

УДК 620.179.14

ВНУТРЕННЯЯ КОМПЕНСАЦИЯ И ВЫБОР МНОГОПАРАМЕТРОВОЙ МОДЕЛИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ

В. Н. КУЛАГИН, В. А. БУРАК, А. А. ОСИПОВ

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Беларусь

Для оценки надежности оборудования и величины ошибки восстановления данных по многопараметровым моделям при их сравнении следует проводить кропотливый анализ, учитывая погрешности определения непосредственно значимых величин, влияющих на качество производимой продукции. Наиболее надежно проводить сравнение на изделиях, непосредственно изготавливаемых на производстве, но это требует значительных временных и финансовых затрат, что может быть невыполнимым в конкретной ситуации контроля.

В [1] рассмотрены многопараметровые модели, которые предложены авторами [2]. При расчетах коэффициентов моделей использовались экспериментальные данные из [3]. Модели построены с использованием шести магнитных параметров: коэрцитивная сила H_c ; релаксационная намагниченность M_{H_r} ; релаксационная магнитная восприимчивость $\chi_r = M_{H_r}/H_r$; квадрат коэрцитивной силы H_c^2 ; квадрат релаксационной намагниченности $M_{H_r}^2$; произведение релаксационной магнитной восприимчивости на релаксационную намагниченность $\chi_r \cdot M_{H_r}$.

Однако, если отдельно учитывать погрешности измеряемых величин, то модели упростятся до трех независимых параметров: коэрцитивная сила H_c ; релаксационная намагниченность M_{H_r} и релаксационная коэрцитивная сила H_r .

Для твердости и температуры отпуска получаем выражения

$$\delta_{HRC} = -0,23 \cdot \delta_{H_c} - 1,06 \cdot \delta_{M_{H_r}} + 1,17 \cdot \delta_{H_r}; \quad (1)$$

$$\delta_{T_o} = -5,5 \cdot \delta_{H_c} + 56,2 \cdot \delta_{M_{H_r}} - 27,1 \cdot \delta_{H_r}. \quad (2)$$

Использовались магнитные характеристики образцов стали 45 (закалка при 860 °С; отпуск при температурах от 20 °С до 650 °С) [3]. Выражения (1) и (2) получены для температуры отпуска $T_{o.u.} = 300$ °С.

Оценку выполним по экспериментальным данным [3]. Согласно им для стали 45 при температуре отпуска 300 °С твердость HRC равна 45 единиц. То есть в данном случае при сравнении уравнения (1) для твердости с уравнением (2) для температуры отпуска коэффициент пересчета (нормировки), дающий оценку надежности вычислений по (2) при сравнении с (1), равен 6,67. Тогда из выражения (2) получаем новое выражение (3), которое более объективно сравнивать с (1):

$$\delta_y = -0,83 \cdot \delta_{H_c} + 8,43 \cdot \delta_{M_{H_r}} - 4,1 \cdot \delta_{H_r}. \quad (3)$$

Из (1) и (3) видно, что коэффициенты значимости погрешностей по абсолютной величине в последнем случае (для температуры отпуска) в несколько раз выше. То есть приоритет должен быть отдан использованию уравнения (1) модели для твердости.

В качестве примера рассмотрим возможность использования этих же моделей при другой температуре отпуска. Так, для стали 45 при температуре отпуска 650 °С твердость *HRC* равна 20 единиц. В этом случае при сравнении уравнения (1) для твердости с уравнением (2) для температуры отпуска коэффициент пересчета равен 32,5. Тогда из выражения (2) получаем новое выражение

$$\delta_y = -0,17 \cdot \delta_{H_c} + 1,73 \cdot \delta_{M_{H_r}} - 0,83 \cdot \delta_{H_r}. \quad (4)$$

Из сравнения (1) и (4) следует, что коэффициенты значимости погрешностей по абсолютной величине различаются только на несколько десятков процентов. Причем в последнем случае (для температуры отпуска) меньшими по величине оказались два коэффициента значимости мультипликативных ошибок при δ_{H_c} и δ_{H_r} . То есть больший приоритет (по числу параметров модели) имеет использование уравнения (2) для модели, построенной по данным температуры отпуска.

Проведенное сравнение моделей показало, что необходимо учитывать существенное изменение приоритетов использования моделей в зависимости от температур отпуска и твердости, поскольку в несколько раз изменяется коэффициент пересчета. Использование моделей в таком широком интервале изменения температуры и твердости представляется сомнительным.

На реальном производстве интервал существенно уже, но тогда и нормировка (тем или иным образом) должна это учитывать. При таком контроле важно само отклонение значений от идеальных (установленных соответствующей нормативной документацией). То есть для увеличения надежности неразрушающего контроля необходимо проводить дополнительные исследования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка регрессионных многопараметровых моделей в задачах магнитного неразрушающего контроля / А. А. Осипов [и др.] // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2018. – № 4. – С. 32–44.
2. **Бида, Г. В.** Комплексное использование магнитных свойств сталей при неразрушающем контроле качества термообработанных деталей / Г. В. Бида, А. Н. Сташков // Дефектоскопия. – 2003. – № 4. – С. 67–74.
3. **Бида, Г. В.** Магнитные свойства термообработанных сталей / Г. В. Бида, А. П. Ничипурук. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 219 с.