

УДК 621.74

Г.В. СНЕЖНОЙ

*Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина***КОНТРОЛЬ КОЛИЧЕСТВА  $\delta$ -ФЕРРИТА В СТАЛЯХ ТИПА 18-10 МЕТОДОМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАПРОЦЕССНОЙ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ**

*Экспериментально установлена количественная линейная зависимость  $\delta$ -феррита от парапроцессной магнитной восприимчивости аустенитных хромоникелевых сталей. Полученная зависимость может быть положена в основу для разработки нового магнитометрического метода определения объемного содержания  $\delta$ -феррита в сталях по парапроцессной магнитной восприимчивости. Результаты исследований представляют интерес для определения корреляции между количеством ферритной фазы и служебными свойствами промышленных аустенитных хромоникелевых сталей, что представляет большое практическое значение.*

**Ключевые слова:** аустенитная хромоникелевая сталь,  $\delta$ -феррит, аустенит, магнитная восприимчивость.

**Введение**

Аустенитные хромоникелевые стали представляют наиболее широко распространенную группу коррозионноустойчивых сталей, которые также обладают жаростойкостью и жаропрочностью при умеренных температурах. При исследовании аустенитных сталей уделяется значительное внимание определению количества ферритной фазы в связи с ее влиянием на коррозионные и механические свойства. Присутствие даже незначительного количества этой фазы в стали противостоит развитию процесса межкристаллитной коррозии, вследствие которой возникает падение пластичности. Поэтому определение количества  $\alpha$ -фазы, особенно низких содержаний, имеет большое практическое значение.

Существует много разных методов определения количества  $\alpha$ -фазы сталей, фиксирующих ее присутствие начиная с 1...2%. При этом проблематично контролировать весьма низкое содержание  $\alpha$ -фазы в пределах 0,005...5,0%. Один из них более точный – магнитометрический метод, учитывающий намагниченность парамагнитной матрицы (аустенита) [1].

В данной работе предлагается новый метод определения низких содержаний  $\alpha$ -фазы ( $\delta$ -феррита) сталей типа 18-10 по парапроцессной магнитной восприимчивости.

**1. Материал и методика эксперимента**

Опыты проводили на образцах, вырезанных из горячекатаных трубных заготовок диаметром 130...170 мм с разным количеством альфа-фазы

( $\delta$ -ферритовой составляющей) по сечению. Вдоль радиуса каждой заготовки механическим способом вырезали образцы размером 2x2x2 мм<sup>3</sup>, а их поверхность химично электрополировалась с целью снятия поверхностных напряжений. Эталоны стали подбирались близкими за их химическим составом, кроме Ni (табл. 1).

Таблица 1  
Химический состав эталонных хромоникелевых аустенитных сталей

№ стали	Марка стали	Содержание легирующих элементов, % мас.					
		C	Cr	Ni	Ti	Mn	Si
1	10X18H12T	0,10	17,90	11,20	0,48	1,35	0,55
2	05X18H10T	0,05	17,64	10,97	0,36	1,52	0,42
3	10X18H10T	0,10	17,50	10,65	0,48	1,26	0,36
4	11X18H10T	0,11	17,20	9,80	0,56	1,29	0,44
5	08X18H9T	0,08	17,30	8,85	0,53	1,30	0,40
6	09X18H9T	0,09	17,90	8,50	0,58	1,46	0,43

**2. Результаты и их обсуждение**

Если представить промышленную аустенитную сталь типа 18-10 как смесь двух сред:  $\alpha$ -фазы – ферромагнитная среда и  $\gamma$ -фаза – парамагнитная среда, то общая намагниченность насыщения I будет равна сумме намагниченности этих фаз:

$$I = I_f + I_0, \quad (1)$$

где  $I_f$  и  $I_0$  – соответственно намагниченности насыщения ферромагнитной и аустенитных сред.

В [2] рассматривается закон приближения намагниченности к насыщению для хромоникелевых

аустенитных сталях в виде:

$$I = I_s + \vartheta_p \cdot H + \vartheta_0 \cdot H = I_s + (\vartheta_p + \vartheta_0) \cdot H, \quad (2)$$

где  $\vartheta_p$  и  $\vartheta_0$  – объемные магнитные восприимчивости парапроцесса и аустенита;  $H$  – напряженность магнитного поля.

Переходя к удельной намагниченности, получим:

$$\sigma = \sigma_m + \chi_p \cdot H + \chi_0 \cdot H, \quad (3)$$

где  $\sigma$  – общая удельная намагниченность исследуемого образца;  $\sigma_m$  – ферромагнитная составляющая удельной намагниченности насыщения образца;  $\chi_p$  – парапроцессная составляющая удельной восприимчивости образца;  $\chi_0$  – парамагнитная составляющая (за счет аустенита) удельной восприимчивости образца.

Из формулы (3) общая удельная магнитная восприимчивость образца:

$$\chi = \frac{\sigma_m}{H} + (\chi_p + \chi_0) = \frac{\sigma_m}{H} + \chi_\infty, \quad (4)$$

где

$$\chi_\infty = \chi_p + \chi_0 \quad (5)$$

результатирующая удельной магнитной восприимчивости парапроцесса  $\chi_p$  и парамагнитной составляющей  $\chi_0$  удельной магнитной восприимчивости образца. Воспользуемся формулой (5) для нахождения количества  $\delta$ -феррита методом определения парапроцессной магнитной восприимчивости  $\chi_p$ . При достаточно сильных постоянных магнитных полях, в нашем случае от  $2.0$  до  $6.0 \cdot 10^5$  А/м, зависимость  $\chi = f(1/H)$  для сталей типа X18H10T является линейной [2].

Сталь 10X18H12T (№1) парамагнитна, для нее  $\chi_p = 0$  (отсутствует  $\delta$ -феррит),  $\chi_0 = \chi_\infty$ . Поэтому зависимость  $\chi(1/H)$  является горизонтальной линией.

На рис. 1 показаны экспериментальные зависимости удельной магнитной восприимчивости образцов № 1...№ 7 стали 05X18H10T (№ 2, табл. 1) от обратной напряженности магнитного поля  $H$ . Аналогичный вид имеют зависимости  $\chi(1/H)$  для всех образцов оставшихся сталей (№ 3...№ 6).

Экстраполируя  $(1/H) \rightarrow 0$  до пересечения с осью  $\chi$ , определяем соответственно для всех образцов сталей № 2...№ 6 значения  $\chi_\infty$  (табл. 2). Количество  $\delta$ -феррита  $P_\alpha$  в этих образцах находим магнетометрическим методом [3] и заносим в табл. 2.

Для нахождения  $\chi_0$  выбираем один из двух вариантов: либо по данным табл. 2 строим зависи-

мость  $\chi_\infty$  от  $P_\alpha$  и экстраполируем  $P_\alpha \rightarrow 0$  до пересечения с осью  $\chi_\infty$ , либо воспользуемся кривой зависимости  $\chi_0$  от содержания Ni, заимствованной из [1]. На рис. 2 показана эта зависимость  $\chi_0$  от содержания Ni.

Таблица 2

Параметры  $\chi_\infty$ ,  $\chi_0$ ,  $\chi_p$  и  $P_\alpha$  в образцах эталонных сталей №1...6 типа X18H10T

№, марка стали	№ образцов	$\chi_\infty$ , $10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	$\chi_0$ , $10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	$\chi_p$ , $10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	$P_\alpha$ %
1 10X18H12T	1	2,80	2,80	0	0
	2	2,80	2,80	0	0
	3	2,80	2,80	0	0
	4	2,80	2,80	0	0
	5	2,80	2,80	0	0
	6	2,80	2,80	0	0
	7	2,80	2,80	0	0
2 05X18H10T	1	3,40	3,20	0,20	0,03
	2	3,44	3,20	0,24	0,04
	3	3,60	3,20	0,40	0,06
	4	3,75	3,20	0,55	0,08
	5	3,90	3,20	0,70	0,10
	6	4,15	3,20	0,95	0,13
	7	4,50	3,20	1,30	0,17
3 10X18H10T	1	5,67	4,00	1,67	0,08
	2	6,20	4,00	2,20	0,12
	3	6,85	4,00	2,85	0,18
	4	7,50	4,00	3,50	0,22
	5	8,30	4,00	4,30	0,24
	6	8,50	4,00	4,50	0,26
	7	9,20	4,00	5,20	0,33
4 11X18H10T	1	10,40	6,10	4,30	0,29
	2	12,30	6,10	6,20	0,42
	3	17,30	6,10	11,20	0,78
	4	18,00	6,10	11,90	0,87
	5	19,00	6,10	12,90	0,96
	6	21,70	6,10	15,60	1,12
	7	22,90	6,10	16,80	1,20
5 08X18H9T	1	38,00	10,00	28,00	2,13
	2	42,90	10,00	32,90	2,46
	3	43,50	10,00	33,50	2,54
	4	47,40	10,00	37,40	2,83
	5	49,00	10,00	39,00	2,92
	6	50,30	10,00	40,30	3,10
	7	58,40	10,00	48,40	3,63
6 09X18H9T	1	35,30	15,00	20,30	1,24
	2	39,20	15,00	24,20	1,50
	3	53,40	15,00	38,40	2,12
	4	59,30	15,00	44,30	2,63
	5	65,20	15,00	50,20	3,10
	6	74,80	15,00	59,80	3,60
	7	83,90	15,00	68,90	4,20

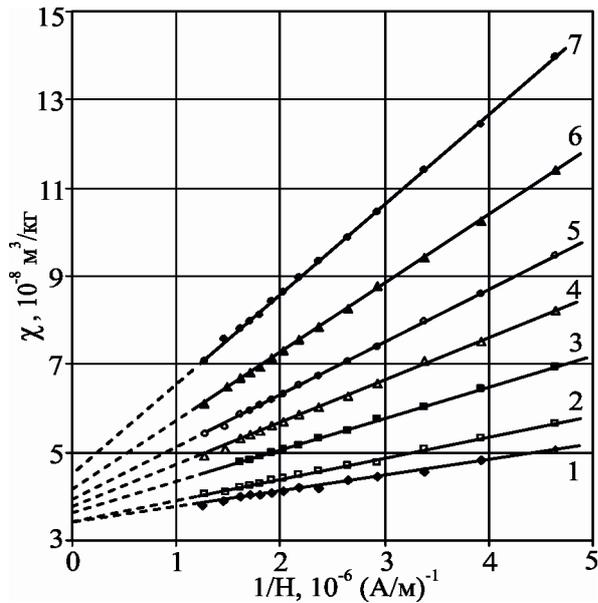


Рис. 1. Зависимость удельной магнитной восприимчивости  $\chi$  образцов № 1...№ 7 стали 05X18H10T (№ 2) от обратной напряженности магнитного поля  $H$

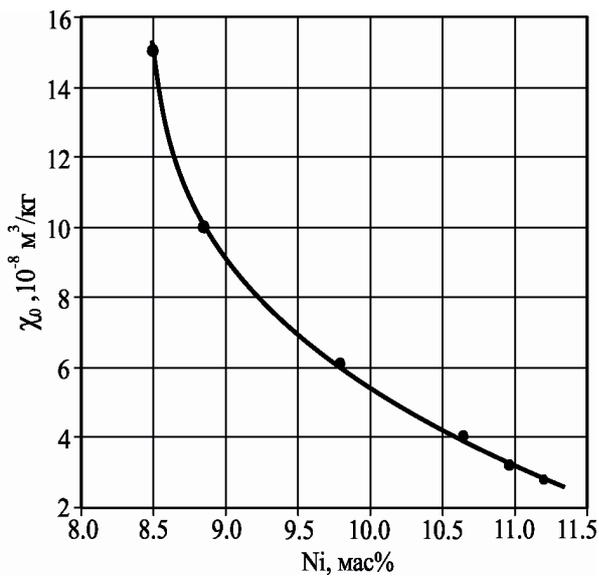


Рис. 2. Зависимость удельной магнитной восприимчивости  $\chi_0$  аустенита от содержания  $Ni$  в сталях типа X18H10T

Удельная магнитная восприимчивость аустенита соответственно для сталей №1...№ 6 равна  $\chi_0=2,8, 3,2, 4,1, 6,1, 10,0, 15,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  (табл. 2 и рис. 2). Зная  $\chi_\infty$  и  $\chi_0$ , по формуле (5) находим эталонные значение  $\chi_p$  (табл. 2).

Количество  $\delta$ -феррита в эталонных сталях (№ 2...№ 6) определяем по уже известным  $\chi_p$  из построенных кривых  $P_\alpha(\chi_p)$ . На рис. 3, 4 приведены эти зависимости для весьма низких содержаний  $\delta$ -феррита, соответственно для образцов № 1...№ 7

сталей 05X18H10T (№ 2) и 11X18H10T (№ 4). Аналогичный вид имеют  $P_\alpha(\chi_p)$  и для всех образцов сталей (№ 3, № 5, № 6).

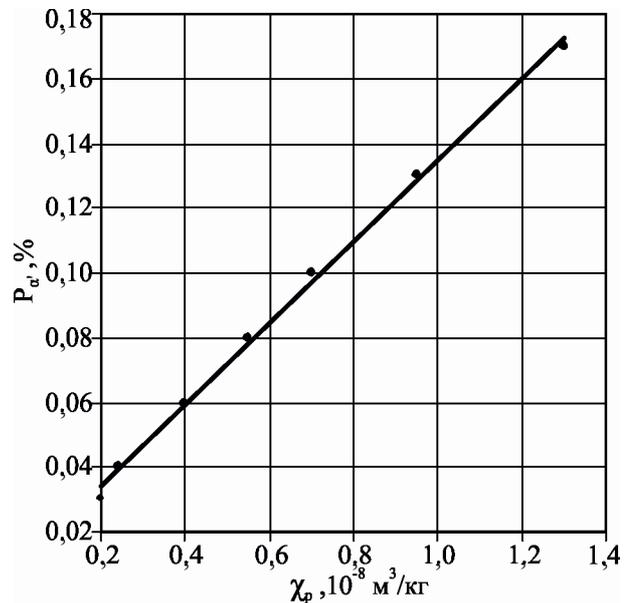


Рис. 3. Зависимость  $P_\alpha$  от  $\chi_p$  для образцов № 1...№ 7 стали 05X18H10T (№ 2)

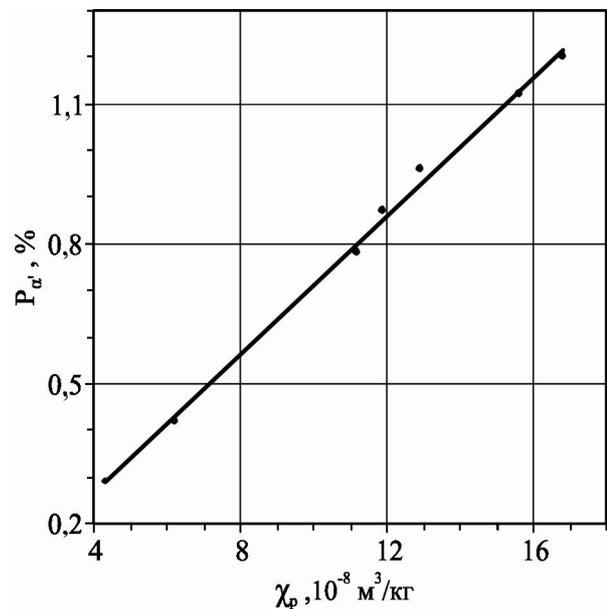


Рис. 4. Зависимость  $P_\alpha$  от  $\chi_p$  для образцов № 1... № 7 стали (№ 4)

На рис. 5 показана обобщенная зависимость количества  $\delta$ -феррита  $P_\alpha$  от величины удельной магнитной парапроцессной восприимчивости  $\chi_p$ . Прямая 1 рис. 5 и служит для нахождения  $\delta$ -феррита  $P_\alpha$  в других аустенитных хромоникелевых сталях по найденным значениям  $\chi_p$ .

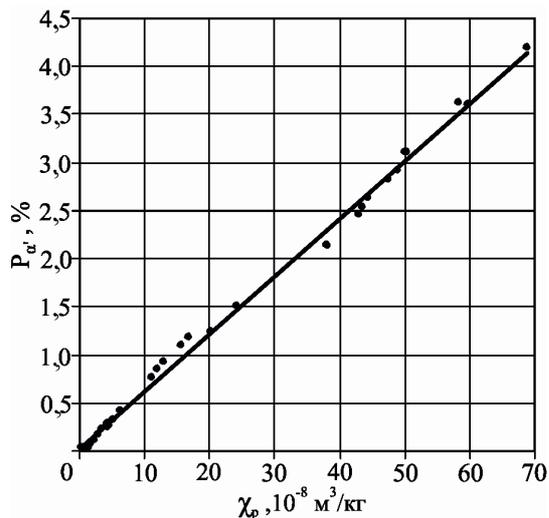


Рис. 5. Обобщенная зависимость  $P_\alpha$  от  $\chi_p$  для всех образцов эталонных сталей (№ 1...№ 6)

### Выводы

Предложен новый магнитометрический метод определения количества  $\delta$ -феррита в сталях типа

X18H10T по парапроцессной магнитной восприимчивости.

### Литература

1. Сніжної Г.В. Залежність магнетованости аустеніту від концентрації нікелю в структурно нестабільних корозійностійких крицях / Г.В. Сніжної, В.Г. Міщенко, В.Л. Сніжної // *Металлофізика і новітні технології*. – 2010. – Т. 32, № 3. – С. 281-287.

2. Снежной В.Л. Определение низких содержаний  $\alpha$ -фазы в аустенитных хромоникелевых сталях и влияние магнитного поля на  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения: автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук: 01.04.07 / Снежной Валентин Лукьянович. – Днепропетровск: изд-во ДГУ, 1968. – 24с.

3. Снежной Г.В. Интегральный физический метод идентификации  $\alpha$ -фазы в аустенитных хромоникелевых сталях / Г.В. Снежной, В.Г. Мищенко, В.Л. Снежной // *Литье и металлургия*. – 2009. – № 3 (52). – С. 241-244.

Поступила в редакцию 27.05.2011

**Рецензент:** д-р физ.-мат. наук, проф. В.В. Погосов, Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина.

## КОНТРОЛЬ КІЛЬКОСТІ $\delta$ -ФЕРИТУ В СТАЛІ ТИПУ 18-10 МЕТОДОМ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАПРОЦЕСНОЇ МАГНІТНОЇ СПРИЙНЯТЛИВОСТІ

Г.В. Сніжної

Експериментально встановлена кількісна лінійна залежність  $\delta$ -фериту від парапроцесної магнітної сприйнятливості аустенітних хромонікелевих сталей. Отримана залежність може бути покладена в основу для розробки нового магнітометричного методу визначення об'ємного вмісту  $\delta$ -фериту в сталях за парапроцесною магнітною сприйнятливістю. Результати досліджень можуть бути корисними для визначення кореляції між кількістю феритної фази і службовими властивостями промислових аустенітних хромонікелевих сталей, що представляє велике практичне значення.

**Ключові слова:** аустенітна хромонікелева сталь,  $\delta$ -ферит, аустеніт, магнітна сприйнятливість.

## CONTROL THE NUMBER OF $\delta$ -FERRITE IN STEELS 18-10 METHOD FOR DETERMINING MAGNETIC SUSCEPTIBILITY PARAPROCESS

G.V. Snejznoi

Quantitative linear dependence of the  $\delta$ -ferrite paraprocess susceptibility of austenitic chromium-nickel steel has been determined experimentally. The dependence obtained can be used as a basis for the development of new magnetometer method for determining the volume content of  $\delta$ -ferrite in steels by the known paraprocess susceptibility. The research results are of interest to determine the correlation between the amount of ferritic phase and the service properties of industrial austenitic chromium-nickel steel, that is of great practical importance

**Key words:** austenitic chromium-nickel steel,  $\delta$ -ferrite, austenite, magnetic susceptibility.

**Снежной Геннадий Валентинович** – канд. физ.-мат. наук, доцент, Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина, e-mail: snow@zntu.edu.ua.