

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ МАГНИТНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ
ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ
МАКСИМАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ СТАЛЕЙ
ОТ РЕЖИМОВ ИХ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

С. Г. САНДОМИРСКИЙ
ГНУ «ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

Физической основой магнитного структурного анализа является чувствительность механических и магнитных свойств сталей к структурным превращениям, происходящим в них при термических обработках. Коэрцитивная сила H_C является единственным магнитным параметром материала, измерение которого допускается в открытой магнитной цепи. Важным параметром сталей, используемым в электротехнике и магнитном неразрушающем контроле, является максимальная магнитная проницаемость μ_m . Но зависимости μ_m сталей от технологических факторов приводятся в литературе реже, чем H_C , а приведенные в различных источниках данные о зависимостях μ_m ряда материалов от технологических факторов различаются.

Причина этого – в сложности и более высокой погрешности измерения. Измерение μ_m магнитомягких материалов по стандартным методикам осуществляют на образцах тороидальной формы или в замкнутой магнитной цепи. Изготовить образцы для таких исследований не всегда возможно. Не соблюдение стандартных требований к измерению магнитных свойств сталей привело ряд авторов к измерению μ_m образцов в открытой магнитной цепи (некоторые исследователи использовали при этом «надставки из магнитомягкого материала»), которые включены в справочные издания как магнитные свойства материалов (например, на рис.12.1, 12.5, 12.13, а, 12.24, а в [1]). Это делает некоторые из справочных данных о μ_m сталей не достоверными, сдерживает определение оптимальных технологических режимов термической обработки сталей и разработку методов их контроля.

Между тем, анализ достоверных данных показывает, что под влиянием различных факторов μ_m сталей изменяется во взаимосвязи с их H_C и остаточной намагниченностью M_R .

В работе сообщается об использовании связей между магнитными параметрами сталей для установления действительных зависимостей максимальной магнитной проницаемости сталей от режимов их термической обработки.

Для решения этой задачи использованы [2].

1. Разработанная Гумлихом и Шмидтом эмпирическая формула, связывающая μ_m сталей и чугунов с H_C и M_R предельной петли гистерезиса:

$$\mu_m \approx (0,476 + \beta H_C) \frac{M_R}{H_C}, \quad (1)$$

где $\beta = 0,0712$ м/кА.

Экспериментальная проверка показала применимость формулы (1) для современных сталей [3].

2. Полученная в [4] формула для расчета M_R по значениям релаксационной намагниченности M_{Hr} и намагниченности M_S технического насыщения:

$$M_R \approx M_S(0,92 - 2,55 M_{Hr} / M_S). \quad (2)$$

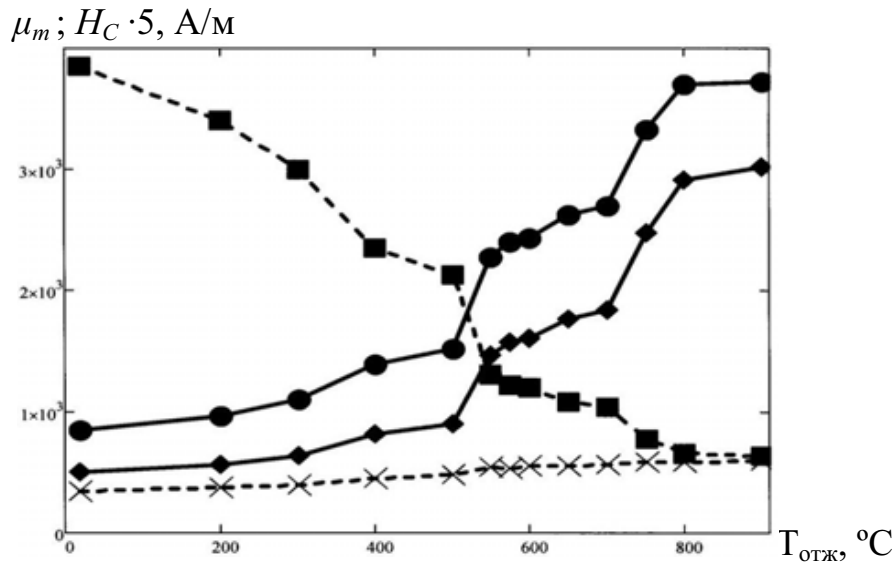
3. Полученная в [5] формула для расчета M_R как среднего значения диапазона возможного изменения M_R по результату измерения M_S и H_C (в кА/м):

$$M_R = 575 + 0,3M_S - 57,5H_C + |0,1M_S + 20H_C - 200| - |0,2M_S + 37,5H_C - 375|. \quad (3)$$

4. Аналитическое описание реально существующей связи μ_m сталей с их H_C [6] (размерность H_C – кА/м):

$$\mu_m \approx 1 + 35000 \cdot (e^{-4H_C^{0,285}}). \quad (4)$$

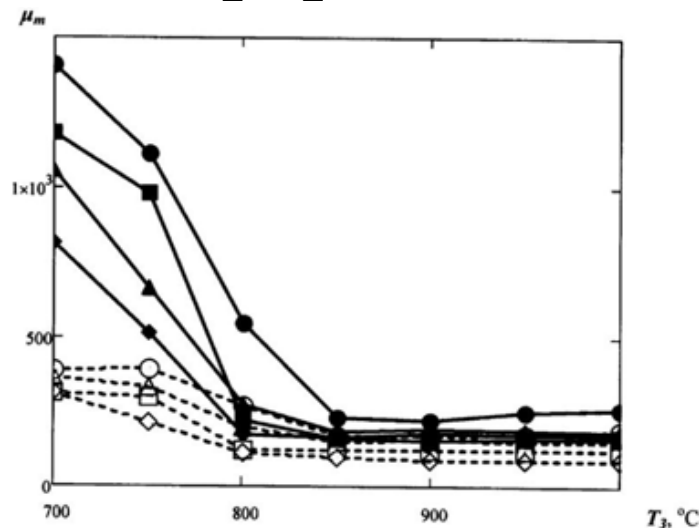
В качестве примера, на основании (4) и результатов измерения H_C образцов, в открытой магнитной цепи установлена [6] действительная зависимость μ_m стали 08Ю от температуры $T_{отж}$ отжига. Показано (рис.1), что, в отличие от данных [1], при изменении $T_{отж}$ от 20 до 900 °С μ_m стали 08Ю изменяется не в 1,7, а в 4 раза.



■ и X – справочные данные о H_C и μ_m из рис.12.1 в [1]; ●-♦ – диапазон возможного изменения действительных значений μ_m по [6]

Рис. 1. Зависимости μ_m и H_C стали 08Ю от температуры $T_{отж}$ отжига

С использованием результатов расчета зависимостей M_R от температуры T_3 закалки углеродистых сталей по (2) и (3) и соотношения (1) установлены [2] действительные значения μ_m углеродистых сталей, закаленных от различных T_3 (они в 1,3–3,6 раз больше справочных [1]). Показано, что μ_m углеродистых сталей обладает более чем H_C , высокой чувствительностью к изменениям T_3 в диапазоне $700\text{ }^\circ\text{C} \leq T_3 \leq 850\text{ }^\circ\text{C}$.



●, ▲, ■, ◆ – расчет по [2]; ○, △, □, ◇ – справочные данные по [1]

Рис. 2. Влияние температуры T_3 закалки сталей 30 (○, ●), 45 (△, ▲), У8 (□, ■) и У10 (◇, ◆) на ее максимальную магнитную проницаемость μ_m

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 6. – М. : Машиностроение, 2006 – 848 с.
2. **Сандомирский, С. Г.** Использование связей между магнитными параметрами для оценки влияния режимов закалки углеродистых сталей на их остаточную намагниченность / С. Г. Сандомирский // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2011. – Т. 77. – № 12. – С. 33–37.
3. **Сандомирский, С. Г.** Расчет остаточной намагниченности сталей по результату измерения коэрцитивной силы и максимальной магнитной проницаемости / С. Г. Сандомирский // Контроль. Диагностика. – 2010. – № 9. – С. 38–41.
4. **Сандомирский, С. Г.** Анализ возможности измерения остаточной намагниченности ферромагнитного материала в открытой магнитной цепи / С. Г. Сандомирский // Метрология. – 2010. – № 3. – С. 33–41.
5. **Сандомирский, С. Г.** Оценка остаточной намагниченности термообработанных сталей по намагниченности технического насыщения и коэрцитивной силе / С. Г. Сандомирский // Сталь. – 2010. – № 12. – С. 61–63.
6. **Сандомирский, С. Г.** Оценка максимальной магнитной проницаемости сталей по коэрцитивной силе / С. Г. Сандомирский // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2011. – № 3. – С. 35–38.

E-mail: sand@iaph.bas-net.by