

УДК 620.179.14

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И ВЫБОР МНОГОПАРАМЕТРОВОЙ МОДЕЛИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МАГНИТНОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ СТАЛИ 12ХН3А

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

Институт прикладной физики НАН Беларуси

Минск, Беларусь

При внедрении неразрушающего контроля (НК) в производственных условиях одной из проблем для методов НК является контроль сталей с неоднозначной зависимостью. Способы решения могут использоваться разные. Рассмотрим вариант, когда применяются многопараметровые методы контроля.

Оценим возможность магнитного контроля стали 12ХН3А. Воспользуемся экспериментальными данными по магнитным параметрам из [1]. Свойства приводятся в зависимости от температуры отпуска $T_{отп}$ при температуре закалки $T_{зак} = 860$ °С. На рис. 1 представлена зависимость коэрцитивной силы H_c от температуры отпуска $T_{отп}$. Однозначно контролировать данную сталь (без привлечения дополнительных параметров) в интервале температур от 250 °С до 750 °С и твердости от 17 до 37 HRC не представляется возможным.

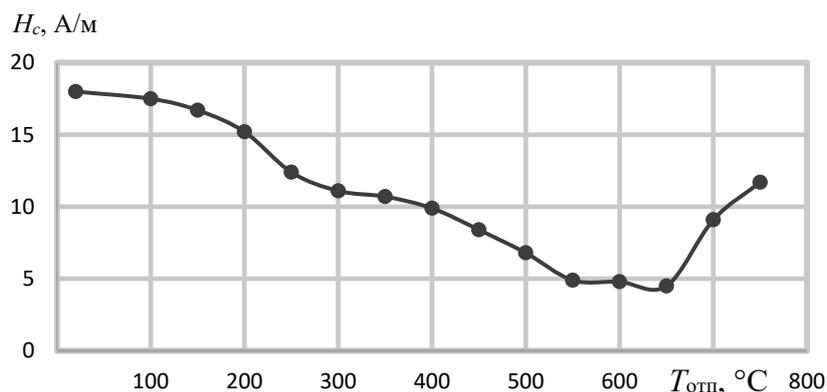


Рис. 1. Зависимость коэрцитивной силы H_c от температуры отпуска $T_{отп}$ образца по [1]

Рассмотрим две модели контроля по зависимым переменным [1]: температуре отпуска и твердости. К независимым измеряемым параметрам отнесем: коэрцитивную силу H_c ; релаксационную намагниченность $M_{Нr}$; начальную магнитную восприимчивость χ_n и намагниченность насыщения M_s . Как и для коэрцитивной силы H_c (см. рис. 1), для остальных параметров наблюдаются неоднозначные зависимости их значений от изменения температуры отпуска $T_{отп}$.

Остаточная дисперсия $S_{ост}$ моделей, построенных с использованием экспериментальных данных для температуры отпуска $T_{отп}$ и твердости HRC, соответственно равна 85,7 и 2,82. Коэффициенты множественной корреляции R : 0,9478 и 0,9658, а приведенная погрешность $\gamma = ((1 - R^2)/3)^{1/2}$: 18,4 % и 15 % [2].

Точность восстановления температуры отпуска $T_{отп}$ и твердости HRC обычно можно увеличить, если расширить число параметров модели. Поскольку в данном случае не решается задача оптимизации модели, то для увеличения

точности восстановления $T_{отп}$ и HRC были дополнительно использованы простейшие в подобных случаях переменные вида M_{Hr}/H_c , $H_c \cdot H_c$ и $M_{Hr} \cdot M_{Hr}$.

В результате остаточная дисперсия $S_{ост}$ моделей с бóльшим числом переменных равна 23,32 и 1,23. Коэффициенты множественной корреляции R : 0,99735 и 0,9955, а приведенная погрешность γ : 4,2 % и 5,5 % [2]. То есть погрешность γ для новых моделей меньше в несколько раз. Однако необходимо обратить внимание, что рассматривается лишь конкретный набор образцов, которые даже при многократных измерениях могут давать различные результаты для параметров. Причём наличие погрешности измерения всего в 5 % может приводить к увеличению остаточной дисперсии $S_{ост}$ приблизительно на два порядка, а приведенной погрешности γ – до величины в десятки процентов и более, что неприемлемо для практического использования. При этом рассматриваемые модели далеко не самые чувствительные к наличию погрешности экспериментальных данных, поскольку более сложные могут давать ошибки восстановления зависимых параметров на порядки, превышающие весь интервал изменения экспериментальных данных, которые используются для их обучения [2].

Возможны случаи, когда при расчетах по моделям не только отсутствуют изменения зависимых переменных ($T_{отп}$ и HRC), но и они становятся отрицательными. Такие случаи могут оказаться не только критическими, но и приводить к непоправимым эффектам, принятию опасных решений и т. д. Использование большого массива данных не гарантирует отсутствие недопустимых результатов при расчетах, а проведение всесторонних проверок не может охватить все возможные варианты решений задачи, для которой создавались и обучались модели, поэтому их необходимо проверять на устойчивость к изменениям погрешностей измерения используемых при контроле параметров [2].

Для большей достоверности моделей необходимо достаточное внимание уделять также надежности описываемых ими процессов на краях диапазонов используемых данных. Так, для полученной модели по температуре отпуска при четырех параметрах исходная и восстановленная температуры могут отличаться в 5 раз, а при семи параметрах – в 2,5 раза. В то время как для моделей по твёрдости различия могут составлять проценты и доли процента. Поэтому формирование устойчивых моделей контроля (или аналогичных решений) и их отбор следует проводить с введением в них погрешностей [2]. Так, введение при обучении в модель мультипликативной ошибки в 1 % обеспечивает существенное уменьшение величины приведенной погрешности γ и остаточной дисперсии $S_{ост}$, даже если величина ошибки измеренных параметров 5 % и более.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бида, Г. В.** Магнитные свойства термообработанных сталей / Г. В. Бида, А. П. Ничипурук. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 219 с.
2. Оценка регрессионных многопараметровых моделей в задачах магнитного неразрушающего контроля / А. А. Осипов, В. А. Бурак, З. М. Короткевич, А. С. Счастливый // Неразрушающий контроль и диагностика. – 2018. – № 4. – С. 32–44.