

В. Ф. МАТЮК, В. А. БУРАК

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

Основной проблемой неразрушающего контроля качества термообработки изделий из среднеуглеродистых сталей магнитными методами является неоднозначность зависимости их магнитных характеристик от температуры отпуска выше 300 °С. Эта проблема успешно решается импульсным магнитным методом, который заключается в локальном намагничивании контролируемого изделия импульсным магнитным полем в одном направлении и его последующем частичном размагничивании импульсным магнитным полем с установленной заранее амплитудой, которую выбирают из условия полного размагничивания самых твердых или самых мягких изделий из числа контролируемых. В качестве информационного параметра используют градиент нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности в центре намагниченного участка после окончания частичного размагничивания либо сумму градиентов после окончания намагничивания и частичного размагничивания. В ряде случаев хорошие результаты дает измерение суммы градиентов после частичного размагничивания изделия импульсами разной амплитуды ( $H_{им1}^p$  и  $H_{им2}^p$ ).

Данный метод реализован в приборе "Импульсный магнитный анализатор ИМА-6" [1], который может работать в режиме измерения градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности после локального импульсного намагничивания ( $\nabla H_{rn}$ ), в режиме измерения градиента после частичного размагничивания ( $\nabla H_m^p$ ) и в режиме измерения их суммы.

Результаты корреляционного анализа экспериментальных данных, полученных с помощью прибора ИМА-6 на заготовках втулок из стали 45, подвергнутых закалке в воду от температур 740, 820, 850 и 880 °С и в масле от температуры 850 °С, а затем отпуска при 100, 200, 300, 400, 500, 600 и 700 °С, представлены в табл. 1. Амплитуда намагничивающих импульсов равнялась  $2,4 \cdot 10^5$  А/м, а их количество – 5. Амплитуда размагничивающего импульса выбиралась исходя из результатов измерений на отпущенном при 700 °С и закаленном образцах для каждой температуры закалки. Измерения проводились в режиме с магнитной подготовкой тремя парами импульсов.

Корреляционная связь с температурой отпуска ( $T_{отп}$ ) при разной температуре закалки ( $T_{зак}$ ) устанавливалась для градиента нормальной составляющей напряженности поля остаточной намагниченности после

намагничивания, после последующего частичного размагничивания и для их суммы.

Анализ данных, приведенных в табл. 1 ( $R_k$  – коэффициент корреляции,  $D$  – дисперсия), показывает, что можно выбрать такой режим измерений прибора ИМА-6, при котором результаты контроля не уступают по точности многопараметровому импульсному магнитному методу, а по производительности гораздо превосходят его.

Табл. 1. Параметры корреляции между показаниями прибора ИМА-6 и температурой термообработки и твердостью заготовок втулок из стали 45

$T_{\text{зак}}, ^\circ\text{C}$		740	820	850	850 (масло)	880
$H_{\text{им}1}^p \cdot 10^{-5}, \text{A/м}$		0,9	1,2	1,25	1,25	1,1
$H_{\text{им}2}^p \cdot 10^{-5}, \text{A/м}$		0,4	0,4	0,4	0,4	0,45
$\nabla H_{\text{тн}}, \frac{\text{A}}{\text{м}^2}$	$R_k$ (от $T_{\text{отп}}$ )	0,919	0,907	0,855	0,876	0,925
	$D$ (от $T_{\text{отп}}$ )	23,2	28,4	35,2	42,4	32,1
	$R_k$ (от HRC)	0,916	0,758	0,736	0,723	0,836
	$D$ (от HRC)	1,7	3,4	3,7	3,6	3,2
$\nabla H_m^p, \frac{\text{A}}{\text{м}^2}$ при $H_{\text{им}1}^p$	$R_k$ (от $T_{\text{отп}}$ )	0,662	0,933	0,894	0,805	0,92
	$D$ (от $T_{\text{отп}}$ )	33,1	11,5	17,5	39,7	14,5
	$R_k$ (от HRC)	0,692	0,902	0,863	0,785	0,918
	$D$ (от HRC)	2,32	1,1	1,6	2,7	1,0
$\nabla H_m^p, \frac{\text{A}}{\text{м}^2}$ при $H_{\text{им}2}^p$	$R_k$ (от $T_{\text{отп}}$ )	0,926	0,978	0,968	0,959	0,988
	$D$ (от $T_{\text{отп}}$ )	15	9,6	9,4	13,7	6,8
	$R_k$ (от HRC)	0,935	0,892	0,895	0,901	0,95
	$D$ (от HRC)	1,0	1,6	1,4	1,4	0,9
$\nabla H_{\text{тн}} + \nabla H_m^p, \frac{\text{A}}{\text{м}^2}$ при $H_{\text{им}1}^p$	$R_k$ (от $T_{\text{отп}}$ )	0,91	0,95	0,937	0,909	0,971
	$D$ (от $T_{\text{отп}}$ )	18,6	14,9	14,8	22,6	12,4
	$R_k$ (от HRC)	0,914	0,813	0,84	0,834	0,91
	$D$ (от HRC)	1,3	2,0	1,9	2,0	1,4
$\nabla H_{\text{тн}} + \nabla H_m^p, \frac{\text{A}}{\text{м}^2}$ при $H_{\text{им}2}^p$	$R_k$ (от $T_{\text{отп}}$ )	0,885	0,979	0,973	0,948	0,979
	$D$ (от $T_{\text{отп}}$ )	14,6	6,9	6,0	10,5	6,4
	$R_k$ (от HRC)	0,9	0,908	0,911	0,9	0,954
	$D$ (от HRC)	0,99	1,1	0,9	0,9	0,6

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Импульсный магнитный анализатор ИМА-6 / В. Ф. Матюк [и др.] // Дефектоскопия. – 2009. – № 7 – С. 62–74.