

# Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 3 — 1966

УДК 538.245

Р. П. ВАСИЛЬЕВА, К. М. МУКИМОВ

## ЭФФЕКТ НЕРНСТА—ЭТТИНГСГАУЗЕНА В ТРОЙНОЙ СИСТЕМЕ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗО—КРЕМНИЙ—АЛЮМИНИЙ

Изложены результаты экспериментального исследования поля Нернста—Эттингсгаузена и электрического сопротивления в Fe—Si—Al сплавах в области концентрации, обладающих малыми значениями констант магнитной анизотропии и магнитострикции. Полученные данные согласуются с результатами, полученными на железоникелевых сплавах пермаллоидного типа, и подтверждают справедливость теории, развитой в [3—4].

В работах [1 и 2] было проведено изучение эффекта Нернста—Эттингсгаузена (Н.Э.) на железоникелевых сплавах, близких к составу пермаллоя. Было показано, что ход ферромагнитной константы Н.Э.  $Q_s$  хорошо описывается формулой, предложенной Е. И. Кондорским [3—4], которая связывает величину  $Q_s$  с удельным электрическим сопротивлением  $\rho$  и температурой  $T$

$$Q_s = -(\alpha + \beta\rho)T. \quad (1)$$

Параметры  $\alpha$  и  $\beta$ , как показано в работе, зависят от степени локализации магнитных электронов и от характера носителей тока:

$$\alpha \sim \Delta M \rho_{\text{ост}} \quad (2) \quad \text{и} \quad \beta \sim \Delta M, \quad (3)$$

где  $\Delta M$  определяется формулой (21) статьи [4],  $\rho_{\text{ост}}$  — остаточное удельное сопротивление. В работе [1] показано, что коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  для сплавов пермаллоидной области малы по величине и меняют знак (см. рис. 7 работы [1]).

В работах [5] и [6] показано, что сплав с содержанием кремния 9,5% и алюминия 5,5% («сендаст») обладает близкими к нулю константами магнитострикции и анизотропии, а также (как показал Масумотто [7]) высокими значениями начальной и максимальной проницаемости, т. е. этот сплав по своим магнитным свойствам является аналогом пермаллоя.

Поэтому нами было проведено исследование температурной зависимости ферромагнитной постоянной Нернста—Эттингсгаузена и удельного электрического сопротивления на сплавах типа «сендаст» и определена величина коэффициентов  $\alpha$  и  $\beta$  в этом случае.

Измерения проводились на литых образцах, имеющих форму пластин размерами  $4 \times 8 \times 100$  мм<sup>3</sup>. Выступы для снятия электродвижущей силы Н.Э. и отверстия для вкладывания термопар на образцах получались благодаря специально изготовленной разборной форме, в которую выливался расплав. Образцы перед измерениями гомогенизи-

ровались при температуре 1000°С в течение 10 часов в вакууме. Для снятия внутренних напряжений производился отжиг при 700°С в течение одного часа. Исследовались девять сплавов железо—кремний—алюминиевой системы, состав которых указан в таблице.

№ образца	Состав, %			$Q \cdot 10^{11} \frac{v}{\text{гаусс. град при } 100^\circ\text{C}}$	$\alpha \cdot 10^{14} \frac{v}{\text{гаусс. град}^{-2}}$	$\beta \cdot 10^8 \frac{v}{\text{гаусс. град}^{-2} \text{ ом. см}}$
	Fe	Si	Al			
1	85	9,5	5,5	5,5	0	+0,18
2	85	11	4	13,0	— 4,8	—0,12
3	85	12	3	9,0	— 24	0
4	85	9	6	31,5	—118	—0,31
5	84	8	8	26,0	— 67	0
6	84	9,5	6,5	18,5	— 73	—0,15
7	83	9	8	6	— 12	~ 0
8	86	10	4	17	— 66	—0,23
9	87	10	3	26	—111	—0,31

Методика исследования температурной зависимости эффекта Н. Э. описана в работе [2].

Кривые зависимости электродвижущей силы Нернста—Эттингсгаузена от магнитного поля снимались при различных температурах в интервале от 50 до 400°С. Величина  $\frac{El}{\Delta Tb}$ , т. е. величина электродвижущей силы Н. Э., рассчитанная на единицу градиента температуры в 1 град на 1 см, возрастает при увеличении магнитного поля, затем в полях ~250 эрст достигает насыщения для всех температур в указанном интервале. Для всех исследованных сплавов зависимость электродвижущей силы Н. Э. от магнитного поля имеет одинаковый характер и нами не приводится. На рис. 1 представлены кривые зависимости электродвижущей силы Н. Э. от температуры для девяти исследованных составов. Наибольшие значения электродвижущей силы Н. Э. наблюдаются в сплавах № 9 (10% Si и 3% Al) и № 4 (9% Si и 6% Al). Величина электродвижущей силы Н. Э. для большинства сплавов в зависимости от температуры меняется слабо.

За ферромагнитную постоянную эффекта Н. Э.  $Q_s$  принималось значение, полученное от деления величины  $\frac{El}{\Delta Tb}$ , экстраполированной на ось  $H=0$ , на величину намагниченности насыщения, также экстраполированную на ось  $H=0$ . Значения  $Q_s$  в зависимости от температуры для исследованных сплавов показаны на рис. 2.

На рис. 3 изображена зависимость удельного электрического сопротивления  $\rho$  от температуры, полученная на тех же образцах, что и эффект Н. Э., с помощью методики, описанной в работе [8]. Как видно из рис. 4, экспериментально полученная зависимость  $Q_s/T$  от  $\rho$  достаточно хорошо подтверждает линейную зависимость, предсказанную соотношением (1). Из рисунка видно также, что коэффициент  $\alpha$  имеет наименьшее значение у сплава № 1, наиболее близкого по своим свойствам к пермаллою. Для остальных исследованных сплавов коэффициент  $\alpha$  имеет отрицательные величины, лежащие в интервале от  $-5 \cdot 10^{-14}$  до  $-100 \cdot 10^{-14} \text{ в/гаусс} \cdot \text{град}^{-2}$ . Параметр же  $\beta$  для всех исследованных нами сплавов незначителен.

Как видно из (2) и (3), коэффициент  $\beta$  пропорционален величине  $\Delta M$ , в то время как коэффициент  $\alpha$  пропорционален произведению  $\Delta M_{\text{рост}}$ . Удельное сопротивление в изучаемых сплавах имеет сравнительно большую величину (примерно на порядок больше железонике-

левых сплавов пермаллоидного состава), поэтому величина  $\alpha$  даже при малом  $\Delta M$  может не быть малой. Малая величина коэффициента  $\beta$ , полученная для сплавов железо—кремний—алюминиевой системы, по-видимому, указывает на то, что  $\Delta M$  в этих сплавах близка к нулю.

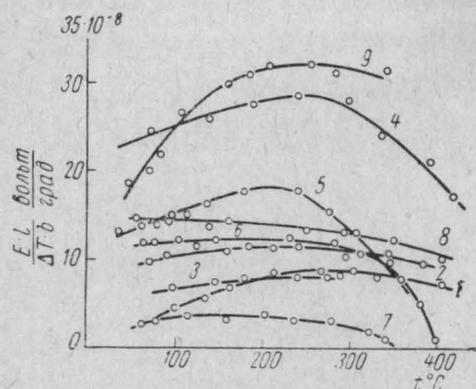


Рис. 1

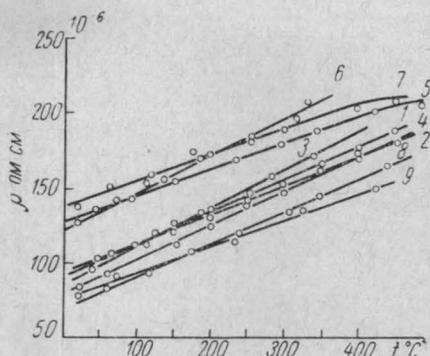


Рис. 3

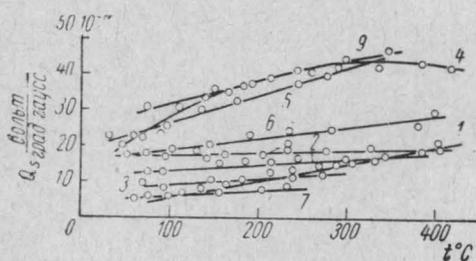


Рис. 2

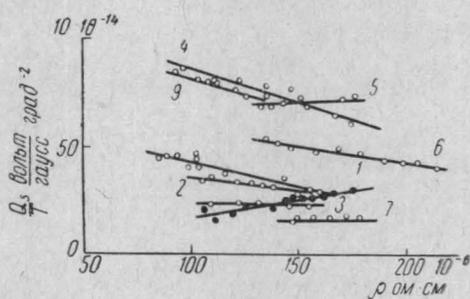


Рис. 4

В приведенной таблице помещены полученные значения величин ферромагнитной постоянной  $H \cdot \mathcal{E}$  и параметров  $\alpha$  и  $\beta$  для сплавов системы Fe—Si—Al.

Таким образом, из приведенных данных следует, что в сплавах системы железо—кремний—алюминий с малой величиной константы магнитной анизотропии величины  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $Q_s$  являются относительно малыми так же, как и в аналогичном случае в сплавах типа пермаллой.

Выражаем благодарность проф. Е. И. Кондорскому за предложенную тему и ценные советы при выполнении работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кондорский Е. И., Васильева Р. П. «Изв. АН СССР», сер. физич., 23, 3, 514.
2. Иванова Р. П. «Физика металлов и металловед.», 8, вып. 6, 1959.
3. Кондорский Е. И. ЖЭТФ, 45, 511, 1963.
4. Кондорский Е. И. ЖЭТФ, 46, 2085, 1964.
5. Займовский А. С., Селицкий Я. П. Сб. «Техническая физика», стр. 5, 1947.
6. Займовский А. С., Педько А. В., Семенов А. А. Отчет Всесоюз. Электротехн. Ин-та, 1938.
7. Masumoto H. Sci. Rep. Tohoku Univ., 5, 338, 1936.
8. Кондорский Е. И., Васильева Р. П., Миронова Л. С. «Вестн. Моск. ун-та», сер. физ., астрон., № 5, 72, 1964.

Поступила в редакцию  
7. 12 1964 г.

Кафедра  
магнетизма