

УДК 620.179.14

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ СТРУКТУРЫ СТАЛЕЙ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЯЗИ ВНУТРЕННЕГО КОЭФФИЦИЕНТА РАЗМАГНИЧИВАНИЯ С ПАРАМЕТРАМИ ПЕТЛИ ГИСТЕРЕЗИСА

С. Г. САНДОМИРСКИЙ

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь

К структуре сталей чувствительны коэрцитивная сила H_c и остаточная намагниченность M_r , а к фазовому составу – намагниченность технического насыщения M_s . Но указанные параметры неоднозначно зависят от температуры отпуска и структурного состояния среднеуглеродистых легированных сталей.

Анализ методов контроля структуры изделий показал, что со структурными и механическими свойствами сталей тесно связан их внутренний коэффициент размагничивания N_i : он обусловлен неоднородностями структуры материала и поэтому позволяет достоверно судить о физико-механических свойствах сталей [1]. Но по ГОСТ 19693–74 для определения N_i проводят цикл сложных магнитных воздействий на термически размагниченный материал и прецизионные измерения его безгистерезисной кривой намагничивания. Это усложняет определение N_i и уменьшает его точность. Поэтому неразрушающим методом не исследовано влияние технологических режимов производства многих сталей на их структурное состояние.

Цель работы – по N_i стали исследовать влияние режимов термической обработки стали на изменения её структурного состояния и с учётом полученных результатов рекомендовать данный коэффициент в качестве параметра неразрушающего магнитного контроля изменений структуры и режимов термической обработки стали.

При исследовании использован разработанный способ аналитического описания безгистерезисной кривой намагничивания ферромагнитного материала [2], использующий формулы для косвенного определения N_i , в которые входят результаты измерений H_c , M_r и M_s , полученные по стандартным методикам. В [3] разработан способ и выведена формула для определения внутреннего коэффициента размагничивания ферромагнитного материала

$$N_i = H_c (1 - M_r / M_s) / M_r. \quad (1)$$

Для определения внутреннего коэффициента размагничивания N_i углеродистых сталей использован способ [3].

Формула (1) позволяет анализировать влияние режимов получения ферромагнитных материалов на их N_i . В качестве примера такого применения формулы (1) в табл. 1 приведены результаты расчёта влияния на N_i стали марки 30ХМА температур ее закалки T_h и отпуска T_t после закалки от 870 °С в воде. В таблице также указаны использованные для расчёта по формуле (1) измеренные по стандартным методикам магнитные параметры стали 30ХМА [4, табл. 18.1, 18.4].

Табл. 1. Магнитные параметры и результаты расчёта N_i стали 30ХМА в зависимости от температур заковки и отпуска

T_h , °C	H_c , А/м	M_r , кА/м	M_s , кА/м	$N_i \cdot 10^2$	T_t , °C	H_c , А/м	M_r , кА/м	M_s , кА/м	$N_i \cdot 10^2$
700	980	992	1615	0,0381	20	2300	826	1610	0,1356
750	900	833	1607	0,0520	150	2130	801	1645	0,1364
775	2050	895	1608	0,1016	200	1960	822	1652	0,1198
800	2380	870	1615	0,1262	250	1550	827	1674	0,0948
825	2320	847	1611	0,1299	300	1500	817	1669	0,0937
850	2360	840	1608	0,1342	350	1460	842	1671	0,0860
875	2320	845	1606	0,1301	400	1360	830	1666	0,0822
900	2320	845	1616	0,1310	450	1250	872	1655	0,0678
925	2300	858	1612	0,1254	500	1150	1039	1653	0,0411
950	2280	847	1608	0,1274	550	1140	1166	1650	0,0287
1000	2260	848	1611	0,1262	600	1030	1199	1639	0,0231
—	—	—	—	—	650	1020	1199	1632	0,0226

Обсуждение результатов и выводы. Оптимальный режим заковки в воду стали марки 30ХМА – нагрев перед заковкой до температуры $T_h = 850\text{ °C} \dots 900\text{ °C}$. После заковки в воду стали, нагретой до таких значений T_h , её N_i (степень неоднородности её структуры после заковки) достигает максимума.

Зависимость N_i стали 30ХМА от температуры T_t её отпуска после заковки (см. табл. 1) монотонна во всём диапазоне изменения T_t в отличие от немонотонной зависимости других магнитных параметров от T_t (см. табл. 1). С увеличением T_t коэффициент N_i стали 30ХМА монотонно уменьшается.

Полученный результат позволяет использовать расчет параметра N_i стали 30ХМА по формуле (1) для неразрушающего контроля температуры заковки и отпуска этой стали.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поливанов, К. М. Ферромагнетики. Основы теории практического применения / К. М. Поливанов. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1957.
2. Патент ВУ 24370. Способ построения безгистерезисной кривой намагничивания ферромагнитного материала / Сандомирский С. Г. – 2024.
3. Патент ВУ 24437. Способ определения внутреннего коэффициента размагничивания ферромагнитного материала / Сандомирский С. Г. – 2024.
4. Бида, Г. В. Магнитные свойства термообработанных сталей / Г. В. Бида, А. П. Ничипуров. – Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 218 с.