

Я. С. ШУР и И. Е. СТАРЦЕВА

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ МЯГКИХ МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

(Представлено академиком И. П. Бардиным 7 VII 1950)

1. Как известно ⁽¹⁾, термомагнитная обработка, состоящая в охлаждении ферромагнетиков от температуры Кюри до комнатной в присутствии магнитного поля, приводит в некоторых ферромагнетиках к резкой анизотропии магнитных свойств. При этом направление в образце, вдоль которого действовало магнитное поле при охлаждении, становится направлением легчайшего намагничивания, а перпендикулярное ему — труднейшего (магнитная однородность).

Обычно принималось ⁽²⁾, что эта анизотропия создается благодаря снятию при высокой температуре (путем пластического течения материала) магнетострикционных напряжений, которые возникают при охлаждении ферромагнетика ниже точки Кюри. Вследствие этого намагниченность I_s в зарождающихся доменах ориентирована вдоль тех направлений легчайшего намагничивания, которые составляют минимальные углы с ориентацией магнитного поля, прилагаемого при охлаждении образца. Однако сопоставление опытных данных о величине эффекта, производимого этой обработкой, со значениями, полученными теоретически, показало, что эта теория не в состоянии объяснить наблюдаемую величину эффекта ⁽¹⁾.

В связи с этим приходится предположить, что ориентированные магнетострикционные напряжения, возникающие при термомагнитной обработке, производят более глубокие изменения в структуре материала и, возможно, вызывают ориентированные искажения самой кристаллической решетки, что и приводит к магнитной одноосности. Если эта гипотеза верна, то следует ожидать после термомагнитной обработки появления анизотропии не только магнитных, но также и других физических свойств.

С целью проверки правильности этих соображений в данной работе проводилось исследование влияния термомагнитной обработки на величину электросопротивления и его изменения в магнитном поле в некоторых мягких материалах.

2. Исследование проводилось на образцах сплавов 66-пермаллой (66% Ni, 34% Fe), интересного тем, что в нем термомагнитная обработка приводит к возникновению резкой анизотропии магнитных свойств. Исследуемые образцы имели форму проволок длиной 100—200 мм и диаметром 0,3—0,6 мм. Перед измерениями образцы проходили отжиг в водороде при 1050° в течение 2 часов, и затем отжиг в вакууме при 900° также с 2-часовой выдержкой. Во избежание деформации образцов они помещались в тонкие кварцевые трубочки, затем к ним

приваривались платиновые подводящие провода, и в таком состоянии они сохранялись при всех отжигах и во время проведения всех измерений.

При проведении термомагнитной обработки (нагрев 800° , выдержка 30 минут, скорость охлаждения в магнитном поле 100° в час) образец помещался в кварцевой трубке, приключенной к высоковакуум-

ному насосу. При охлаждении в продольном поле на кварцевую трубку, поверх которой была намотана печь, надвигался солениод. Во время охлаждения в поперечном поле через образец (находящийся в вакууме) пропусклся постоянный ток, намагничивающий его циркулярно. Измерение электропроводности производилось компенсационным методом с помощью малоомного компенсатора, в цепь которого был включен высокочувствительный гальванометр.

3. Основные результаты измерений представлены на рис. 1 и в табл. 1. Кривые, показы-

вающие зависимость относительного изменения электросопротивления от величины продольного магнитного поля, $\Delta r/r$ -эффект (рис. 1), соответственно относятся к образцам, охлажденным без поля, и в продольном и в поперечном магнитных полях. В табл. 1 представлены данные о величине электросопротивления образцов, прошедших различную обработку: r — электросопротивление размагниченного образца, Δr_s — изменение электросопротивления образца в магнитном поле, доводящем его до насыщения, и $r_s = r + \Delta r_s$ — полное электросопротивление образца в магнитном поле.

Таблица 1

Способ охлаждения	$r \cdot 10^4$ ом	$\Delta r_s \cdot 10^4$ ом	$r_s \cdot 10^4$ ом
Без поля . .	1953	16	1969
В продольном поле .	1959	8	1967
В поперечном поле .	1973	25	1998

Как видно из кривых рис. 1, термомагнитная обработка видоизменяет ход кривых относительного изменения электросопротивления в магнитном поле. А именно, охлаждение в продольном поле приводит к уменьшению, а в поперечном поле — к увеличению величины $\Delta r/r$. Из данных таблицы следует, что в образцах 66-пермаллоя термомагнитная обработка вызывает заметную анизотропию величин r и r_s . А именно, охлаждение в продольном поле приводит к незначительному уменьшению величины r_s (около $0,2\%$), а охлаждение в поперечном поле вызывает рост величины r_s порядка 2% .

4. Анизотропия в ходе кривых $\frac{\Delta r}{r}(H)$ после термомагнитной обработки вызвана появлением магнитной текстуры. Как известно ⁽³⁾, $\Delta r/r$ -эффект относится к классу четных эффектов и поэтому при из-

менении ориентации намагниченности доменов — I_s на 180° электро-сопротивление образца остается неизменным. Однако, если ориентация I_s доменов изменяется на угол, отличный от 90° , то это оказывает влияние на величину электросопротивления, и величина эффекта будет тем больше, чем ближе этот угол к 90° .

Терромагнитная обработка в продольном поле приводит к тому, что I_s доменов ориентируются преимущественно вдоль оси образца. Следовательно, в таком образце процесс намагничивания будет преимущественно осуществляться с помощью 180° смещений границ, которые не вызывают изменения r , поэтому в таком образце $\Delta r/r$ -эффект должен быть меньше, чем в образце, охлажденном без поля, что и наблюдается на опыте.

Обратное явление должно иметь место после терромагнитной обработки в поперечном магнитном поле, так как после такой обработки I_s доменов будут составлять углы, близкие к 90° , с направлением измерения электросопротивления, что также подтверждается экспериментально. Отсюда следует, что наличие магнитной текстуры должно привести к различному значению r . Однако при насыщении величина r_s должна иметь одно и то же значение, независимо от исходного распределения I_s доменов.

Следовательно, если допустить, что все действие терромагнитной обработки сводится лишь к созданию магнитной текстуры в образце, как это предполагалось ранее, то следует ожидать, что величина r_s будет оставаться постоянной величиной, независимо от условий терромагнитной обработки. Как видно из таблицы, в образце 66-пермаллоя величина r_s различна в зависимости от условий терромагнитной обработки. Следовательно, для этого сплава нельзя принять, что терромагнитная обработка приводит только к перераспределению доменов. Естественнее предположить, что в случае 66-пермаллоя эта обработка вызывает некоторые изменения в его кристаллической структуре, что приводит к магнитной одноосности, а также анизотропии электро-сопротивления.

Таким образом, на основании результатов измерений, полученных в данной работе, можно сделать вывод, что терромагнитная обработка может привести к возникновению анизотропии в самой кристаллической структуре ферромагнетика, что вызывает анизотропию ряда физических свойств, в том числе и магнитных.

Следует отметить, что в высококоэрцитивном сплаве после терромагнитной обработки наблюдается подобная анизотропия r_s ⁽⁴⁾, которая, повидимому, вызвана также тем, что данная обработка приводит к анизотропии в структуре сплава ⁽⁵⁾.

Институт физики металлов
Уральского филиала АН СССР

Поступило
29 VI 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. В. Вонсовский и Я. С. Шур, Ферромагнетизм, М., 1948, стр. 735.
² J. F. Dillinger and R. M. Bozorth, Physics, 6, 279 (1935). ³ Я. С. Шур, Изв. АН СССР, сер. физ., 11, 640 (1947). ⁴ В. И. Дрожжина, М. Г. Лужинская и Я. С. Шур, ЖТФ, 19, 95 (1949). ⁵ Л. А. Шубина и Я. С. Шур, ЖТФ, 19, 88 (1949); Д. А. Штуркин и Я. С. Шур, ЖТФ, 19, 235 (1949).