

С. Г. САНДОМИРСКИЙ, Е. Г. САНДОМИРСКАЯ

Государственное научное учреждение  
«ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАН Беларуси»  
Минск, Беларусь

В магнитном структурном и фазовом анализе сталей и чугунов используют результаты измерений параметров их предельной петли гистерезиса: коэрцитивной силы  $H_{cs}$ , намагниченности технического насыщения  $M_s$ , остаточной намагниченности  $M_{rs}$ . Наиболее чувствительной к структурным изменениям металлов считают  $H_{cs}$ . При структурных изменениях металла его  $M_{rs}$  изменяется в узких пределах [1]:

$$0,5M_s \leq M_{rs} \leq 0,866M_s. \quad (1)$$

Но материал изделий при контроле намагничивается по частным петлям магнитного гистерезиса, которые характеризуются максимальной напряженностью  $H_m$  намагничивающего поля, максимальной  $M_m$  и остаточной  $M_r$  намагниченностями. Зависимости  $M_m$  и  $M_r$  металлов от изменений структуры не соответствуют зависимостям  $M_s$  и  $M_{rs}$ . Поэтому важно изучение изменений  $M_r$  металлов при изменениях их структуры.

Цель доклада – определение условий, при которых измерения  $M_r$  могут быть использованы для контроля структуры ковкого чугуна.

В [2] показано, что зависимость  $M_r(M_{rs}, H_{cs}, M_s, H_m)$  сталей может быть рассчитана по формуле:

$$M_r \approx \frac{M_s}{\pi} \frac{H_m^2}{H_m^2 + kH_{cs}^2} \left\{ \pi K_S - \sum_{n=0}^1 \arctg \left[ T \left( 1 + (-1)^n \frac{H_m}{H_{cs}} \right) \right] \right\}, \quad (2)$$

где:  $\tau = 1 \text{ м/кА}$ ,  $K_S = M_{rs}/M_s$ ,  $T = \text{tg}(\pi K_S/2)$ ,  $k = \frac{M_s \arctg(2T)}{\pi(M_C - \chi_a H_{cs}/2)}$ ,

$$M_C \approx 0,67 [0,5 + 0,06\tau H_{cs} - (0,068\tau H_{cs})^2] M_{rs}; \chi_a \approx \frac{[0,5 + 0,06\tau H_{cs} - (0,068\tau H_{cs})^2] M_{rs}}{(2,9 + 35e^{-1,75\tau H_{cs}}) H_{cs}} - 1.$$

Правомерность использования (2) для анализа остаточной намагниченности чугунов обосновывается близким характером связей между параметрами основной кривой намагничивания и предельной петли гистерезиса для сталей и чугунов [3]. Для анализа используем результаты измерения магнитных свойств чугунов с разной структурой (табл. 1.) [4].

Зависимости  $M_r(H_m)$  для белого и ковкого чугунов с разной структурой металлической матрицы приведены на рис. 1. Расчет проведен по формуле (2) для средних значений параметров из табл. 1.

Табл. 1. Магнитные свойства белого и ковкого чугунов

Тип чугуна	Металлическая основа	Магнитные параметры, кА/м		
		$H_{cs}$	$M_s$	$M_{rs}$
Белый чугун		1,04–1,28	1035	400–440
Ковкий чугун	Ферритная	0,12–0,2	1433	440–560
	Перлитная	0,4–0,88	1393	480–600

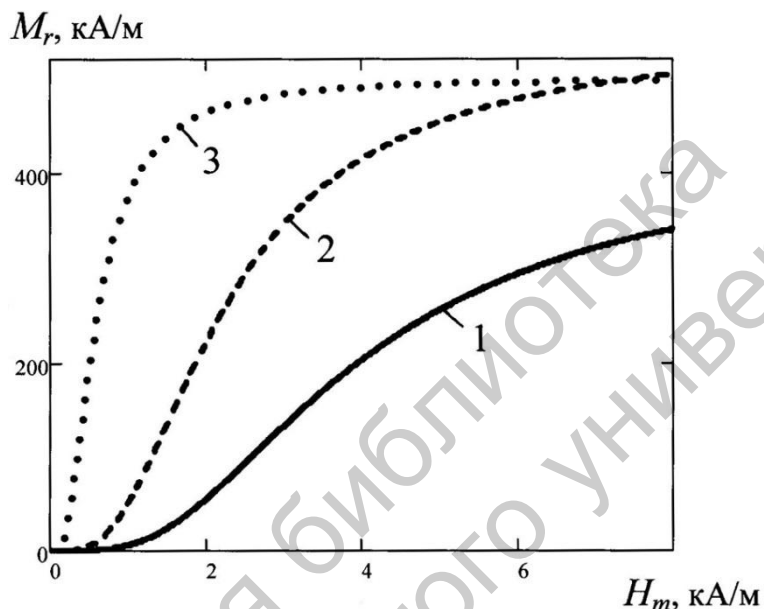


Рис. 1. Зависимости  $M_r$  белого (1), ковкого перлитного (2) и ферритного (3) чугунов от  $H_m$  частной петли магнитного гистерезиса

Результаты расчётов показывают anomalно высокую чувствительность  $M_r$  чугуна, измеренной в замкнутой магнитной цепи при намагничивании в поле до 1 кА/м, к его структуре, по сравнению с чувствительностью параметров предельной петли гистерезиса, проанализированной в [4].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тикадзуми, С. Физика ферромагнетизма. Магнитные характеристики и практические применения / С. Тикадзуми. – М. : Мир, 1987. – 419 с.
2. Сандомирский, С. Г. Анализ влияния режимов термической обработки сталей на их остаточную намагниченность на частных петлях магнитного гистерезиса / С. Г. Сандомирский // Сталь. – 2016. – № 4. – С. 55–59.
3. Сандомирский, С. Г. Изменение связи между магнитными параметрами чугуна по сравнению со сталью под влиянием внутреннего размагничивания / С. Г. Сандомирский // Литье и металлургия. – 2014. – № 4. – С. 105–108.
4. Сандомирский, С. Г. Возможности количественного контроля структурных параметров чугунных отливок магнитным методом / С. Г. Сандомирский // Металлургия. – 2009. – № 2. – С. 28–34.