

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОРМЫ ДЕФЕКТА ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПЛАСТИНЫ ПУТЕМ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ МАГНИТОСТАТИКИ И СЕРИИ ПРЯМЫХ ЗАДАЧ

© 2024 г. Андрей Владимирович Никитин^{1*}, Л. В. Михайлов^{1**},
А. В. Михайлов^{1***}, Ю. Л. Гобов^{1****}, В. Н. Костин^{1*****}, Я. Г. Смородинский^{1*****}
¹ – ИФМ УрО РАН, 620108 Екатеринбург, ул. Софьи Ковалевской, д. 18
* - an@imp.uran.ru; ** - mikhaylov_lv@imp.uran.ru; *** - mikhaylov@imp.uran.ru;
**** - go@imp.uran.ru; ***** - kostin@imp.uran.ru; ***** - jack.sm@mail.ru

Работа посвящена задаче восстановления формы границы металла в зоне поверхностного дефекта пластины из магнитомягкого ферромагнетика по измеренным компонентам магнитного поля при одностороннем доступе к пластине. Это означает, что магнитное поле может быть измерено как над бездефектной поверхностью металла, так и над поверхностью с дефектом.

На начальном этапе развития неразрушающего контроля магнитным методом предполагалось, что при помощи различных подходов, путем сравнения топографии измеренного магнитного поля над поверхностью объекта контроля, содержащего дефект, с топографией поля эталонного дефекта (модельного дефекта во внешнем намагничивающем магнитном поле, с рассчитанной топографией магнитного поля рассеяния) удастся определить тип и геометрические параметры формы обнаруженного дефекта. Однако большое разнообразие дефектов не позволяет устойчивым образом решить такую задачу. Непосредственное восстановление границы металла в зоне дефекта по измеренным компонентам создаваемого им магнитного поля рассеяния связано с решением обратной геометрической задачи магнитостатики. В общем случае, обратные задачи некорректны, поскольку их решения могут быть многозначными или неустойчивыми к параметрам задачи. Так, в работе [1] для обратной задачи магнитостатики была доказана ее принципиальная математическая неоднозначность в общем случае. Однако доказано [2], что, если из всего пространства функций, являющихся решениями обратной задачи, можно выделить компактное множество, для каждой функции которого существует и единственно решение прямой задачи, то на таком классе функций обратная задача является корректной (условная корректность по Тихонову), а такой класс функций — классом корректности. Следуя [3], можно доказать, что в трехмерном случае классом корректности являются формы дефектов, поверхность которых описывают функции, с заданной точностью представимые отрезком двойного ряда Фурье. Следует отметить, что это класс однозначных, непрерывных, ограниченных функций. В [4] показано, что для магнитомягких ферромагнетиков, используя магнитные линии, можно с хорошей

точностью реконструировать локальную геометрию металла в зоне дефекта при условии, что форма дефекта представима функцией из класса корректности. Необходимо отметить, что для трещин и трещинообразных дефектов (в [5] имеется определение таких дефектов) невозможно реконструировать локальную геометрию металла с помощью магнитных линий. В данной работе мы такие дефекты рассматривать не будем.

Таким образом, используя методику, описанную в [4, 6], можно восстановить локальную геометрию металла в зоне дефекта по измеренным над одной из поверхностей ферромагнитной пластины компонентам магнитного поля рассеяния дефекта. Стоит отметить, что дефект хорошо локализуется в плоскости пластины топографией измеренного магнитного поля.

В результате приближенного решения обратной геометрической задачи магнитостатики получим форму реконструированного дефекта и можем решить прямую задачу по вычислению магнитного поля от него. Далее можно определить расстояние между множествами измеренного в точках над поверхностью пластины величинами магнитного поля и рассчитанного в этих точках величинами магнитного поля (например, по метрике C , [7]). Минимальное расстояние между этими множествами соответствует наилучшему приближению реконструированного дефекта к реальному.

Работа выполнена в рамках государственного задания МИНОБРНАУКИ России (тема «Диагностика», Г.р. №122021000030-1).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дякин В.В., Кудряшова О.В., Раевский В.Я. К вопросу корректности прямой и обратной задачи магнитостатики. Часть 2 // Дефектоскопия. 2018. V. 10. P. 15—25.
2. Лаврентьев М.М. О некоторых некорректных задачах математической физики. М.: СО АН СССР, 1962.
3. Кротов Л.Н. Моделирование обратной геометрической задачи магнитостатики в магнитном контроле. Диссертация на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, ПГТУ, Пермь, 2004.
4. Никитин А.В., Гобов Ю.Л., А. В. Михайлов А.В., Михайлов Л.В. Методика решения обратной геометрической задачи магнитостатики для поверхностных дефектов магнитомягкого ферромагнетика // Дефектоскопия. 2022. V. 58. P. 24—34.
5. Specifications and requirements for in-line inspection of pipelines. 2016. <https://pipelineoperators.org/>.
6. Никитин А.В., Михайлов А.В., Михайлов Л.В., Гобов Ю.Л., Костин В.Н., Смородинский Я.Г. Область применимости методики построения линий магнитной индукции для дефектометрии протяженных объектов // Дефектоскопия. 2023. V. 59. P. 51—59.
7. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. Москва: Изд. «Наука», главная редакция физ.-мат. литературы, 1986. 285 с.