

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДАТЧИКОВ ПОЛЯ И ПОТОКА В ПРИСТАВНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ МАГНИТНЫХ СТРУКТУРОСКОПОВ

© 2024 г. А. В. Батуева^{1,*}, О. Н. Василенко^{1,**}, В. Н. Костин^{1,***}

¹Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Россия 620108 Екатеринбург, ул. Софьи
Ковалевской, 18

E-mail: *batuevaav@imp.uran.ru; **vasilenko@imp.uran.ru; ***kostin@imp.uran.ru

Поступила в редакцию 16.05.2024; после доработки 29.05.2024

Принята к публикации 31.05.2024

Для решения задач магнитного контроля актуальна оптимизация типоразмеров намагничивающих устройств. С целью получения сведений и особенностей о пространственном распределении магнитных поля и потока в зоне контроля была смоделирована замкнутая магнитная цепь «приставной преобразователь—объект контроля». Рассмотрены модели с различными конструктивными особенностями приставного преобразователя. В качестве объектов для исследования использовались образцы с отличающимися друг от друга магнитными свойствами. Результаты обработки данных показали асимметрию распределения тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля в зоне контроля при конструкции приставного преобразователя с одной щелью-преобразователем.

Ключевые слова: замкнутая магнитная цепь, межполюсное пространство, моделирование, напряженность магнитного поля, приставной П-образный преобразователь.

OPTIMIZATION OF FIELD AND FLUX TRANSDUCER LOCATIONS IN ATTACHABLE TRANSDUCERS OF MAGNETIC STRUCTUROSCOPES

© 2024 A. V. Batueva^{1,*}, O. N. Vasilenko^{1,**}, V. N. Kostin^{1,***}

¹Institute of Metals Physics, Ural Branch of RAS,
Russia 620108 Yekaterinburg, Sofya Kovalevskaya Str., 18

E-mail: *batuevaav@imp.uran.ru; **vasilenko@imp.uran.ru; ***kostin@imp.uran.ru

Optimization of magnetizing devices' standard sizes is relevant for solving magnetic control problems. In order to obtain detailed information and feature about spatial distribution of field and flux in the control zone, a closed magnetic circuit "attachment transducer — control object" was modeled. The models with different design features of the dowel transducer were considered. Samples with different magnetic properties were used as objects for investigation. The results of data processing showed the asymmetry of the distribution of the tangential component of the magnetic field strength in the control zone at the design of the transducer with one slot.

Keyword: closed magnetic circuit, interpole space, modeling, magnetic field strength, attached U-shaped transducer.

DOI: 10.31857/S0130308224060083

ВВЕДЕНИЕ

Для решения вопросов оптимизации типоразмеров намагничивающих устройств, а также для месторасположения датчиков поля и потока, необходимы детальные сведения о пространственном распределении поля и потока внутри объектов контроля и на поверхности объектов в зоне контроля. В рамках решения конкретной магнитной задачи необходимо выбрать оптимальные размеры и конструкцию приставного преобразователя [1, 2].

Целью данной работы является исследование пространственного распределения магнитных полей и потоков в составной замкнутой магнитной цепи «преобразователь—объект контроля» при варьировании количества и месторасположения щелей-преобразователей в полюсах П-образного приставного преобразователя для проведения магнитных измерений посредством датчиков поля.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБРАЗЦЫ

В наше время существуют разные по сложности и направленности программы для плоскостного и пространственного моделирования распределений магнитного потока и поля. Одной из наиболее используемых программ на развивающемся рынке моделирования электромагнитных задач считается Comsol Multiphysics. Модуль AC/DC позволяет проводить автомати-

ческий инженерный анализ, получать решение и обрабатывать результаты, значительно сокращая время на исследования.

В данной работе в программном пакете COMSOL Multiphysics были построены модели приставного преобразователя и объекта контроля. В работах [3, 4] было экспериментально доказано эффективное расположение датчиков Холла вблизи объектов контроля в полюсах электромагнита, именно поэтому было принято решение исследовать влияние наличия щелей-преобразователей в полюсах П-образного приставного преобразователя на распределение магнитных полей и потоков в зоне контроля (межполюсном пространстве преобразователя в объекте контроля) [5].

В качестве объекта контроля использовались образцы остаточной магнитной индукции (ОМИ). Образцы ОМИ были выбраны таким образом, чтобы оценить взаимосвязь типоразмеров преобразователя и магнитных характеристик образцов. Коэрцитивная сила материалов ОМИ варьировалась в диапазоне от 5,76 до 81,1 А/см. Остаточная магнитная индукция варьировалась в диапазоне 0,216 до 1,52 Т. Данные о магнитных характеристиках образцов ОМИ представлены в табл. 1. В качестве материала сердечника приставного преобразователя использовалось АРМКО-железо.

Сечение полюса приставного преобразователя составляло 12×28 мм. Межполюсное расстояние преобразователя равнялось 32 мм, центр находился в точке 16 мм, отсчитывая от грани полюса со щелью-преобразователем (полюс 1). Магнитодвижущая сила в одной катушке составила 1950 ампер-витков.

Таблица 1

Магнитных характеристики образцов ОМИ

Материал	B_r , Т	H_{cb} , А/см	H_{cp} , А/см	μ_{max}	H_{max} , А/см	B_{max} , Т
ОМИ 1	0,216	81,1	83	17	574	0,491
ОМИ 4	0,826	27	27	171	554	1,46
ОМИ 5	0,927	31,5	31,5	156	546	1,67
ОМИ 7	1,29	7,59	7,6	719	542	2,11
ОМИ 9	1,52	5,76	5,76	983	542	2,1

3D-модели приставного преобразователя и образца ОМИ представлена на рис. 1.

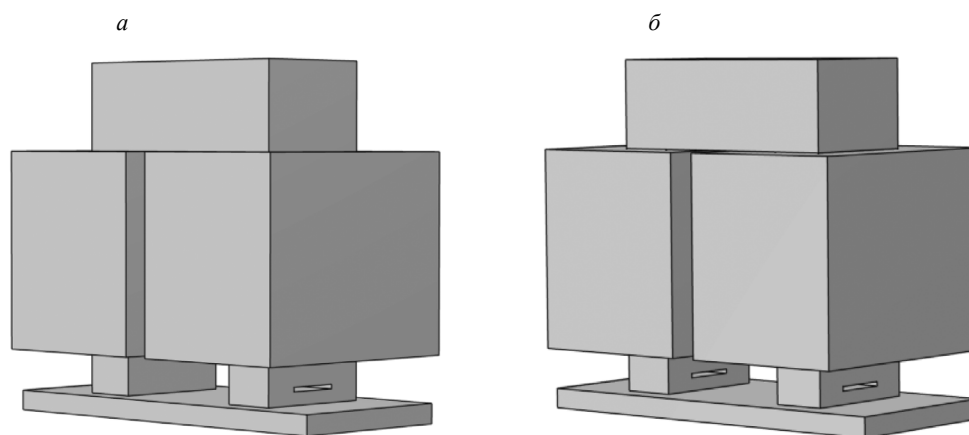


Рис. 1. 3D-модель приставного преобразователя с 1 щелью (а) и с 2 щелями (б).

В ходе работы проводилось исследование распределения тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля в межполюсном пространстве преобразователя на поверхности объекта контроля от полюса 1 до полюса 2 в трех случаях. При отсутствии щелей в приставном преобразователе, при наличии одной щели в полюсе 1, а также при наличии двух щелей в обоих полюсах приставного преобразователя. Контур исследования представлен на рис. 2.

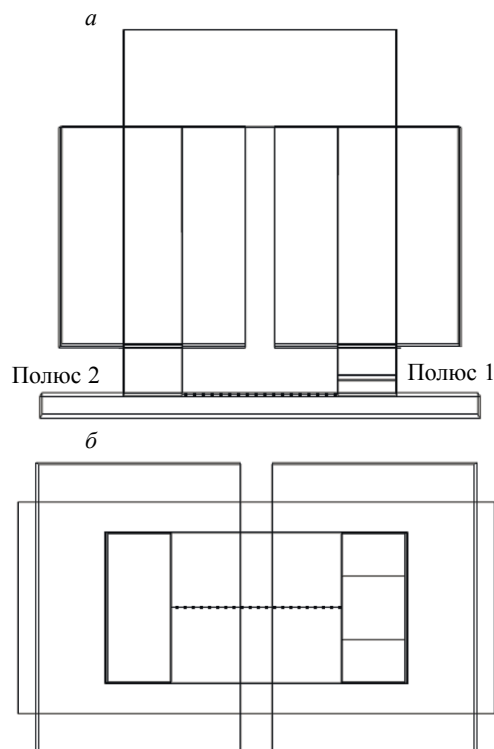


Рис. 2. Контур исследований в межполюсном пространстве приставного преобразователя: фронтальный вид (а) и вид сверху (б).

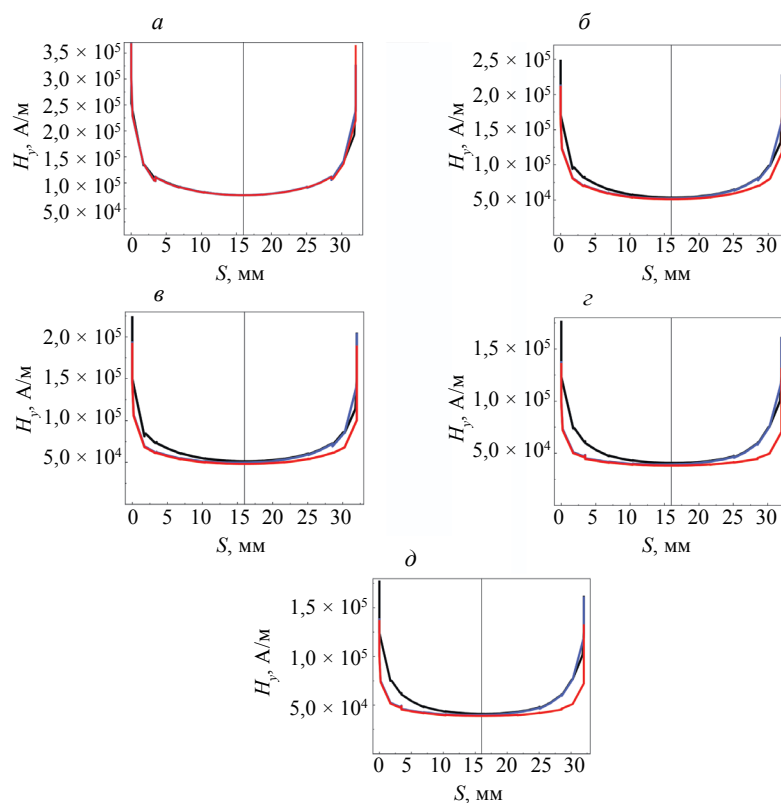


Рис. 3. Зависимости тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля в межполюсном пространстве на поверхности объекта контроля образцов: ОМИ 1 (а), ОМИ 4 (б), ОМИ 5 (в), ОМИ 7 (г) и ОМИ 9 (д).

На рис. 3 представлены зависимости компоненты напряженности магнитного поля от контура исследования в межполюсном пространстве на поверхности объекта контроля при различных материалах ОМИ 1 (а), ОМИ 4 (б), ОМИ 5 (в), ОМИ 7 (г) и ОМИ 9 (д).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты моделирования показали, что для моделей с приставным преобразователем без щелей-преобразователей и при наличии двух щелей положение координаты минимума тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля не меняется при изменении магнитных свойств объекта контроля и находится в точках практически по центру зоны контроля.

Обработка результатов данных для моделей с приставным преобразователем при наличии одной щели-преобразователя в полюсе 1 продемонстрировала асимметрию распределения тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля, т. е. наблюдалось смещение положения координаты минимума в сторону полюса, имеющего щель, что показано в табл. 2. Также на величину смещения координаты минимума влияли магнитные свойства материалов образцов ОМИ.

Таблица 2

Положение координат минимума H_t			
Материал	Без щелей	С 1 щелью	С 2 щелями
ОМИ 1	15,95 мм	15,95 мм	15,95 мм
ОМИ 4, ОМИ 5	16,22 мм	15,3 мм	15,95 мм
ОМИ 7, ОМИ 9	16,22 мм	13,59 мм	15,95 мм

Стоит отметить, что для материала со значением коэрцитивной силы 81,1 А/см положение координаты минимума тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля находилось в точке 15,95 мм и не изменялось при наличии щелей, т.к. не достигалось техническое насыщение образца (образец ОМИ 1).

ВЫВОДЫ

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что при конструировании приставных преобразователей магнитных структуроскопов, а также при выборе месторасположения датчиков поля обязательно должна быть учтена асимметрия распределения магнитного поля в зоне контроля. Отмечено, что при данных конструктивных особенностях приставного П-образного преобразователя при исследовании высококоэрцитивных образцов не достигается состояние магнитного насыщения материала образца, что является необходимым при измерении магнитных характеристик вещества объектов контроля.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме «Диагностика» №122021000030-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костин В.Н., Лукиных О.Н., Смородинский Я.Г., Костин К.В. Моделирование пространственного распределения поля и индукции в локально намагничиваемых массивных объектах и оптимизация конструкции П-образных преобразователей // Дефектоскопия. 2010. № 6. С. 13—21.
2. Костин В.Н., Василенко О.Н., Бызов А.В. Мобильная аппаратно-программная система магнитной структуроскопии DIUS-1.15M // Дефектоскопия. 2018. № 9. С. 47—53.
3. Костин В.Н., Царькова Т.П., Сажина Е.Ю. Измерение относительных значений магнитных свойств вещества контролируемых изделий в составных замкнутых цепях // Дефектоскопия. 2001. № 1. С. 15—26.
4. Горкунов Э.С., Табачник В.П. Изучение эффективности расположения датчика Холла в приставном магнитном устройстве, используемом для регистрации коэрцитивной силы локального участка изделия // Дефектоскопия. 2008. № 6. С. 3—8.
5. Костин В.Н., Василенко О.Н., Михайлов А.В., Лукиных Н.П., Ксенофонов Д.Г. О преимуществах локального измерения коэрцитивной силы ферромагнитных объектов по внутреннему полю // Дефектоскопия. 2020. № 7. С. 21—27.

REFERENCES

1. *Kostin V.N., Lukinykh O.N., Smorodinskii Y.G., Kostin K.V.* Simulation of field and inductance spatial distribution in locally magnetized massive objects and optimization of u-shaped transducer design // Defektoskopiya. 2010. No. 6. P. 13—21.
2. *Kostin V.N., Vasilenko O.N., Byzov A.V.* DIUS-1.15M mobile hardware–software structuroscopy system // Defektoskopiya. 2018. No. 9. P. 47—53.
3. *Kostin V.N., Tsar'kova T.P., Sazhina E.Yu.* Measuring of relative quantity of magnetic properties of tested articles in complex closed magnetic circuits // Defektoskopiya. 2001. No. 1. P. 15—26.
4. *Gorkunov E.S., Tabachnik V.P.* Study of arrangement efficiency of hall sensors of an attachable magnetic instrument used for recording the coercive force of a local area of an article // Defektoskopiya. 2008. No. 6. P. 3—8.
5. *Kostin V.N., Vasilenko O.N., Mikhailov A.V., Lukinykh N.P., Ksenofontov D.G.* On the advantages of local measurement of coercive force of ferromagnetic objects based on internal field // Defektoskopiya. 2020. No. 7. P. 21—27.