

В.И. ПУДОВ, А.С. СОБОЛЕВ, А.С. ДОРОШЕК  
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ УрО РАН»

Екатеринбург, Россия

Для исследования образцов из ферромагнитных материалов, подвергнутых разным видам обработки, отсутствуют промышленного изготовления устройства, позволяющие путем экспресс-анализа получить данные об изменении их магнитных характеристик. Для устранения данной проблемы разработана установка, позволяющая изучать частные и предельные квазистатические петли гистерезиса образцов.

Она состоит из программируемого источника напряжения-тока и быстроедействующего веберметра, к которым подключается система намагничивания с измерительными катушками и исследуемыми образцами. Процесс измерения проходит под управлением компьютера. Программируемый источник питания содержит ЦАП, усилитель мощности и сменный, механически переключаемый аттенюатор на прецизионных резисторах. Веберметр состоит из 4-х автономных блочных элементов: усилителя сигнала, преобразователя напряжение-частота с заданной длительностью такта, реверсивного счетчика с регистрами и коммутируемого источника опорного напряжения калибровки. Намагничивание разомкнутых образцов осуществляется в соленоидах.

Установка также содержит магнитометр, предназначенный для ориентации образца в пространстве и контроля магнитной обстановки в окружающей среде или в помещении. Она обеспечивает максимальное магнитное поле напряженностью 1500 А/м, величину кванта потока  $6 \cdot 10^{-9}$  Вб, диапазон рабочих частот (для квазистатических петель) - 0–40 Гц, число регистрируемых периодов в одной серии - до 16, измерения для усреднения результатов не ограничиваются. Измерения магнитных свойств образцов и построение петель гистерезиса осуществляются периодически, а их параметры вычисляются в управляющей программе. Отладка новых функций при смене методики измерений проводится по MathCAD или по другим программам. Устройство управления и компьютер для обработки данных связаны с внешними блоками через параллельный порт.

Технические характеристики блоков: максимальный выходной ток – до 70 мА, перекрытие аттенюатора – 55 дБ, коэффициент усиления постоянного тока 2000, тактовая частота веберметра – 1,25 МГц.

Намагничивающий соленоид для измерения параметров малогабаритных образцов имеет диаметр 6,5 мм, длину 56 мм, 1200 витков ПЭВ-0,15. Измерительная обмотка – диаметр 0,8 мм, длину 5,0 мм, 370 витков ПЭВ-0,05. К компенсирующей обмотке подключен аттенюатор, настраиваемый на ноль суммарного сигнала в отсутствии образца.

Для изучения функциональных возможностей установки были исследованы, применяемые в феррозондах [1], сердечники из пермаллоя марки 80НХС ( $T_c = 320$  °С). Они изготавливались размером 10 мм и 40 мм диаметром 0,2 мм.

Измерения магнитных свойств полученных образцов и снятие петель гистерезиса проводились в диапазоне магнитной индукции  $B_m$  от 0,2 до 0,7 Тл, при частоте 0–60 Гц. Погрешность измерений не превышала 10 %.

Результаты представлены в табл. 1, где приведены магнитные характеристики ( $B_r$ –остаточная намагниченность образца;  $H_c$ –коэрцитивная сила;  $B_m$  и  $H_m$  – тах индукция и напряженность магнитного поля по петле гистерезиса) неотожженных и \*отожженных пермаллоевых образцов (80 НХС), подвергнутых дополнительно термомагнитной обработке (ТМО) в соленоиде напряженностью поля  $H=240$  Э.

Табл. 1. Магнитные характеристики образцов

L, мм	D, мм	T, °C	ТМО, ми	$B_r$ , Тл	$H_c$ , А/м	$B_m$ , А/м	$H_m$ , А/м
10	0,2	100	20	0,1142	135,56	0,7187	1320
10	0,2	200	20	0,0601	60,39	0,7243	1320
10	0,2	250	20	0,0537	59,57	0,7385	1320
10	02	300	20	0,0720	64,14	0,7555	1320
* 10	0,2	100	20	* 0,0115	* 5,20	* 0,7000	1320

Из табл. 1 видно, что  $H_c$  неотожженных образцов остаётся значительной и превышает величину ГОСТа – 50 А/м [2]. Поэтому подвергаем образцы стандартной термообработке [2]. В этом случае получаем  $H_c=5,5$ . Затем этот образец дополнительно подвергаем ТМО. Результаты показывают, что даже при неоптимальном режиме ТМО улучшаются магнитные свойства отожженных пермаллоевых образцов по сравнению с образцами, подвергнутыми и не подвергнутыми полному циклу стандартной термообработки.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований, стержневых образцов показали высокую перспективность применения комплексной установки для экспресс-анализа магнитных свойств магнитомягких материалов и изделий. Погрешность измерений установки составляет менее 10 %.

Работа частично поддержана проектом Президиума РАН № 19.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Афанасьев, Ю. В.** Феррозонды / Ю. В. Афанасьев. – Л. : Энергия, 1969. – 165 с.
2. **ГОСТ 10160-92.** Сплавы прецизионные магнитно-мягкие. М.: Изд. Госстандарт СССР, 1992. – 68 с.

E-mail: pudov@imp.uran.ru