УДК 620.179.14

ЛОКАЛЬНОЕ НАМАГНИЧИВАНИЕ ДВУСЛОЙНЫХ ОБЪЕКТОВ И НОВЫЙ ПАРАМЕТР КОНТРОЛЯ ГЛУБИНЫ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В. Н. КОСТИН, О. Н. ВАСИЛЕНКО, А. В. БЫЗОВ
ФГБУН «Институт физики металлов им. М. Н. Михеева Уральского отделения РАН»
Екатеринбург, Россия

UDC 620.179.14

LOCAL MAGNETIZATION OF 2-LAYER OBJECTS AND THE NEW PARAMETER OF THE DEPTH TESTING OF THE SURFACE HARDENING OF STEEL PRODUCTS

V. N. KOSTIN, O. N. VASILENKO, A. V. BYZOV

Аннотация

Проведено конечно-элементное моделирование распределения магнитного поля в двуслойном объекте при намагничивании П-образным электромагнитом. Смоделировано изменение величины упрочненного слоя в контролируемом объекте при помощи образцов различной толщины, располагаемых на магнитомягкой сердцевине. Обнаружена возможность контроля поверхностного упрочнения при измерении значения напряженности магнитного поля в зависимости от толщины упроченного слоя при фиксированном значении магнитного потока.

Ключевые слова:

неразрушающий контроль, контроль поверхностного упрочения, локальное намагничивание, моделирование, напряженность магнитного поля, магнитный поток, П-образный электромагнит, фиксированное значение магнитного потока.

Abstract

The finite-element simulation of the distribution of a magnetic field in the 2-layer object when the magnetizing by U-shaped electromagnet has been carried out.

The change of the thickness of a hardened layer in the tested object by means of plates having various thickness and located on a magnetic soft core has been modeled.

The opportunity of the testing of a surface hardening when measuring the value of the magnetic field strength when the fixed value of the magnetic flux in dependence on the depth of hardened layer has been revealed.

Key words:

non-destructive testing, testing of surface hardening, local magnetization, modeling, magnetic field strength, magnetic flux, U-shaped electromagnet, fixed value of the magnetic flux.

Несмотря на существующее к настоящему времени широкое многообразие методов неразрушающего контроля качества поверхностного упрочнения, среди которых имеются такие методы, как акустические, фототер-

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/xmlui/

мические, радиационные, наиболее распространенными методами контроля качества упрочнения остаются магнитные методы и коэрцитиметрический метод, в частности.

Хорошо известно, что для того, чтобы раздельно определить и глубину, и твердость упрочненного слоя необходимо дважды в одной и той же точке поверхности измерить среднюю по промагниченному объему величину коэрцитивной силы контролируемого участка изделия с помощью двух приставных преобразователей различных типоразмеров [1]. А это непосредственно заметно увеличивает трудоемкость проведения процедуры контроля. Вследствие изложенного выше, существует необходимость выполнять контроль с помощью одного преобразователя с определением магнитных параметров, которые давали бы независимую информацию о глубине и твердости слоя.

Задачей данной работы являлось определение оптимальных параметров для измерения глубины упрочненного слоя при локальном намагничивании двуслойного ферромагнитного объекта, имитирующего упрочненный твердый поверхностный слой и неупрочненную мягкую сердцевину исследуемого объекта контроля.

В ходе первого этапа работы было выполнено численное моделирование пространственного распределения магнитного поля и магнитного потока в двуслойных объектах. Исследование проводилось путем численного моделирования с использованием программного комплекса ANSYS. На рис. 1 графически представлена модель локально намагничиваемого П-образным электромагнитом массивного двуслойного объекта, толщина «упрочненного» слоя D которого в процессе моделирования варьировалась в диапазоне от нуля до 15 мм.

Магнитные свойства слоя, имитирующего поверхностное упрочнение: $H_c = 35\ A/см$, $\mu = 40$. Свойства нижнего слоя, имитирующего сердцевину изделия: $H_c = 5\ A/см$, $\mu = 200$. Размеры объекта контроля составляли: высота 230 мм, ширина 300 мм, толщина 56 мм. Размеры приставного электромагнита составляли: высота 100 мм, размер полюса 15x28 мм. Магнитодвижущая сила равнялась 1800 Ампер-витков.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/xmlui/

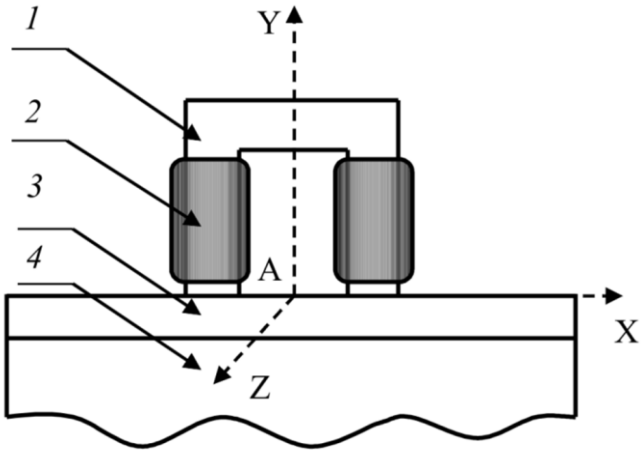


Рис. 1. Расчетная модель локально намагничиваемого П-образным электромагнитом массивного двуслойного объекта: 1 – магнитопровод; 2 – обмотки намагничивания; 3 – упрочненный слой; 4 – сердцевина изделия

Результаты моделирования системы «П-образный электромагнит-двуслойный объект» показали, что средняя плотность магнитного потока в «упрочненном» слое остается практически неизменной при увеличении D от нуля до 15 мм. Однако при $D \geq 5\ мм$ плотность магнитного потока становится неодинаковой на различных глубинах этого слоя, уменьшаясь от верхней к нижней границе. Это различие увеличивается с ростом толщины слоя D. При D = 10 мм величина магнитной индукции B на поверхности и на нижней границе «упрочненного» слоя отличается примерно в 2 раза.

При неизменной величине магнитодвижущей силы электромагнита поле на поверхности намагничиваемого объекта в середине межполюсного пространства монотонно растет с ростом толщины «упрочненного» слоя. Соответствующая зависимость приведена на рис. 2. Исходя из результатов моделирования, возможен контроль глубины упрочненного слоя по величине напряженности магнитного поля, измеряемого на поверхности локально намагничиваемого объекта контроля.

Идея метода, заключающаяся в определения значений напряженности магнитного поля и магнитного потока в изделии, была реализована с помощью аппаратно-программной системы (АПС) магнитной структуроскопии DIUS-1.15M, которая предназначена для многопараметровой структуроскопии ферромагнитных изделий.

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/xmlui/

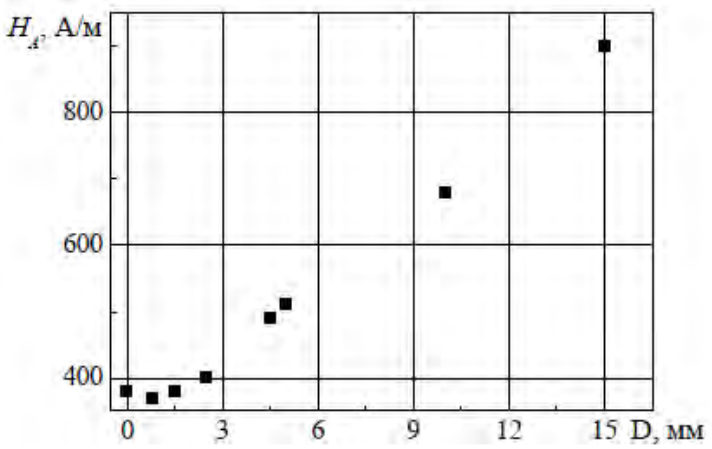


Рис. 2. Расчетная зависимость напряженности магнитного поля в межполюсном пространстве электромагнита на поверхности двуслойного объекта от толщины «упрочненного» слоя при фиксированной магнитодвижущей силе

На рис. 3 представлено схематическое изображение приставного измерительного преобразователя системы, помещенного на контролируемое изделие (г). Преобразователь состоит из сплошного П-образного магнитопровода (а) с двумя намагничивающими обмотками (в), отверстием-преобразователем (б) и двумя датчиками Холла (д). Ширина полюса электромагнита равна 12 мм.

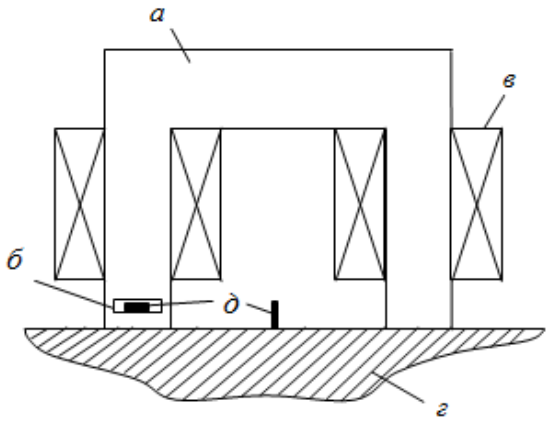


Рис. 3. Схематическое изображение приставного электромагнита с отверстием-преобразователем

С помощью шлифованных пластин различной толщины, изготовленных из закаленной стали 62С2, смоделировано изменение толщины упрочненного слоя на шлифованной плите с размерами 100×170×34 мм, изготовленной из отожженной стали 3.

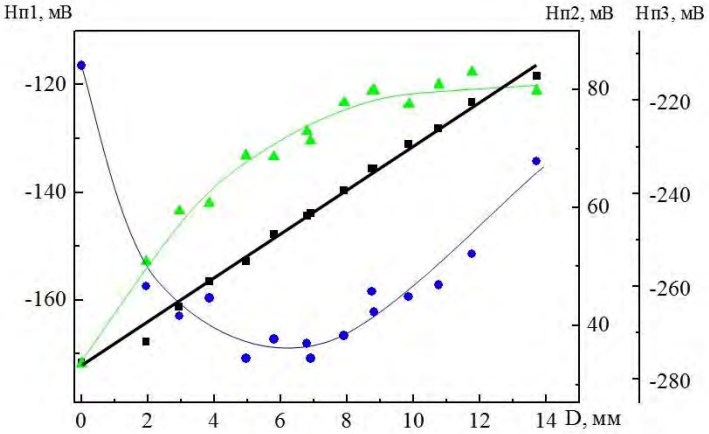
С помощью АПС DIUS-1.15M были измерены относительные значения напряженности магнитного поля на поверхности двуслойного объекта, после его перемагничивания по нисходящей ветви петли гистерезиса до фиксированного значения магнитного потока, при различной толщине упрочненного слоя.

На рис. 4 представлены зависимости относительной величины напряженности магнитного поля на поверхности двуслойного объекта, после его

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/xmlui/

перемагничивания по нисходящей ветви петли гистерезиса до фиксированного относительного значения магнитного потока (850, 100, -500 мВб), от толщины упрочненного слоя.

Установлено, что зависимость, представленная на рис. 4, при относительном значении магнитного потока, равного 100 мВб, имеет линейно-возрастающий характер при увеличении глубины упрочненного слоя.



● $\Phi_П$ = 850 мВб; ■ $\Phi_П$ = 100 мВб; ▲ $\Phi_П$ = –500 мВб

Рис. 4. Зависимости относительной величины напряженности магнитного поля на поверхности двуслойного объекта, после его перемагничивания по нисходящей ветви петли гистерезиса до фиксированного значения магнитного потока, от толщины упрочненного слоя

В ходе выполнения данной работы в результате численного моделирования была установлена возможность определения глубины упрочненного слоя на поверхности массивной магнитомягкой сердцевины по величине магнитного поля на поверхности локально намагничиваемого объекта. А также было обнаружено, что возможно определять глубину упрочненного слоя по величине магнитного поля, соответствующего заданному значению магнитного потока на нисходящей ветви петли магнитного гистерезиса. При этом, в отличие от известной коэрцитиметрической методики, диапазон контролируемых толщин может превышать толщину полюсов приставного электромагнита.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Щербинин, В. Е.** Магнитный контроль качества металлов: монография / В. Е. Щербинин, Э. С. Горкунов. – Екатеринбург: УрО РАН. – 1996. – С 205–206.

E-mail: kostin@imp.uran.ru
vasilenko@imp.uran.ru
a.v.byzov@mail.ru

Электронная библиотека Белорусско-Российского университета
http://e.biblio.bru.by/xmlui/