

- [4] Чистый И. Л., Китаева В. Ф., Осико В. В. и др. ФТТ, 1975, т. 17, № 5, с. 1434—1441.
- [5] Чистый И. Л. Труды ФИАН, 1977, т. 102, с. 129—201.
- [6] Жариков Е. В., Китаева В. Ф., Осико В. В. и др. Препринт ФИАН № 200. М., 1983. 10 с.
- [7] Krupke W. F., Shinn M. D., Morion J. E. et al. J. Opt. Soc. Am., 1986, vol. B3, N 1, p. 102—114.
- [8] Kitaeva V. F., Zharikov E. V., Chisty I. L. Phys. Stat. Sol. (a), 1985, vol. 92, p. 475—488.
- [9] Krzesinska M., Szuta-Buchacz T. Phys. Stat. Sol. (a), 1984, vol. 82, p. 421—424.
- [10] Антохов А. Н., Кутуков В. И., Антонов А. В., Иванов И. А. ФТТ, 1985, т. 27, № 4, с. 1224—1226.
- [11] Ершова Л. М., Жариков Е. В., Китаева В. Ф. и др. Краткие сообщения по физике, 1984, № 7, с. 48—51.
- [12] Жариков Е. В., Китаева В. Ф., Кошелева И. В. и др. КСФ, 1985, № 1, с. 23—26.
- [13] Жариков Е. В., Китаева В. Ф., Осико В. В. и др. ФТТ, 1984, т. 26, № 5, с. 1517—1519.
- [14] Lynch R. T., Dillon J. F., van Uitert L. G. J. Appl. Phys., 1973, vol. 44, N 1, p. 225—229.

Физический институт  
им. П. Н. Лебедева АН СССР  
Москва

Поступило в Редакцию  
8 июля 1988 г.

УДК 669.12'235'24'234 : 538.953,955

Физика твердого тела, том 31, в. 2, 1989  
Solid State Physics, vol. 31, № 2, 1989

## ГИГАНТСКОЕ МАГНИТНОЕ ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ В БЛИЗИ МАГНИТНОГО ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА 1-го РОДА В СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ $\text{Fe}_{0.49}\text{Rh}_{0.51}$

К. Б. Власов, Е. А. Розенберг, А. В. Четвериков,  
Н. В. Баранов

К настоящему моменту хорошо известно магнитное последствие (МП) после «мгновенного» изменения магнитного поля  $H$ . Экспериментально и теоретически оно в основном изучено для намагниченности в ферромагнетиках [1]. В [2] нами начато исследование МП (также при изменении  $H$ ) для магнетиков в области гетерогенных (при которых меняется концентрация магнитных фаз) магнитных фазовых переходов 1-го рода (МФП-1) порядок—порядок. Такие переходы реализуются в них в отличие от ферромагнетиков не только по  $H$ , но и температуре  $T$ . Отсюда вытекает возможность наблюдения МП в таких объектах и по  $T$ . До сих пор подобный эффект не был обнаружен. Это связано с тем, что в ферромагнетиках МФП по температуре переход 2-го рода (гомогенный и безистерезисный). В магнетиках же, обладающих МФП-1 по температуре, экспериментально реализуемое время  $t$  изменения этой температуры на  $\Delta T$  может превышать  $t_{\text{МП}}$  — характерную длительность МП. В работе сообщается об обнаружении подобного эффекта.

Исследовались поликристаллические сплавы  $(\text{Fe}_{0.965}\text{Ni}_{0.035})_{0.49}\text{Rh}_{0.51}$  и  $\text{Fe}_{0.49}(\text{Rh}_{0.92}\text{Pd}_{0.08})_{0.51}$  — далее сплавы 1 и 2. Как и базовый  $\text{Fe}_{0.49}\text{Rh}_{0.51}$ , они имеют ОЦК структуру типа CsCl, а с ростом  $T$  (при  $T=T_c$ ) в них возникает МФП-1 из антиферро- в ферромагнитное состояние (см. обзор [3]). Добавки 3d- и 4d-металлов уменьшают  $T_c$  [4]. В сплавах 1 и 2 измерялись деформации  $\lambda = (l_r - l_0)/l_0$  (где  $l_r$ ,  $l_0$  — длины образцов при температурах  $T$  и 77 К) по методике [2]. Значения  $\lambda$  определяют термическое расширение при квазистатическом изменении  $T$  и его последствие после измене-

ния  $T$  на  $\Delta T$  и ее стабилизации. Точность поддержания  $T$  при измерении МП была не хуже 0.02 К.

На рис. 1 приведены петли температурных гистерезисов термического расширения (ТГТР) в области МФП-1 сплавов 1 (а) и 2 (б). Они получены и воспроизводятся для скорости изменения  $T=1$  К/мин и связаны с термострикцией (спонтанной стрикцией) при МФП-1. Такая скорость недостаточна для установления в образцах устойчивого по  $t$  состояния. Поэтому если на ветвях ТГТР при достижении некоторой  $T$  стабилизировать ее, то возникает МП термического расширения (изменение  $\lambda$  с  $t$  для  $T=\text{const}$ ).

На рис. 2 изображены зависимости  $\lambda$  от  $\lg t$  для сплавов 1 (а) и 2 (б), характеризующие кинетику МФП-1 в них (изменение относительных

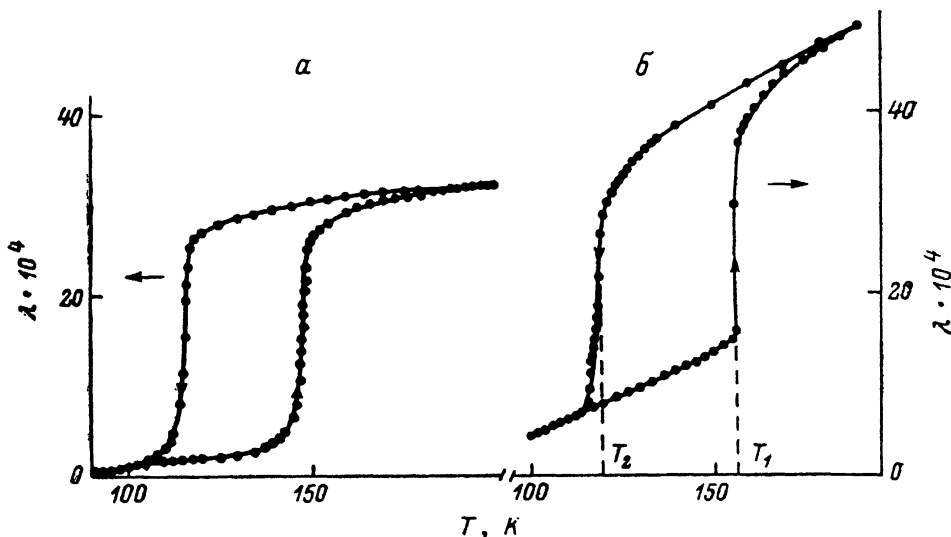


Рис. 1. Петли температурных гистерезисов термического расширения (ТГТР) в области МФП-1 для  $(\text{Fe}_{0.965}\text{Ni}_{0.035})_{0.49}\text{Rh}_{0.51}$  (а) и  $\text{Fe}_{0.49}(\text{Rh}_{0.92}\text{Pd}_{0.08})_{0.51}$  (б).

объемов сосуществующих магнитных фаз со временем). Они сняты на восходящих ветвях ТГТР при температуре, примыкающей к  $T_1$  со стороны низких  $T$ . Аналогичные зависимости наблюдаются на нисходящих ветвях (если  $T$  примыкает к  $T_2$  со стороны высоких  $T$ ). Здесь  $T_1$  и  $T_2$  соответствуют наиболее крутым участкам восходящей и нисходящей ветвей петель ТГТР (рис. 1, б). На рис. 2, в показаны «мгновенные» изменения  $\lambda$  при переходе от  $T$  к  $T \pm \Delta T$  (прямые стрелки) и последующие деформации  $\lambda_{\text{МП}}$ , возникающие при  $T=\text{const}$  за время  $t_{\text{МП}}$  (волнистые стрелки) на ветвях петли ТГТР сплава 1;  $t_{\text{МП}}$  — время от начала МП до достижения им скорости  $d\lambda/dt \leq 10^{-7}$ /мин (длительность МП);  $\Delta T$  — разность температур между предыдущим и следующим процессами МП (при  $\Delta T/\Delta t \leq 1$  К/мин). Из рис. 2 видны характерные особенности изученного МП, позволяющие назвать его гигантским.

1) Большие величины  $\lambda_{\text{МП}}$ , соизмеримые с полными изменениями при прохождении МФП-1 по  $T$  (ср. рис. 2, а, б и 1, а, б). Значительные длительности МП (например,  $t_{\text{МП}} \approx 240$  мин для случая рис. 2, а).

2) Нелинейные зависимости  $\lambda$  от  $\lg t$ . Для температур, примыкающих к  $T_1$  и  $T_2$ , характерен переход от роста модуля наклона касательных к кривым  $\lambda(\lg t)$  к его уменьшению при  $t \rightarrow t_{\text{МП}}$ . При таком переходе на кривых  $\lambda(\lg t)$  регистрируются точки перегиба (сплав 1) и скачок (сплав 2) — рис. 2, а, б. При отходе от  $T_1$  и  $T_2$  наблюдается уменьшение  $\lambda_{\text{МП}}$  и  $t_{\text{МП}}$  (рис. 2, в). Зависимости  $\lambda(\lg t)$  при этом остаются нелинейными, однако на них отсутствуют точки перегиба и скачки: на восходящей ветви ТГТР модуль угла наклона касательной при  $T < T_1$  возрастает с ростом  $t$

(на нисходящей уменьшается для  $T < T_2$ ) и уменьшается при  $T > T_1$  (увеличивается для  $T > T_2$ ).

Отметим, что совпадение температур скачков на зависимостях  $\lambda$  ( $\lg t$ ) и ветвях ТГТР сплава 2, а также равенство величин этих скачков (ср. рис. 1, б и 2, б) прямо подтверждают предположение [2] о связи формы кривых  $\lambda$  ( $\lg t$ ) и  $\lambda$  ( $T$ ) при МФП-1. Следовательно, особенности гигантского МП согласуются с представлениями [2] о существовании при МФП-1 неустойчивых (меняющихся с  $t$ ), а также относительно устойчивой ( $t \rightarrow \infty$ ) петель ТГТР. При  $T = \text{const}$  точка, описывающая состояние маг-

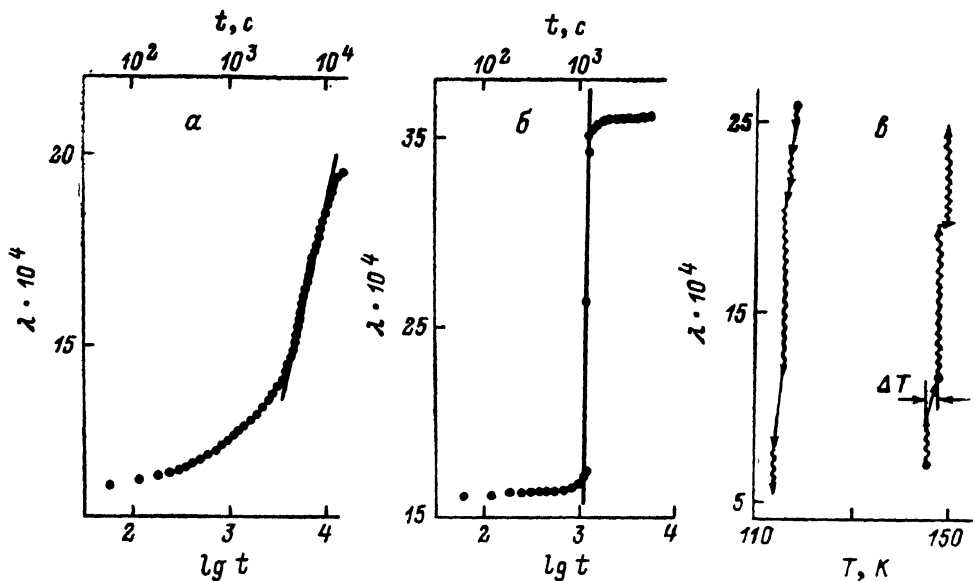


Рис. 2. Зависимости деформаций  $\lambda$  от  $\lg t$  при последствии термического расширения для  $(\text{Fe}_{0.995}\text{Ni}_{0.005})_{0.49}\text{Rh}_{0.51}$ ,  $T \approx 147.7$  К (а) и  $\text{Fe}_{0.49}(\text{Rh}_{0.92}\text{Pd}_{0.08})_{0.51}$ ,  $T \approx 156.3$  К (б).

нетика, переходит со временем от неустойчивых (метастабильных) к устойчивым состояниям, вызывая МП. Объяснение нелинейной зависимости  $\lambda$  от  $\lg t$  при флуктуационном последствии возможно при отказе от постулата [5] о независимости от  $t$  предлогарифмического множителя и учете того, что его величина определяется крутизной ветвей упомянутых петель для  $T = \text{const}$ . При прочих равных условиях эта крутизна наибольшая у магнетиков с более высокими значениями спонтанной стрикции в области МФП-1.

Таким образом, впервые обнаружено гигантское по времени и величине магнитное последствие после изменения  $T$  на примере последствия термического расширения при магнитном фазовом переходе 1-го рода.

### Л и т е р а т у р а

- [1] Вонсовский С. В. Магнетизм. М.: Наука, 1971, Гл. 24.
- [2] Власов К. Б., Розенберг Е. А., Четвериков А. В. ЖЭТФ, 1987, т. 93, № 5, с. 1812—1820; ФТТ, 1988, т. 30, № 7, с. 1938—1943.
- [3] Винокурова Л. И. и др. Тр. ИОФАН, 1986, т. 3, № 1, с. 3—35.
- [4] Kouvel J. S. J. Appl. Phys., 1966, vol. 37, N 3, p. 1257—1258.
- [5] Neel L. J. Phys. Rad., 1951, vol. 12, N 2, p. 339—351.

Институт физики металлов  
УрО АН СССР  
Свердловск

Поступило в Редакцию  
19 мая 1988 г.  
В окончательной редакции  
18 июля 1988 г.