

УДК 538.2; 620.179.14

НОВЫЙ ПОДХОД К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА СТАЛЕЙ В ПРИБОРАХ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРОСКОПИИ

Сандомирский С.Г.

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь

Чувствительными к фазовому составу и структурному состоянию сталей являются их намагниченность M_s технического насыщения, остаточная намагниченность M_r и коэрцитивная сила H_c предельной петли магнитного гистерезиса. Относительная погрешность δ измерения по методикам ГОСТа: $H_c - \pm 2\%$, M_r и $M_s - \pm 3\%$, а отношения $K_{II} = M_r/M_s$ при измерении M_r и M_s на одной аппаратуре $- \pm 1\%$.

Но установилось мнение, что результатов измерения H_c , M_r и M_s не достаточно для решения ряда задач магнитной структуроскопии. Одной из таких задач считают контроль качества высокотемпературного отпуска среднеуглеродистых легированных сталей. Многообразие сталей и режимов их обработок предопределило использование для структуроскопии максимальной μ_m и начальной μ_a магнитных проницаемостей, релаксационных намагниченности M_{Hr} и восприимчивости χ_r , намагниченности M_{rc} коэрцитивного возврата и др. Часто их чувствительности к изменениям структуры сталей высоки и отличны от чувствительности к ее изменениям параметров H_c и M_r . Некоторые ученые выразили сомнения в целесообразности использования M_r сталей для их магнитной структуроскопии.

Но методики измерения μ_m , μ_a , M_{Hr} , M_{rc} и χ_r сложны и не всегда регламентированы ГОСТом, а δ измерения больше, чем у H_c , M_r и M_s . Это усложняет и снижает достоверность магнитной структуроскопии сталей.

Для формирования магнитных параметров, обладающих высокой чувствительностью к изменениям структуры стали, простотой и точностью измерения, из H_c , M_r и M_s его предельной петли гистерезиса воспользуемся разработанными формулами для расчета μ_m , μ_a , M_{Hr} , M_{rc} и χ_r по результатам измерения H_c , M_r и M_s [1 – 3], которые обобщены в [4]:

$$\mu_m \approx [0,5 + 0,00006H_c - (0,000068H_c)^2] \frac{M_r}{H_c},$$

$$\mu_a \approx \frac{[0,5 + 0,067H_c - (0,0687H_c)^2] M_r}{(2,9 + 35e^{-1,75H_c}) H_c},$$

$$M_{Hr} \approx 4M_r(1 - K_{II})^2/3, \quad M_{rc} \approx 1,23M_r(1 - K_{II})^2,$$

$$\chi_r \approx M_r(1 - K_{II})^{1,82}/H_c. \quad (1)$$

Формулы (1) описывают результаты измерения μ_m , μ_a , M_{Hr} , M_{rc} и χ_r с погрешностью, не более суммы δ измерения входящих в (1) параметров. Анализ зависимостей (1) позволил, в дополнение к H_c и M_r , сформировать из параметров предельной петли гистерезиса параметры, чувствительные к изменениям структуры сталей:

$$F_1 = M_r/H_c \quad \text{и} \quad F_1 = M_r(1 - K_{II})^2. \quad (2)$$

На рисунках, как пример, сопоставлено влияние температур T_3 закалки (рис.1) и T_0 отпуска (рис.2) стали 38ХНМ на измеренные в [5, табл.21.1, 21.2] μ_m , M_{Hr} и рассчитанные по (2) параметры F_1 и F_2 этой стали.

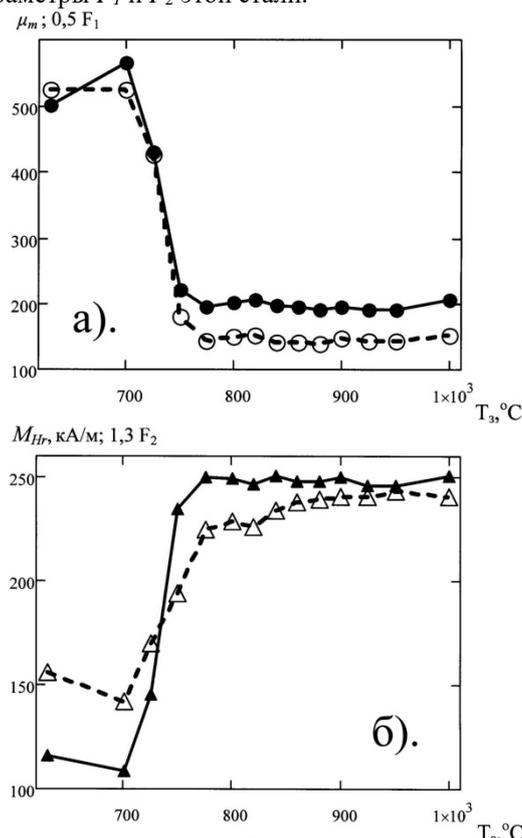


Рисунок 1 – Влияние T_3 стали 38ХНМ на результаты измерения μ_m (а, ●), M_{Hr} (б, ▲) и расчета F_1 (а, ○), F_2 (б, Δ) этой стали

Результаты (рисунки 1а, 2а) показывают, что зависимости $\mu_m(T_0)$ и $0,5F_1(T_0)$ стали 38ХНМ практически совпадают. Относительные погрешности δ измерения μ_m и расчета F_1 равны,

но H_c и M_r по ГОСТу могут быть измерены на порядок проще, чем μ_m .

Зависимости $M_{Hr}(T_0)$ и $1,3F_2(T_0)$ стали 38ХНМ также совпадают с точностью до погрешностей эксперимента (рис.1б, 2б). Но δ расчета F_2 по результатам измерения M_r и K_{II} вдвое меньше заявленной δ измерения M_{Hr} (по ГОСТу методика и δ измерения M_{Hr} не регламентированы, а ее измерение «не поддается автоматизации»).

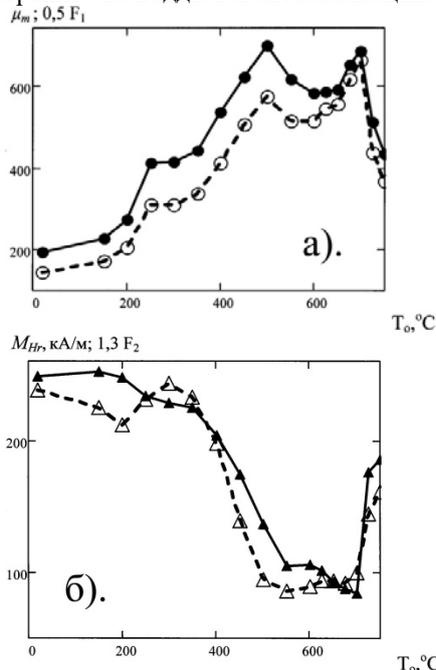


Рисунок 2 – Влияние T_0 стали 38ХНМ после закалки от 860°C на результаты измерения μ_m (а, ●), M_{Hr} (б, ▲) и расчета F_1 (а, ○), F_2 (б, Δ) этой стали

В магнитной структуроскопии параметры F_1 и F_2 , рассчитанные по (2) по результатам измерения H_c , M_r и M_s , могут быть использованы и в разных комбинациях друг с другом и с H_c и M_r .

Предложенный подход позволяет при разработке приборов магнитной структуроскопии

УДК 621.793.7

РАСХОДНЫЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕССА СВЕРХЗВУКОВОГО ГАЗОПЛАМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ НА ДЕТАЛИ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Данько К.А., Долматов А.И.

Национальный аэрокосмический университет имени Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина

Необходимость и целесообразность сочетания в деталях АД твердого, прочного, износостойкого и жаропрочного поверхностного слоя с пластичной, вязкой, устойчивой к образованию трещин и недорогой основой служит одной из причин увеличения популярности методов

изделий в замкнутой магнитной цепи сосредоточить усилия на повышении точности измерения H_c , M_r и M_s материала изделий и отказаться от сложных и не точных измерений других магнитных параметров. Любой необходимый магнитный параметр материала изделий или любая их комбинация, могут быть синтезированы из результатов измерения H_c , M_r и M_s с погрешностью, не более суммы погрешностей измерения параметров H_c , M_r и M_s .

Все эти параметры могут быть рассчитаны по разработанным формулам (1) или упрощенным алгоритмам (2).

Литература

1. Сандомирский, С.Г. Структурная чувствительность максимальной магнитной проницаемости. Ч. 1. Статистический анализ связи максимальной магнитной проницаемости сталей с параметрами петли гистерезиса / С.Г. Сандомирский // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 12 (186). – С. 33–38.
2. Сандомирский, С.Г. Анализ структурной чувствительности начальной магнитной проницаемости сталей / С.Г. Сандомирский // Зав. лаборатория. Диагностика материалов. – 2014. – № 6. – С. 29 – 33.
3. Сандомирский, С.Г. Возможности и ограничения использования измерений релаксационных магнитных параметров сталей в магнитном структурном анализе (обзор) / С.Г. Сандомирский // В мире неразрушающего контроля. – 2013. – № 4. – С. 5–12.
4. Клюев, В.В. Анализ и синтез структурочувствительных магнитных параметров сталей / В.В. Клюев, С.Г. Сандомирский – М.: Издательский дом «СПЕКТР», 2017. – 248 с.
5. Бида, Г.В. Магнитные свойства термообработанных сталей / Г.В. Бида, А.П. Ничипурук – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 218 с.

газотермического напыления в аэрокосмической отрасли по всему миру.

Газотермическое напыление считается одной из наиболее перспективных технологий с точки зрения технологических возможностей и экологии. Мировой рынок, включающий доходы от материалов, оборудования и напыления покрытий в 2015 г оценивался экспертами в 7.58 миллиардов