

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ТЕРБИЯ НА СТРУКТУРУ СПЛАВОВ $Gd_{1-x}Tb_x$

К. А. Кулимзин<sup>а</sup>, Н. Е. Скрыбина<sup>а</sup>, Д. Фрушар<sup>б</sup>, Й. Люо<sup>с</sup>

<sup>а</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, Букирева, 15

<sup>б</sup>Институт Нееля 38042, Гренобль, Франция, Мартирс, 25

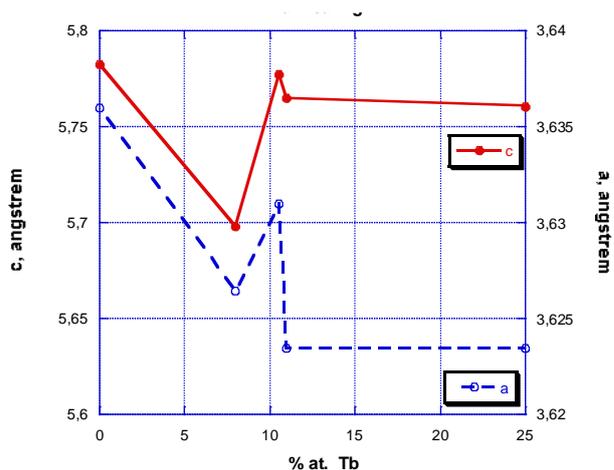
<sup>с</sup>Gadway Advanced Materials Ltd., Шэньчжэнь, Китай

Известно, что 15% общего мирового энергетического потребления затрачивается на работу различных охладительных устройств (кондиционеры, холодильники, морозильники, установки для закаливания материалов и т.д.). Магнитные рефрижераторы потребляют энергию на 20-30% меньше чем холодильные устройства, использующие технологию газового сжатия. Для обеспечения достаточно высокого КПД магнитных рефрижераторов необходима разработка эффективных материалов, которые за счет реализации магнитокалорического эффекта могут быть использованы при комнатных и более низких температурах. Примером служат сплавы на основе гадолиния, например, легированные тербием. В рамках данной работы исследованы композиции  $Gd_{1-x}Tb_x$ , в интервале концентраций Tb от 0 до 25 ат%.

Гадолий и тербий являются очень «близкими» элементами. Оба – лантаноиды, располагаются в соседних позициях в таблице Менделеева, и имеют несущественные отличия в значениях атомных радиусов. В частности поэтому, их сплавы образуют непрерывный ряд твердых растворов. Основываясь на этих фактах можно предположить линейное изменение свойств сплавов при изменении состава. Проведенный обзор литературы показал, что действительно, например, температура Кюри сплавов с различной концентрацией тербия линейно снижается с увеличением концентрации.

Электронно-микроскопическое исследование поверхности образцов, проведенное нами, показало отсутствие заметной разницы в рельефе поверхности образцов в зависимости от состава сплава. Анализ элементного состава (рентгеновский энергодисперсионный метод) также показал, что независимо от соотношения компонентов, гадолий и тербий распределены равномерно, без образования зон с повышенной/пониженной концентрацией любого из элементов.

Тем не менее, в ходе проведения рентгенографического исследования композиций и расчете параметров решетки ( $a$ ,  $c$ ) исследованных образцов, установлена определенная зависимость величин  $a$  и  $c$  от состава сплавов (рис.). Проведенный анализ позволил обнаружить аномалию в области 8-10,5 ат.% концентрации тербия.



**Рис. 1.** Концентрационная зависимость параметров элементарной ячейки в отожженном сплаве  $Gd_{1-x}Tb_x$

Более того, дальнейшие исследования – измерение микротвердости образцов, также показали, что нелинейное изменение свойств наблюдается и на кривых изменения микротвердости в зависимости от состава сплава в том же интервале значений концентрации тербия.

Отмеченные особенности в поведении сплавов  $Gd_{1-x}Tb_x$  не описаны в литературе, т.е. установлены впервые. Поскольку обе аномалии обнаружены в ходе независимых исследований, есть основание полагать, что существует единое объяснение установленным закономерностям.

Представляется, что природа указанных явлений обусловлена следующим: известно, что Gd является ферромагнетиком (до точки Кюри), а Tb – парамагнетик. Оба рассматриваемых элемента имеют гексагональную решетку, но их магнитные моменты упорядочиваются вдоль разных кристаллографических направлений. Возможно, при низких концентрациях тербия, магнитные моменты его атомов в локальном объеме искажают магнитную структуру решетки гадолиния, что при определенной температуре приводит к неожиданным результатам.

Дополнительное влияние, очевидно, оказывает и магнитный переход ферромагнетик – парамагнетик в Gd. В области концентраций  $8 \div 11\%$  ат. Tb, температура Кюри сплава соответствует комнатной температуре. Выше этой температуры материал переходит в парамагнитное состояние. В отожженных материалах с равновесной структурой и при отсутствии внутренних напряжений оказалось возможным наблюдать эту аномалию.

Так же некоторый вклад в рассматриваемое явление может внести и тот факт, что Tb обладает магнитострикционным эффектом, а Gd нет. Некоторое количество атомов Tb, внедренных в решетку Gd, могут исказить ее, создавая дополнительные напряжения.