

К. П. БЕЛОВ, Л. И. СОЛНЦЕВА

О МАГНИТНЫХ СВОЙСТВАХ СПЛАВОВ ГАДОЛИНИЙ—ИТРИЙ

Измерены температурные зависимости намагниченности, коэрцитивной силы и гальваномагнитного эффекта сплавов гадолиний—итрий с содержанием 10, 25 и 35% ат. иттрия. Эти зависимости имеют аномальный вид, похожий на тот, который наблюдается на соответствующих кривых в чистом гадолинии при температурах 210—250° К [3]. Они также похожи на аномалии на кривых намагниченности в сплавах гадолиний—итрий с большим содержанием иттрия (более 40 ат %), обнаруженные в работах [1, 2]. Установлено, что отжиг сплавов приводит к изменению и даже исчезновению этих аномалий в сплавах гадолиний—итрий. Высказывается предположение, что природа аномальных магнитных свойств в сплавах гадолиний—итрий и в чистом гадолинии одна и та же и связана с разрушением неколлинеарных конфигураций магнитных моментов.

В работах [1, 2] для сплавов гадолиний—итрий с большим содержанием иттрия (более 40% ат.) наблюдались резкие максимумы на кривых температурной зависимости намагниченности $\sigma(T)$. Наличие этих максимумов, по мнению авторов работы [1], свидетельствует о переходе сплавов с большим содержанием иттрия (более 40% ат.) из ферромагнитного в антиферромагнитное состояние. В магнитных полях более 4000 эрст кривые $\sigma(T)$ имеют обычный вейссовский вид, что, согласно [1, 2], свидетельствует о разрушении антиферромагнитной структуры. По мнению тех же авторов, с уменьшением в сплавах содержания иттрия от 40% ат. до нуля антиферромагнитной структуры не возникает, и эти сплавы (включая чистый гадолиний) являются нормальными ферромагнетиками.

В нашей работе были проведены измерения температурной зависимости намагниченности сплавов гадолиний—итрий с содержанием иттрия менее 40% ат., а именно: 10, 25, 35% ат. в сильных и слабых магнитных полях (в отличие от работ [1, 2]). Измерения проводились на сплавах в закаленном состоянии (к закаленному состоянию приравнивается состояние после плавки) и после длительного отжига. На образцах сплавов указанного состава, кроме того, были проведены измерения температурной зависимости коэрцитивной силы и четного продольного гальваномагнитного эффекта. Последние являются чувствительными индикаторами к изменению магнитной структуры магнетиков.

Сплавы выплавлялись в дуговой печи в атмосфере очищенного гелия. Исходные металлы имели следующую чистоту: Gd—99,85% и Y—99,7%.

Для измерения намагниченности в слабых полях из плавов вытачивались тороиды с внешним диаметром 16 мм, внутренним диаметром

10 мм и толщиной от 2,8 до 8 мм. Измерения намагниченности в сильных полях, а также коэрцитивной силы и гальваноманнитного эффекта производились на тонких пластинках размерами $30 \times 1 \times 0,1$ мм.

Магнитные характеристики измерялись баллистическим методом, а продольный гальваноманнитный эффект $r_{\parallel} = \Delta R/R_0$, где R_0 — электросопротивление в районе точки Кюри — потенциометрическим методом.

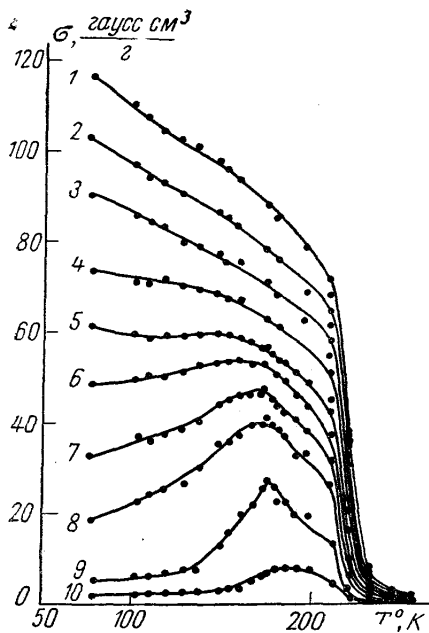


Рис. 1. Температурная зависимость намагниченности для сплавов 75% Gd, 25% Y, $H=1$ — 70,5 эрст, 2 — 35,2 эрст, 3 — 21,2 эрст, 4 — 10,6 эрст, 5 — 5,64 эрст, 6 — 3,52 эрст, 7 — 2,12 эрст, 8 — 1,41 эрст, 9 — 0,705 эрст, 10 — 0,35 эрст.

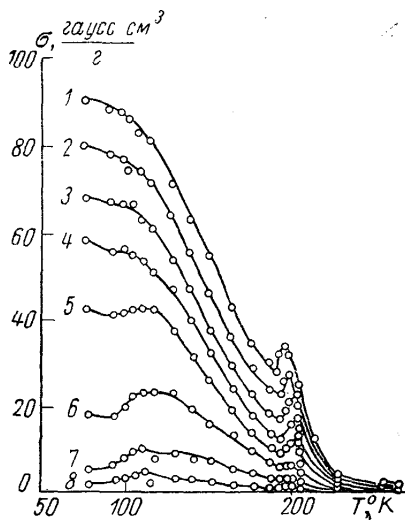


Рис. 2. Температурная зависимость намагниченности для сплава 65% Gd, 35% Y, $H=1$ — 53,5 эрст, 2 — 28,6 эрст, 3 — 14,3 эрст, 4 — 7,14 эрст, 5 — 3,57 эрст, 6 — 1,43 эрст, 7 — 0,714 эрст, 8 — 0,357 эрст

На рис. 1, 2 приведены кривые температурной зависимости намагниченности для сплавов с содержанием иттрия 25 и 35% ат. Сплавы находились в закаленном состоянии. В слабых полях наблюдаются максимумы на кривых $\sigma(T)$, похожие на те, которые были обнаружены в работах [1, 2] для сплавов с большим содержанием иттрия (более 40% ат.). Аналогичный вид имеют кривые для сплавов 10 и 50% ат. иттрия. Кривые $\sigma(T)$ для чистого гадолиния по данным [3, 4] очень напоминают кривые на рис. 2. Разница состоит в том, что исчезновение максимумов в сплавах с большим содержанием иттрия происходит в более сильных магнитных полях. По-видимому, причина возникновения аномального температурного хода намагниченности во всех этих веществах одна и та же.

На рис. 3 приведены результаты измерений продольного гальваноманнитного эффекта r_{\parallel} в сплавах с содержанием 25% ат. иттрия. Видно, что в районе температур, где имеют место максимумы на кривых $\sigma(T)$, наблюдаются резкие максимумы гальваноманнитного эффекта. Подобные же максимумы гальваноманнитного эффекта наблюдались нами для сплавов с содержанием иттрия 10, 35 и 50% ат., а также для чистого гадолиния [4].

Следует заметить, что максимумы r_{\parallel} , наблюдаемые в сплавах, соответствуют не точке Кюри, а расположены несколько ниже ее (последняя была определена методом термодинамических коэффициентов). Максимум отрицательного гальваномангнитного эффекта парапроцесса, соответствующий точке Кюри, значительно меньше по величине и, по-видимому, маскируется максимумом $(r_{\parallel})_{\max}$.

На рис. 4 приведены кривые температурной зависимости коэрцитивной силы, измеренной в поле 2000 эрст для исследуемых сплавов.

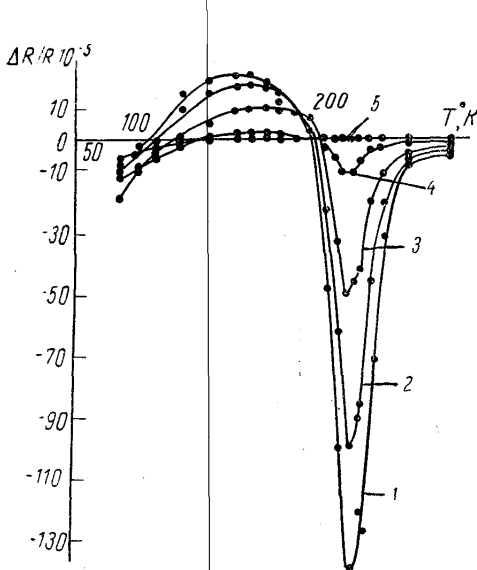


Рис. 3. Продольный гальваномангнитный эффект сплава 75% Gd, 25% Y, $H=1$ —140 эрст, 2—936 эрст, 3—458 эрст, 4—117 эрст, 5—11,7 эрст

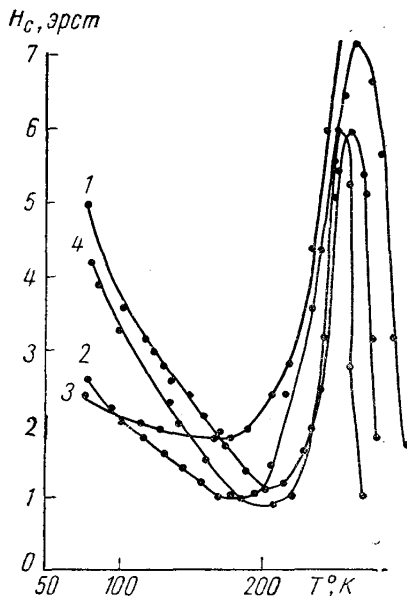


Рис. 4. Температурная зависимость коэрцитивной силы сплавов: 1—90% Gd, 10% Y, 2—75% Gd, 25% Y, 3—65% Gd, 35% Y, 4—Gd (по данным измерений А. В. Педько)

Для всех сплавов наблюдается резкое возрастание H_c при температурах несколько ниже точки Кюри. Для чистого гадолиния это возрастание H_c приходится на интервал температур 210—250°K.

Измерения кривых температурной зависимости намагниченности на образцах, прошедших отжиг при 600°С в течение 100 час в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. с последующим медленным охлаждением, показали резкое отличие от соответствующих кривых для закаленных образцов. На рис. 5 приведена температурная зависимость намагниченности для медленно охлажденного сплава 35% ат. Y. Для составов с 35 и 50% ат. Y в медленно охлажденных образцах пропадает максимум на температурных кривых намагниченности (он, однако, сохраняется в слабых полях). Для составов, содержащих 25 и 10% ат. Y наблюдалась весьма сложная по характеру температурная зависимость и ее изменение от термообработки.

А. А. Кацнельсон и Б. Т. Дерипаско по нашей просьбе сняли рентгенограммы с исследованных нами сплавов. Они установили, что в этих сплавах существует атомное упорядочение, тип которого зависит от состава [5]. Возможно, это является причиной изменения магнитных характеристик изучаемых сплавов при отжиге.

Для того чтобы сделать достоверные суждения о природе обнаруженных нами аномалий в температурном ходе магнитных и гальваномагнитных характеристик в сплавах гадолиний—иттрий с малым содержанием иттрия (в закаленном состоянии), необходимы тщательные нейтронографические исследования магнитной структуры этих веществ.

По нашему мнению, за возникновение этих аномалий ответственно разрушение неколлинеарных конфигураций магнитных моментов, существующих в этих сплавах. Ситуация здесь, приблизительно такая же, как и для чистого гадолиния.

В этом металле при температурах 210—250° К происходит разрушение неколлинеарной конфигурации магнитных моментов, образованной совместным действием обменных и магнитных сил решетки. Она может быть разрушена магнитным полем, вызывая аномалии магнитных и гальваномагнитных свойств. В других редкоземельных ферромагнетиках, например, в диспрозии также существует неколлинеарная конфигурация магнитных моментов, но она носит явно геликоидальный характер, что приводит к антиферромагнитному поведению вещества. В случае Gd и сплавов Gd—Y угол геликоидальности, по видимому, очень мал (или в нем существует периодическое изменение направления магнитного момента вдоль оси с магнитной структура

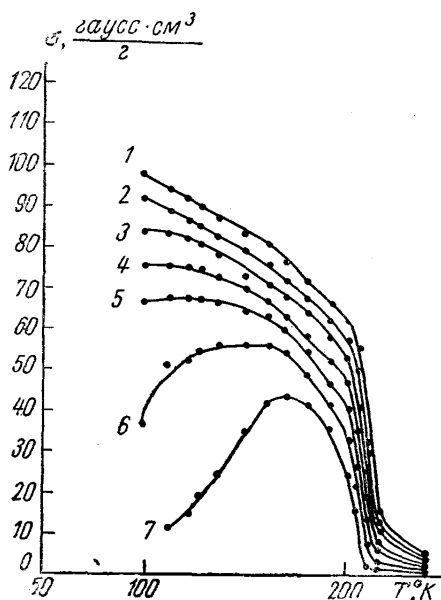


Рис. 5. Температурный ход намагниченности сплава 65% Gd, 35% Y после отжига в вакууме при 600°С в течение 100 часов. $H=1-59$ эрст, 2—39 эрст, 3—23,6 эрст, 4—11,8 эрст, 5—6,3 эрст, 6—2,36 эрст, 7—0,788 эрст

типа эрбия с малой энергией геликоидальности). Поэтому в них имеются слабые признаки проявления антиферромагнетизма.

Благодарим А. В. Педько и С. А. Никитина за участие в обсуждении наших результатов и И. В. Бурова за консультацию по приготовлению сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Thoburn V. S., Legvold S., Spreading F. Phys. Rev., **110**, 1289, 1958.
2. Arais S., Miller D. S. J. Appl. Phys., **31**, 213, 1960.
3. Белов К. П., Левитин Р. З., Никитин С. А., Педько А. В. ЖЭТФ, **40**, 1562, 1961; Белов К. П., Педько А. В. ЖЭТФ, **42**, 87, 1962.
4. Педько А. В. Диссертация. МГУ, 1962.
5. Кацнельсон А. А., Дерипаско В. Т. «Кристаллография» (в печати).

Поступила в редакцию
16. 10. 1965 г.

Кафедра
общей физики для биологов