибора делают работу с ним удобной, в том числе и благодаря большому яркому дисплею и удобному пользовательскому меню с возможностью предварительного просмотра результатов измерений.

На рис. 1 приведена функциональная схема МС-10. Здесь блок 1 управления вырабатывает управляющий сигнал на блок 2 накопительных емкостей и разрешающий сигнал на коммутатор 3. Из блока накопительных емкостей импульсы тока (амплитудой не менее 3,0 А) через коммутатор 3 подаются на преобразователь 4, который намагничивает контролируемое изделие до насыщения. Затем осуществляется автоматическая компенсация поля остаточной намагниченности по замкнутой цепи: преобразователь 4, входной усилитель 5 и коммутатор 3. После компенсации сигнал поступает на преобразователь 6 ток-напряжение, затем на масштабный усилитель 7 и после него на аналого-цифровой преобразователь 8, от которого сигнал идет на блок 1 управления. После обработки полученного сигнала блок 1 управления выдает число на цифровой индикатор 9, на котором высвечивается значение коэрцитивной силы материала. Электропитание всех узлов структуроскопа осуществляется от стабилизированного блока 10 питания.

В основу работы структуроскопа положен стандартный метод определения тока размагничивания для локального участка в замкнутой магнитной цепи, образованной

сердечником электромагнита преобразователя, прижатого полюсами к поверхности изделия и участком изделия, находящимся между полюсами, после предварительного его намагничивания. По току размагничивания участка изделия определяется его коэрцитивная сила.

Память прибора МС-10 оформлена в виде массива, состоящего из максимум 512 строк по 512 измерений в каждой. Результаты замера заносятся последовательно в строку, предварительно выбранную пользователем. Каждая последовательность может быть просмотрена на дисплее прибора в виде графика с возможностью перемещения по значениям. Также отображается максимальное и минимальное измерение в серии(строке).

Данный прибор позволяет вывести на персональный компьютер полученные измерения в графическом виде. Передача этих данных осуществляется по современному беспроводному интерфейсу Bluetooth[®], что дает дополнительное удобство пользователю. Передавать данные можно как «вручную» по команде пользователя целым массивом накопленных результатов измерений, так и автоматически после проведения каждого измерения.

На персональном компьютере данные обрабатываются в специально поставляемой программе и выводятся на дисплей в виде цветных областей (есть возможность выбора цветовой гаммы) или графика. Дополнительные возможности компьютерной обработки информации позволяют в наглядном виде представить распределение величины коэрцитивной силы по поверхности образца. Пример обработанных измерений приведен на рис.2. Данный метод обработки позволяет получать наглядную картину распределения величины коэрцитивной силы, а, следовательно, и связанных с ней структурных изменений по площади изделия.

Настройка прибора осуществляется по контрольным пластинам.

Внешний вид магнитного структуроскопа представлен на рис. 3. В его состав входят: компактный измерительный блок с аккумулятором, преобразователь, а также зарядное устройство.

Применение портативных магнитных структуроскопов позволяет проводить контроль напряженно деформированного состояния металлоконструкций не только в лабораториях или вблизи источника питания, но и в полевых условиях, что, несомненно, расширяет возможности магнитной структуроскопии.

Литература

1. **Неразрушающий контроль и диагностика:** Справочник /Под ред. Клюева В. В. - М.: Машиностроение, 1995. с. 262-265.
2. **Неразрушающий контроль:** Справочник /Под ред. Клюева В. В. В 8-и томах. - Т. 6. - М.: «Машиностроение», 2004. - с. 135-357.
3. **Щербинин В. Е., Горкунов Э. С.** Магнитный контроль качества металлов. - Екатеринбург: УрО РАН, 1996. - 264 с.
4. **Безлюдько Г.Я., Мужичкий В.Ф., Ремезов В.Б.** Серия портативных приборов-структуроскопов, основанных на измерении величины коэрцитивной силы. - Контроль. Диагностика, 2003, №6, с. 6-14.

Таблица

Сравнение технических характеристик магнитных структуроскопов МС-10,
КРМ-Ц-К2М и КИМ-2М

Технические характеристики	МС-10	КРМ-Ц-К2М	КИМ-2М
Диапазон измерения коэрцитивной силы материала контролируемых изделий	1...60 А/см	1...40 А/см	1.5...40 А/см
Предел допускаемой основной погрешности измерений коэрцитивной силы при температуре окружающего воздуха $20 \pm 5^\circ \text{C}$	не превышает $4 + 0,5(20/H_c - 1)$ А/см	не превышает $5 + 0,25(40/H_c - 1)$ А/см	не превышает $10 + 0,5(40/H_c - 1)$ А/см
Предел допускаемой дополнительной погрешности измерений коэрцитивной силы на стандартных образцах при отклонениях температуры окружающего воздуха от нормальной	на каждые 20°C не превышает 0,5 предела основной погрешности	на каждые 10°C не превышает 0,5 предела основной погрешности	—
Значение погрешности обеспечивается при зазоре между преобразователем и поверхностью контролируемого изделия	до 0.5 мм	до 0.2 мм	—
Габаритные размеры измерительного блока (длина х ширина х высота), мм	190x140x80	260x205x55	205x115x50
Масса электронного блока с аккумулятором	2.3 кг	2.5 кг	1.5 кг
Связь с компьютером для передачи данных измерения	Беспроводная, по интерфейсу Bluetooth®	Проводная, по интерфейсу RS- 232	Проводная, по интерфейсу RS- 232

Продолжение таблицы			
Диапазон температур окружающего воздуха при эксплуатации структуроскопа	от минус 20 до плюс 40° С	от минус 10 до плюс 40° С	от плюс 5 до плюс 50° С
Время непрерывной работы от аккумулятора	16 часов	8 часов	16 часов

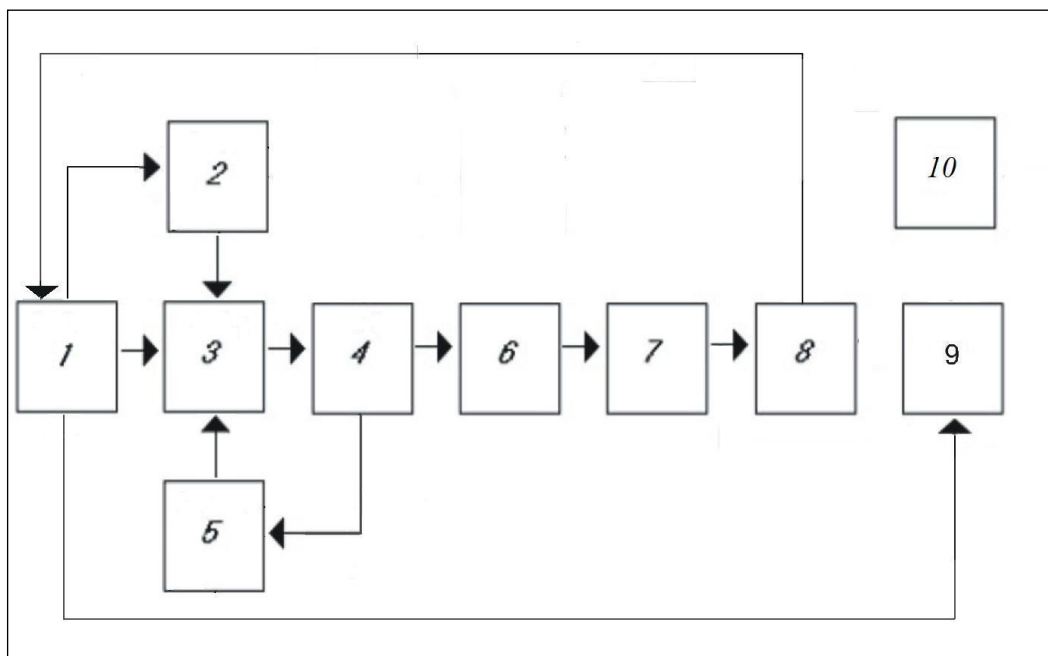


Рис.1. Функциональная схема структуроскопа магнитного МС-10

1 – схема управления, 2 – блок накопительных емкостей,
 3 – коммутатор, 4 – преобразователь, 5 – входной усилитель,
 6 – преобразователь ток-напряжение, 7 – масштабный усилитель,
 8 – АЦП, 9 – цифровой индикатор,
 10 – блок питания стабилизированный

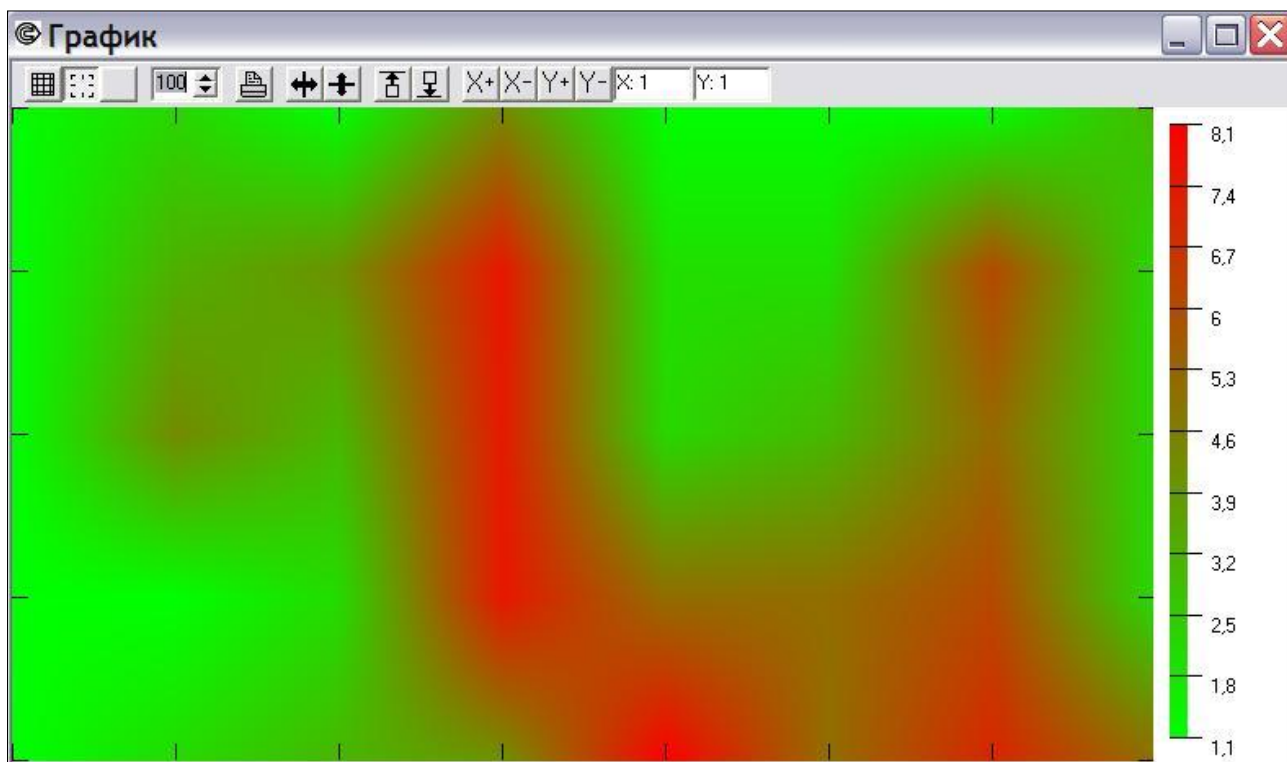


Рис. 2. Пример графического представления полученных данных



Рис. 3 Внешний вид магнитного структуроскопа MC-10

Автореферат

к статье «Современные аспекты оборудования для магнитной структуроскопии»

авторов Артемова В. А., Бакунова А. С., Кудрявцева Д. А.

Магнитный метод неразрушающего контроля (МНК) получил широкое распространение среди специалистов в области дефектоскопии металлических конструкций. Операция намагничивания (помещения изделия в магнитное поле) при этом виде контроля является обязательной. Одним из направлений МНК является магнитная структуроскопия, основанная на использовании корреляционных связей между физико-химическими или механическими характеристиками изделий и одной или несколькими магнитными характеристиками контролируемого материала. На производстве для магнитной структуроскопии уже много десятилетий широко и успешно применяется метод, основанный на измерении коэрцитивной силы H_C металла в точке контроля. В настоящее время широко известны такие приборы как магнитный структуроскоп КРМ-Ц-К2М и портативный импульсный коэрцитиметр КИМ-2М. При всех достоинствах данных приборов им присущ и ряд недостатков и ограничений возможностей, связанных с использованием аналоговой схемотехники или иными технологическими решениями. Поэтому в ЗАО «НИИИИ МНПО «Спектр» на замену магнитного структуроскопа КРМ-Ц-К2М был разработан магнитный структуроскоп МС-10, предназначенный для определения различных характеристик материалов и изделий путем определения величины коэрцитивной силы. Проведено сравнение МС-10 с его старым аналогом - магнитным структуроскопом КРМ-Ц-К2М и с коэрцитиметром КИМ-2М. Новый прибор является цифровым. Он построен на базе микропроцессора, что позволило улучшить практически все его технические характеристики. Также удалось повысить мощность намагничивающего импульса, что существенно расширило диапазон измерений. При этом применение современной элементной базы позволило уменьшить энергопотребление и повысить надежность прибора в целом. Данный прибор позволяет вывести на персональный компьютер полученные измерения в графическом виде. Передача этих данных осуществляется по современному беспроводному интерфейсу Bluetooth®. Применение портативных магнитных структуроскопов позволяет проводить контроль напряженно деформированного состояния металлоконструкций не только в лабораториях или вблизи источника питания, но и в полевых условиях, что, несомненно, расширяет возможности магнитной структуроскопии.

СПИСОК надписей к рисункам
к статье «Современные аспекты оборудования для магнитной структуроскопии»
авторов Артемова В. А., Бакунова А. С., Кудрявцева Д. А.

1. Рис.1. Функциональная схема структуроскопа магнитного МС-10
*1 – схема управления, 2 – блок накопительных емкостей,
3 – коммутатор, 4 – преобразователь, 5 – входной усилитель,
6 – преобразователь ток-напряжение, 7 – масштабный усилитель,
8 – АЦП, 9 – цифровой индикатор,
10 – блок питания стабилизированный*
2. Рис. 2. Пример графического представления полученных данных
3. Рис. 3 Внешний вид магнитного структуроскопа МС-10

Надпись к таблице
к статье «Современные аспекты оборудования для магнитной структуроскопии»
авторов Артемова В. А., Бакунова А. С., Кудрявцева Д. А.

Таблица. Сравнение технических характеристик магнитных структуроскопов МС-10, КРМ-Ц-К2М и КИМ-2М