

УДК 621.318

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ФЕРРОМАГНЕТИКОВ ПРИ СИЛОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

А.А. Степанов, к.ф.-м.н., доцент, М.В. Барбашова, аспирант, ХНАДУ

Аннотация. Данная работа посвящена идентификации магнитных характеристик в режиме реального силового воздействия при магнитно-импульсном притяжении тонкостенных листовых ферромагнетиков. Предложена и теоретически обоснована методика определения магнитной проницаемости исследуемых образцов.

Ключевые слова: магнитная проницаемость, тонкостенный листовой металл, магнитно-импульсное поле

ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТНОЇ ПРОНИКНОСТІ ФЕРРОМАГНЕТИКІВ ПРИ СИЛОВОМУ ВПЛИВІ ІМПУЛЬСНИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ

О.О. Степанов, к.ф.-м.н., доцент, М.В. Барбашова, аспирант, ХНАДУ

Анотація. Дана робота присвячена ідентифікації магнітних характеристик в режимі реального силового впливу при магнітно-імпульсному притяганні тонкостінних листових ферромагнетиків. Запропоновано і теоретично обґрунтовано методику визначення магнітної проникності досліджуваних зразків.

Ключові слова: магнітна проникність, тонкостінний листовий метал, магнітно-імпульсне поле.

DETERMINATION OF MAGNETIC PERMEABILITY FERROMAGNETICS AT FORCE ACTION MAGNETIC PULSE FIELDS

A. Stepanov, assistant professor, cand. phys.-math. sc., cand.,
M. Barbashova, postgraduate, KhNAHU

Abstract. This work is devoted to the identification of the magnetic characteristics of a real force action at the magnetic-pulse attraction thin-walled sheet of ferromagnetics. Method of determining the permeability of the samples is proposed and theoretically justified.

Key words: magnetic permeability, thin-walled sheet metal, magnetic-pulse field

Введение

В Харьковском национальном автомобильно-дорожном университете (ХНАДУ) работает лаборатория электромагнитных технологий, одной из областей деятельности которой, является магнитно-импульсное притяжение тонкостенных листовых металлов (в частности, металл кузовов автомобилей). С появлением разработок производственных опера-

ций, основанных на данном эффекте, определение магнитной проницаемости объектов обработки при реальном силовом воздействии становится весьма актуальной. После проведенных исследований появились основания полагать, что величина данного параметра, даже незначительно больше единицы, определяет амплитуды возбуждаемых сил магнитного притяжения заготовки к источнику поля – индуктору [1, 2, 3].

Достоверность последнего утверждения, как и численной аппроксимации относительной магнитной проницаемости, в цитируемых работах, требует проведения измерений в реальных экспериментах при силовом воздействии импульсных магнитных полей.

Цель работы

Теоретическое обоснование предложенной методики измерений и определения магнитной проницаемости тонкостенных листовых ферромагнетиков при силовом воздействии импульсных магнитных полей.

Методика измерения

Для определения относительной магнитной проницаемости целесообразно использовать индукционные датчики, представляющие собой многovitковые катушечные зонды, выполненные на полом диэлектрическом каркасе [4].

В теле ферромагнитной листовой заготовки от центра к периферии выполняются два прямоугольных выреза. Их взаимное расположение: либо по радиусам под прямым углом (рис.1б), либо по диаметру в противоположные стороны (рис.1а). В одном из них полностью удалён металл. Здесь вместо удалённого металла крепится плоская прямоугольная вставка из диэлектрика. В другом оставлена полоска металла. Поперечные размеры вставки и металлической полоски таковы, что на них можно надеть полый диэлектрический каркас измерительного индукционного датчика.

Ферромагнитная листовая заготовка с вырезом устанавливается на рабочую поверхность индуктора – инструмента магнитно-импульсного притяжения. В режиме силового воздействия индуцированные электрические сигналы с обмоток идентичных датчиков непосредственно или через интегратор подаются на вход осциллографа. Заметим, что можно использовать один датчик, помещая его попеременно на диэлектрическую и металлическую полоски в вырезах.

Отношение сигналов с обмоток датчиков даст величину различных видов проницаемости ферромагнитной заготовки в режиме реального импульсного силового воздействия.

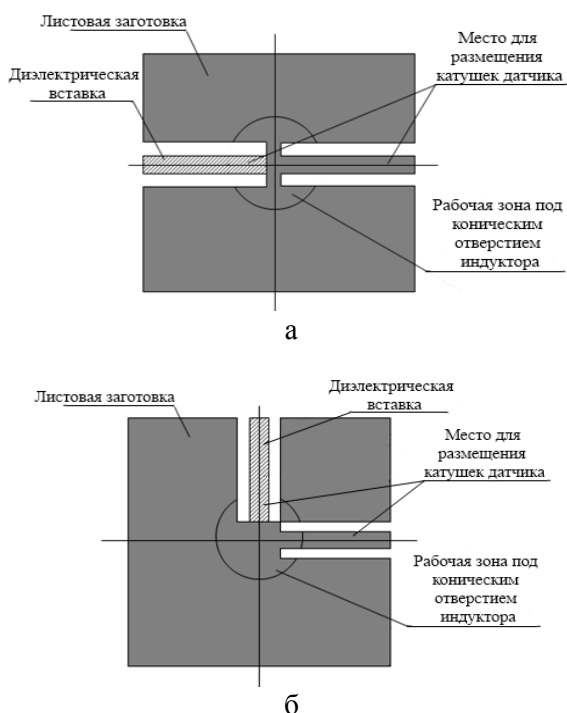


Рис. 1. Объект исследования, эскиз листовой заготовки

Наиболее близким к настоящему предложению является известный индукционный метод измерения магнитных характеристик металлов. Он позволяет определять зависимости индукции и намагничённости от напряжённости магнитного поля, петлю гистерезиса и различные виды проницаемости. Индукционный метод основан на измерении Э.Д.С. индукции, которая возбуждается во вторичной обмотке при пропускании намагничивающего переменного тока через первичную обмотку образца [3, 5].

Отношение сигналов с обмоток датчиков даст величину магнитной проницаемости ферромагнитной заготовки в режиме реального импульсного силового воздействия.

Достоверность рабочих соотношений должна подтверждаться физически обоснованной корректной постановкой задач и достаточно строгими математическими выкладками. Поэтому для получения аналитических выражений используются фундаментальные зависимости, описывающие процессы в теории электромагнитного поля – уравнения Максвелла и материальные связи между характеристиками полей [4, 6]. Далее, тождественным образом преобразовываем их к виду, пригодному для практического использования.

Поскольку речь идёт о выводах, описывающих интегральные характеристики (то есть, процесс в целом), необходимо использовать математический аппарат усреднения по пространственным координатам и времени [7, 8].

В результате, после проведенных нами вычислений были получены выражения, которые определяют динамическую (1) и относительную (2) магнитные проницаемости. Усреднение магнитных характеристик по пространственным переменным проведено с учётом функциональных зависимостей от дискретных значений обобщённых координат – ζ_k , фиксирующих места расположения датчиков в рабочей зоне индукторной системы [9, 10].

$$\bar{\mu}_n = \frac{\sum_{k=1}^N \left(\int_0^T \epsilon_{\mu_r \neq 1}(t, \zeta_k) \cdot dt \right)}{\sum_{k=1}^N \left(\int_0^T \epsilon_{\mu_r = 1}(t, \zeta_k) \cdot dt \right)}, \quad (1)$$

где $\epsilon_{\mu_r \neq 1}(t, \zeta_k)$ - возбуждаемое Э.Д.С. в катушке индукционного датчика, размещённого на диэлектрической вставке заготовки, $\epsilon_{\mu_r = 1}(t, \zeta_k)$ - возбуждаемое Э.Д.С. в катушке индукционного датчика, размещённого на ферромагнитной вставке заготовки, T - длительность импульса, N - число точек расположения обмоток измерителя.

$$\bar{\mu}_r = \frac{\sum_{k=1}^N \left[\int_0^T \left(\int_x \epsilon_{\mu_r \neq 1}(t, \zeta_k) \cdot dt \right) dx \right]}{\sum_{k=1}^N \left[\int_0^T \left(\int_x \epsilon_{\mu_r = 1}(t, \zeta_k) \cdot dt \right) dx \right]}. \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) представляют собой соотношения для расчёта средних значений динамической и относительной магнитной проницаемости листовых заготовок в практике МИОМ.

Выводы

Предложена методика измерения магнитных характеристик в режиме реального силового воздействия при магнитно-импульсном притяжении тонкостенных листовых ферромагнетиков;

Рабочие соотношения приведены к виду, по-

зволяющему характеризовать как пространственно-временную зависимость проницаемостей, так и давать интегральную информацию о магнитном состоянии обрабатываемой заготовки по усреднённым показателям магнитных свойств её металла.

Литература

1. Patent US 2008/0163661A1, Jul.10,2008. Dent removing method and device. R. Meichtry, I. Kouba
2. Батыгин Ю. В. Особенности возбуждения электромагнитных сил при магнитно-импульсной обработке листовых ферромагнетиков / Ю. В. Батыгин, Гнатов А. В. – Техн. электродинамика. – К: 2012. – №1.
3. Круг К. А. Основы электротехники / К. А. Круг. – М-Л: Главная редакция энергетической литературы. 1936. – 887с.
4. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля / Г. Кнопфель – М: «Мир». 1972. – 380с.
5. Туровский, Я. Техническая электродинамика / Я. Туровский – М: "Энергия". 1974. – 488С.
6. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лившиц – М: «Наука». 1982. – 620с.
7. Мэтьюз Дж. Математические методы физики / Дж. Мэтьюз, Р. Уокер, Пер. с англ. Крайнова В. П. – М: Атомиздат. 1972. – 399с.
8. Корн Г. Справочник по математике. 4-е изд / Г. Корн, Т. Корн– М: «Наука». 1978. – 830с.
9. Батыгин Ю. В. Притяжение тонкостенных металлических листов магнитным полем одновиткового индуктора / Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов, С. А. Щиголева – Электричество. – М: 2011. – №4.
10. Батыгин Ю. В. Экспериментальные исследования магнитно-импульсного притяжения тонкостенных листовых металлов / Ю. В. Батыгин, С. Ф. Головащенко, А. В. Гнатов, Д. О. Смирнов– Электротехника і електромеханіка.– Харків: 2010. –№3.

Рецензент: Ю.В. Батыгин, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 7 октября 2013 г.