

УДК 53.088:620.179.14

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ИЗМЕРЕНИЙ МАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТАЛЕЙ

С. Г. САНДОМИРСКИЙ

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Физической основой магнитного структурного анализа является связь магнитных свойств сталей с их коэрцитивной силой H_c , остаточной намагниченностью M_r и намагниченностью M_s технического насыщения [1]. Относительная погрешность δ измерения H_c составляет $\pm 2\%$, δ измерения M_r и M_s не превышает $\pm 3\%$, а δ отношения $K_r = M_r/M_s$ не превышает $\pm 1\%$ [2]. Для многих сталей H_c чувствительна к изменениям структуры и механических свойств сталей [1]. Но H_c не пригодна для контроля температуры T_t отпуска закаленных изделий из сталей с содержанием углерода более $0,3\%$ из-за слабой зависимости от T_t в области $400^\circ\text{C} \dots 600^\circ\text{C}$. Достоверный контроль термической обработки изделий из сталей стал важной задачей магнитного структурного анализа.

Было предложено [3] использовать для контроля критическое поле H_k (рис. 1) – абсциссу пересечения касательных от нулевого и максимального полей к кривой безгистерезисного намагничивания стали.

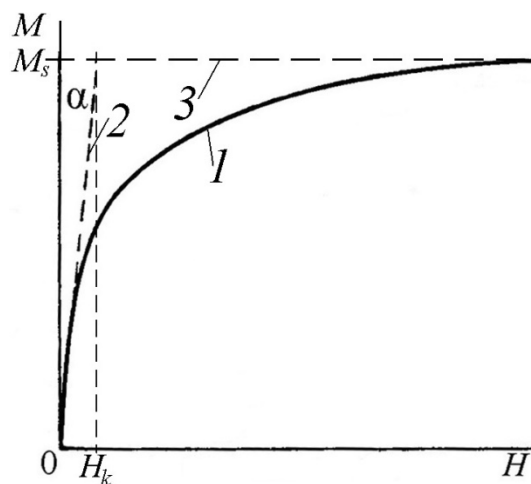


Рис. 1. Схема определения «критического поля» H_k : 1 – кривая безгистерезисного намагничивания стали; 2, 3 – касательные к ней от нулевого и максимального полей

Сообщается о разработанном аналитическом описании безгистерезисной кривой намагничивания стали, использующем результаты измерения его H_c , M_s и M_r [4]:

$$M = \frac{M_r M_s H}{H_c (M_s - M_r) + M_r H} \quad (1)$$

Из (1) получим уравнения касательных от нулевого и от максимального полей к кривой безгистерезисного намагничивания стали

$$M(H) = \frac{M_r M_s H}{H_c (M_s - M_r)}; \quad (2)$$

$$M(H) = M_s. \quad (3)$$

Прямые (2) и (3) пересекаются в точке, ордината которой H_k (см. рис. 1) определяется уравнением

$$H_k = H_c \frac{1 - K_r}{K_r}. \quad (4)$$

На рис. 2 приведены построенные по данным [3] зависимости H_c и H_k стали 40X в диапазоне $350^\circ\text{C} \leq T_t \leq 550^\circ\text{C}$ изменения температур T_t ее отпуска от ее твердости HRC. Пунктиры ограничивают диапазоны изменений параметров H_c и H_k при измерениях по стандартным методикам, связанные с погрешностями их измерения и расчета по формуле (4).

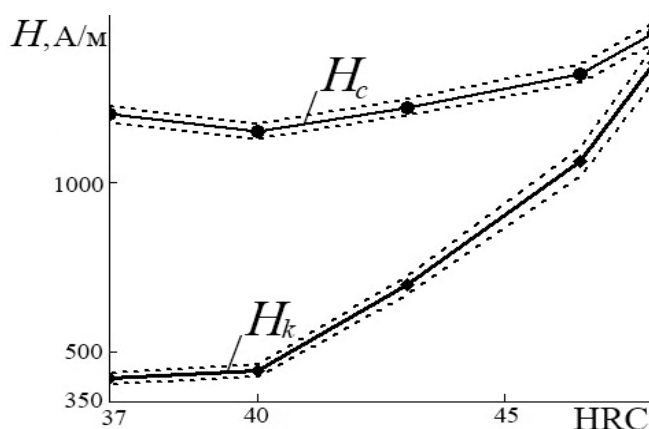


Рис. 2. Зависимости результатов определения H_c и H_k стали 40X в диапазоне $350^\circ\text{C} \leq T_t \leq 550^\circ\text{C}$ изменения температур T_t ее отпуска после закалки от ее твердости HRC

Выводы. Представленные результаты подтверждают, что необходимый магнитный параметр материала изделий или любая их комбинация могут быть синтезированы из результатов измерения по стандартным методикам H_c , M_r и M_s материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бида, Г. В.** Магнитные свойства термообработанных сталей / Г. В. Бида, А. П. Ничипурук. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 218 с.
2. **Чернышев, Е. Т.** Магнитные измерения / Е. Т. Чернышев. – М.: Изд-во стандартов, 1969. – 248 с.
3. **Сербин, Е. Д.** О возможности оценки магнитострикционных характеристик объемных ферромагнетиков по их магнитным свойствам / Е. Д. Сербин, В. Н. Костин // Дефектоскопия. – 2019. – № 5. – С. 31–36.
4. Патент ВУ 24370. Способ построения безгистерезисной кривой намагничивания ферромагнитного материала / Сандомирский С. Г. – 2024.