

З. М. КОРОТКЕВИЧ

Государственное научное учреждение  
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»  
Минск, Беларусь

Отличительной особенностью заэвтектоидных сталей, к которым относится и инструментальная высококачественная углеродистая сталь У10А, является высокая чувствительность к перегреву под закалку и узкий диапазон закалочных температур. Поэтому контроль температуры закалки этой стали является актуальной задачей неразрушающего контроля в силу ее широкого распространения.

Изменения магнитных свойств заэвтектоидной углеродистой инструментальной стали У10А при закалке от разных температур обусловлены соответствующими изменениями ее структуры. При нагреве образцов под закалку до 710 °С включительно, существенных структурных изменений и фазовых превращений в стали не происходит. Увеличение нагрева под закалку свыше критической точки приводит к существенным изменениям магнитных свойств стали У10А, связанных со структурными изменениями в материале, где и возникает проблема их контроля [1].

В ходе исследований образцов из стали У10А были измерены различные магнитные параметры, такие как: остаточная намагниченность  $M_r$ ; коэрцитивная сила  $H_c$ ; релаксационная коэрцитивная сила  $H_r$ ; релаксационная намагниченность  $M_{H_r}$ ; остаточная намагниченность  $M_{rc}$  после снятия поля, равного  $H_c$ ; максимальная дифференциальная магнитная проницаемость  $\mu_{dm}$  и дифференциальная магнитная проницаемость  $\mu_{dH_c}$  при размагничивающем поле, равном коэрцитивной силе  $H_c$ ; напряженность намагничивающего поля  $H_{\mu dm}$  и намагниченность  $M_{\mu dm}$ , соответствующие максимуму дифференциальной магнитной проницаемости. По результатам измерений рассчитывались намагниченность насыщения  $M_s$  (по закону подхода к насыщению), релаксационная магнитная проницаемость  $\mu_r = M_{H_r}/H_r + 1$  и магнитная проницаемость на кривой возврата от коэрцитивного поля  $\mu_{rc} = M_{rc}/H_c + 1$ . По основной кривой намагничивания определялись: максимальная намагниченность  $M_m$ ; начальная  $\mu_n$  и максимальная  $\mu_m$  магнитные проницаемости; напряженности намагничивающего поля  $H_{\mu m}$  при котором достигается  $\mu_m$ ; намагниченности  $M_{\mu m}$ ,  $M_{H_c}$  и  $M_{2H_c}$  при магнитном поле, равном  $H_{\mu m}$ , коэрцитивной силе  $H_c$  и двум коэрцитивным силам  $2H_c$  соответственно.

Анализ приведенных параметров позволил сделать вывод, что к недогреву под закалку изделий из стали У10А чувствительны  $H_c$ ,  $H_r$ ,  $H_{\mu m}$  и  $H_{\mu dm}$ ,  $\mu_{dm}$  и  $\mu_{dH_c}$ ,  $M_{\mu dm}$ . Другие магнитные характеристики либо слабо чувствительны к недогреву под закалку ( $M_m$ ,  $M_s$  и  $M_r$ ), либо не имеют

однозначной зависимости от температуры закалки ( $M_{Hc}$ ,  $M_{2Hc}$ ,  $M_{\mu m}$ ,  $M_{Hr}$ ,  $M_{rc}$ ,  $\mu_n$ ,  $\mu_m$ ,  $\mu_r$  и  $\mu_{rc}$ ).

Перегрев под закалку изделий из стали У10А можно установить по результатам измерения  $M_m$ ,  $M_r$ ,  $\mu_{dm}$  и  $H_{\mu m}$ ,  $\mu_{dHc}$ . Другие магнитные характеристики либо нечувствительны к перегреву образцов под закалку ( $M_{Hr}$ ,  $M_{rc}$  и  $\mu_m$ ), либо по ним трудно отличить структурное состояние металла, перегретого под закалку, от недогретого ( $H_c$ ,  $H_r$ ,  $H_{\mu dm}$ ,  $M_{Hc}$ ,  $M_{2Hc}$ ,  $M_{\mu m}$ ,  $M_{\mu dm}$ ,  $\mu_n$ ,  $\mu_r$  и  $\mu_{rc}$ ).

Однозначно определять как недогрев, так и перегрев данной стали под закалку можно только по  $H_{\mu}$ ,  $\mu_{dm}$  и  $\mu_{dHc}$ . Однако чувствительность этих характеристик к перегреву стали У10А под закалку невысока.

Поэтому для повышения чувствительности контроля перегрева под закалку изделий из стали У10А необходимы иные информативные параметры либо комбинации этих параметров.

В ходе проведенных исследований было установлено, что наиболее чувствительными информативными параметрами для контроля качества проведенной закалки во всем диапазоне возможных температур являются частные от деления относительных величин  $H_c$ ,  $H_r$ ,  $H_{\mu m}$  и  $H_{\mu dm}$  на магнитные проницаемости  $\mu_{dm}$ ,  $\mu_{dHc}$ ,  $\mu_{rc}$ ,  $\mu_r$  и  $\mu_m$ . Для практической реализации контроля в качестве информативного параметра  $U$  предпочтительнее использовать частное от деления напряженности магнитного поля, при которой достигается максимальное значение дифференциальной магнитной проницаемости, к величине этой проницаемости (рис. 1).

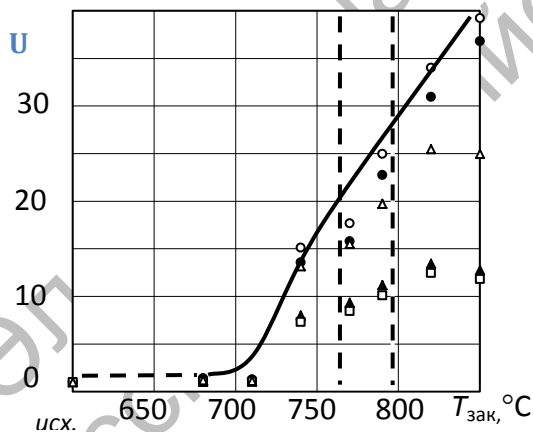


Рис. 1. График зависимости информативного параметра  $U = \frac{H_{\mu dm} / H_{\mu dm}^{исх}}{\mu_{dm} / \mu_{dm}^{исх}}$  от

температуры закалки

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Михеев, М. Н.** Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М. Н. Михеев, Э. С. Горкунов. – М. : Наука, 1993. – 252 с.