**ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ ПЕТЕЛЬ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА**

Нерадовский Д.Ф., Новиков В.Ф., Проботюк В.В.

г. Тюмень, Россия

Для целей магнитной структуроскопии снимаются петли гистерезиса и определяются такие характеристики магнитных материалов как коэрцитивная сила, релаксационная коэрцитивная сила, магнитная проницаемость, дифференциальная магнитная проницаемость и др. И только несколько точек петли используется для того, чтобы охарактеризовать перечисленные свойства магнетика. Указанные выше параметры ферромагнетика и различные механические и структурные свойства используются [1,2] для установления корреляционных связей между ними. При этом зачастую коэффициенты корреляции не очень высоки. Хорошо известны и апробированы в стуктуроскопии методы, основанные на анализе ЭДС вторичной катушки с помощью анализатора спектра и преобразования Фурье [3]. В этом случае информативными параметрами о свойствах материала являются амплитуды и фазы гармонических составляющих сигнала. Снижающим достоверность фактором в этом методе является наличие вихревых токов, ограничивающих глубину промагничивания и искажающих фазу сигнала. Важно отметить, что величина ЭДС во вторичной катушке пропорциональна производной намагниченности ${dM}/{dt}$.

С помощью современных магнитометров (например, модель КРМ-Ц-МА) можно легко снимать квазистатические петли гистерезиса ферромагнетиков. В работе предложено ток намагничивания и размагничивания, а значит и напряженность поля, описывать пилообразной функцией. Это позволяет сделать замену $t={H}/{k}$. Таким образом, можно получить представление петли аналогичное временному представлению, симметрично отображая нисходящую (верхнюю) ветвь петли относительно вертикальной прямой, проходящей через точку $H\_{max}$ (см. рис. 1)

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |

Рис.1. Петля гистерезиса: а) в исходном виде; б) развернутая петля

Полученная зависимость $B\left(H\right)$, определяет периодический сигнал с периодом $2H\_{max}$, и может быть разложена в ряд Фурье.

По петлям магнитного гистерезиса для стали 18ХНВА, взятым из работы [4], для различных температур отпуска построены зависимости $B\left(H\right)$ во временной развертке и рассчитан гармонический спектр. Полученные зависимости амплитуд первой, третьей, пятой и седьмой гармоник приведены на рисунке 2.

|  |  |
| --- | --- |
| а) | б) |
| в) | г) |

Рис.3. Зависимости амплитуд нечетных гармоник фурье-спектра петель гистерезиса стали 18ХНВА от температуры отпуска: а) 1-я гармоника; б) 3-я гармоника; в) 5-я гармоника; г) 7-я гармоника

Представленные результаты иллюстрируют чувствительность гармонических составляющих к структурным изменениям в стали, а именно снятие напряжений, выделение карбидов и их коагуляция, что может быть дополнительным средством неразрушающего контроля структурных изменений в сталях.

*Литература*

1. *М.Н. Михеев, Э.С. Горкунов. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. Наука. 1993. 252 с.*
2. *Г.В. Бида, Э.С. Горкунов, В.М. Шевнин. Магнитный контроль механических свойств проката. Изд-во УрО РАН. 2002. 252 с.*
3. *Ю.Ф. Пономарев Гармонический анализ намагниченности ферромагнетиков, перемагничиваемых переменным полем, с учетом магнитного гистерезиса. IV. Применение к неразрушающему контролю. Дефектоскопия.1986. №7. с. 67-78*
4. *Э.С. Горкунов, М.Н. Михеев, Ф.Н. Дунаев, Магнитные и электрические свойства сталей 18ХНВА, 34ХН3М и У9А в зависимости от режима термообработки. Дефектоскопия. 1975, №3, с. 119-126.*