Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 1

ФИЗИКА

Действительный член АН БССР Н. С. АКУЛОВ и А. В. ЧЕРЕМУШКИНА

О ВЛИЯНИИ УПОРЯДОЧЕНИЯ НА ЭФФЕКТ ХОЛЛА В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ

В предыдущем исследовании ([1]) было показано, что эдс Холла ферромагнетиков подчиняется следующему соотношению:

$$\mathbf{e} = a_1[\mathbf{i} \times \mathbf{H}]\rho + a_2[\mathbf{i} \times \mathbf{I}]\rho + a_3\chi_p[\mathbf{i} \times \mathbf{H}]\rho, \qquad (I)$$

где e — эдс Холла, равная произведению плотности холловского тока на удельное электросопротивление ρ. В случае насыщения, если пренебречь первым и третьим членами правой части по сравнению со вторым, из (I) следует:

$$e_{T\sigma} = [a_0\rho_{0\sigma} + a_1(\rho_{T\sigma} - \rho_{0\sigma})]\, I_{T\sigma} i, \qquad (1)$$

где $\rho_{0\sigma}$ и $\rho_{T\sigma}$ — удельные электросопротивления при абсолютном нуле и при данной температуре; индекс σ характеризует степень порядка; $I_{T\sigma}$ — намагниченность насыщения; i — плотность первичного тока.

При применении этой общей формулы к упорядочивающимся сплавам мы должны учесть зависимость $\rho_{0\sigma}$, $\rho_{T\sigma}$ и $I_{T\sigma}$ от степени порядка σ. Теория ([2]) показывает, что $I_{T\sigma}$ линейно зависит от σ, т. е.

$$I_{T\sigma} = I_{T0} + a\sigma. \qquad (2)$$

Что касается зависимости ρ от σ, то известно, что с увеличением σ омическое сопротивление падает и является квадратичной функцией степени порядка ([3], [4]).

$$\rho_{T\sigma} = \rho_{T0} - b\sigma^2. \qquad (3)$$

На основании (2), (1) и (3) имеем:

$$R_{T\sigma} = R_{T0} - C_T\sigma^2, \qquad (4)$$

где $R_{T\sigma} = e_{T\sigma}/I_{T\sigma}i$ — постоянная Холла для ферромагнетиков; при этом $R_{T0} = a_0\rho_{00} - a_1\rho_{00} + a_1\rho_{T0}$, $C_T = a_0b_0 - a_1b_0 + a_1b_T$.

Таким образом, ферромагнитная постоянная Холла меняется от степени порядка так же, как омическое удельное электросопротивление.

Рассматривая частный случай, когда $(I_{T\sigma})_{\sigma=0} \simeq 0$, из (2) и (4) имеем

$$R_{T\sigma} - R_0 = aI_{T\sigma}^2. \qquad (5)$$

В указанном частном случае данная нами общая формула (1) приводит к соотношению, полученному эмпирически А. П. Комаром и Н. В. Волькенштейном при исследовании эффекта Холла для сплавов вблизи состава Ni_3Mn ([5]).

В общем случае, когда $(I_{T\sigma})_{\sigma\to 0} \neq 0$, формулой (5) пользоваться нельзя, особенно в случае, когда намагниченность насыщения ферромагнитных сплавов практически не меняется в процессе упорядоче-

ния, т. е. когда $(I_{T\sigma})_{\sigma\to 0} \cong (I_{T\sigma})_{\sigma\neq 0}$. В этом случае эдс Холла, согласно (1), (4), должна меняться от степени порядка так же, как омическое сопротивление. Для экспериментальной проверки этого следствия из формулы (1) был взят упорядочивающийся сплав вблизи состава Fe_3Al (13,6% Al).

Намагниченность насыщения данного сплава при упорядочении практически не меняется ([6], [7]). Таким образом, предполагаемые изменения эдс Холла в зависимости от степени порядка в этом сплаве

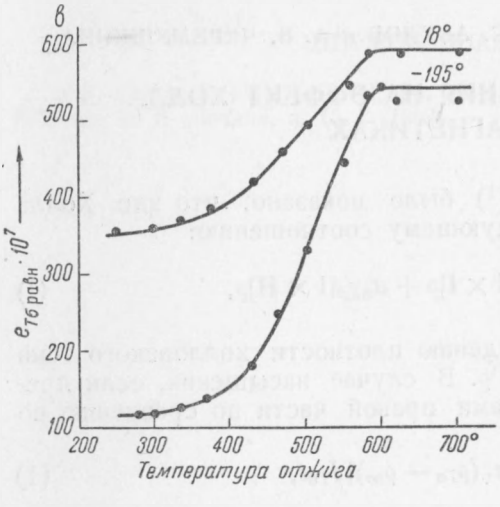


Рис. 1

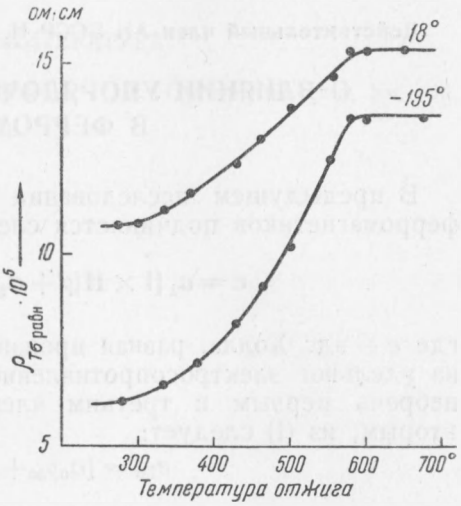


Рис. 2

можно отнести, в основном, за счет изменения от степени порядка ферромагнитной постоянной Холла. Изменение же самой постоянной в процессе упорядочения на основании формулы (1) связано с изменением удельного электросопротивления, меняющегося со степенью порядка.

С целью доказательства этого были измерены эдс Холла и удельное электросопротивление на образцах, имевших одну и ту же термообработку. Для измерения эдс Холла был применен метод, предложенный Е. М. Пюхом ([8]) и И. К. Кикоиным ([9]). Образцы, на которых измерялась эдс Холла, имели форму параллелепипедов размерами $4{,}45 \times 13{,}69 \times 136$ мм с вырезанными электродами — первичными, подводящими ток к образцу (в наших измерениях ток был порядка 10 а), и вторичными, с которых снималось холловское напряжение. Удельное электросопротивление измерялось на стержнях, изготовленных из одной и той же отливки сплава, что и «холловские» образцы. Измерения эдс Холла и удельного электросопротивления проводились компенсационным методом на потенциометре типа ППТН-1. Намагничивание образца производилось в соленоиде и измерялось баллистическим методом. Исследование эффекта Холла на железо-алюминиевых сплавах проводилось впервые. Обнаруженная достаточно большая величина эффекта Холла в данном сплаве позволила измерить эдс Холла с достаточной степенью точности.

Сплав состава Fe_3Al принадлежит к (сравнительно) высокопроницаемым сплавам. Его намагничивание насыщения практически достигалось в магнитных полях порядка 200 эрст. Эдс Холла измерялась в области магнитного насыщения данного сплава. Упорядоченное состояние сплава создавалось путем отжига образцов в вакууме при определенной температуре и фиксировалось закалкой в воду. Эдс Холла и удельное электросопротивление измерялись в зависимости

от времени отжига для каждой температуры отжига. Состояние считалось равновесным, когда с дальнейшим увеличением времени отжига обе измеряемые величины практически не менялись. Эдс Холла и электросопротивление измерялись при температуре жидкого азота и комнатной температуре.

На рис. 1 и 2 даны изменения эдс Холла и удельного электросопротивления в зависимости от температуры отжига. Как видно из данных кривых, постоянная Холла и удельное электросопротивление меняются по одному и тому же закону, уменьшаясь с увеличением степени порядка. Кроме того, измерения при температуре жидкого азота показали, что влияние температуры как на эдс Холла, так и на удельное электросопротивление сказывается больше в упорядоченном состоянии сплава.

Сравнение изменений эдс Холла и удельного электросопротивления в процессе упорядочения дает между этими величинами линейную связь, нарушение которой происходит только при больших степенях порядка. Отсюда вытекает, что ферромагнитная постоянная Холла, возможно, зависит от σ не только через ρ, но и непосредственно, т.е. через постоянную C_T.

Это может быть учтено, если разложить C_T в ряд по σ:

$$C_T = C_T' + C_T\sigma^n + \cdots \qquad (6)$$

Сопоставление с опытом показывает, что n больше 4, т. е. зависимость постоянной C_T от σ проявляется только тогда, когда σ близко к единице.

Проведенные исследования показали, таким образом, что формула (1) дает возможность количественного расчета постоянной Холла по величине сопротивления сплава как для зависимости от температуры, так и для зависимости от степени порядка для ферромагнитных упорядочивающихся и неупорядочивающихся сплавов (Fe_3Al, Fe—Ni). При этом на основании измерений e как функции H и I было установлено, что: 1) a_1, хотя и мало, но отлично от нуля и имеет знак отличный от знака a_2; 2) a_3 имеет тот же знак, что и a_2.

Поступило
11 XI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. С. Акулов, А. В. Черемушкина, ДАН, 98, № 1 (1954). [2] Н. С. Акулов, ДАН, 66, № 3 (1949). [3] С. Рыжанов, ЖЭТФ, 9, 1 (1939). [4] T. Muto, Sci. Pap. Inst. Phys. Chem. Res. Tokyo, 34, 772, 377 (1938). [5] А. П. Комар, Н. В. Волькенштейн, ДАН, 60, № 5 (1948). [6] Б. Е. Сомин, А. А. Липчин, Ю. М. Марголин, Качественная сталь, № 9 (1939). [7] В. С. Меськин, Б. Е. Сомин, А. С. Нихамкин, ЖТФ, 11, в. 10, 918 (1941). [8] E. M. Pugh, Phys. Rev., № 36, 1503 (1930). [9] И. К. Кикоин, Sow. Phys., 9, 1 (1936).