

- [6] U h e r C., H e r m a n s J., I s s i J-P.,
de G o e r A.M., L o c a t e l l i M. // J.
Phys. C.: Sol. State Phys. 1985. V. 18. N 15.
P. 3001-3010.
- [7] S i m o n s S. // Proc. Phys. Soc. 1964. V. 83.
N 535. P. 749-754.
- [8] Б о д ю л П.П., Б о й к о М.П., Р е д ь к о Н.А. // ФТТ.
1986. Т. 28. № 10. С. 3182-3184.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
28 сентября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 22

26 ноября 1990 г.

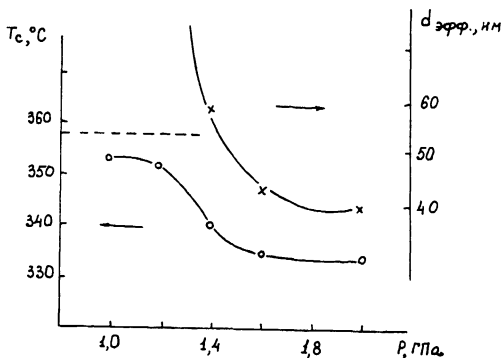
05.2; 05.3

© 1990

КРИТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ И СУБСТРУКТУРА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ КОМПАКТОВ НИКЕЛЯ

В.И. Н о в и к о в, Ю.Н. Р у д о й,
Л.И. Т р у с о в, О.М. Г в о з д е ц к и й

В ультрадисперсных средах (УДС) благодаря соизмеримому соотношению вкладов поверхностной и объемной энергии наблюдается целый спектр размерных эффектов. Такие размерные эффекты были обнаружены экспериментально для поведения ансамбля невзаимодействующих магнитных частиц никеля вблизи критической точки - температуры Кюри (T_C) [1] и проявлялись в монотонном уменьшении T_C при увеличении дисперсности ансамбля. В компактных ансамблях УДС частиц никеля, изготовленных компактированием под высоким давлением, было обнаружено, что, чем меньше зерно, тем больше снижается T_C и намагниченность насыщения по сравнению с массивным никелем [2]. При интерпретации результатов в компактах необходимо учитывать не только магнитные, но и структурные размерные эффекты, которые в сильной степени зависят от предыстории образца (способ компактирования, термообработка). В этой связи представляет интерес исследование поведения нанокристаллов вблизи T_C в зависимости от давления прессования. Причем особо важным является разграничение эффектов, вносимых различными способами компактирования. Это обусловлено тем, что компактирование в жидкости (гидростатическое прессование) значительно отличается от компактирования в пресс-форме (одноосное прессование). При последнем способе за счет большой сдвиговой компоненты деформации в образце наблюдаются процессы рекристалли-



Значения температуры Кюри (T_C) и эффективной дисперсности ($d_{эфф}$) от давления компактирования образцов. Дисперсность исходного порошка 80 нм. Горизонтальная пунктирная линия – значение T_C для эталонного массивного никеля.

зации, которые могут практически отсутствовать при гидростатическом компактировании. Важность выяснения этого вопроса обусловлена также тем, что при приготовлении реальных образцов как правило используются оба метода компактирования, без учета этого невозможно корректная интерпретация результатов, приведенных в [2, 3].

В настоящей работе исследовались магнитные свойства компактов никеля, изготовленных одноосным прессованием порошка с дисперсностью 80 нм. Порошок был получен методом испарения-конденсации в инертной среде. Измерения выполнены на стандартном спектрометре ферромагнитного резонанса (ФМР) в 3-см диапазоне с температурной приставкой.

В качестве основных экспериментальных параметров для определения T_C использовалась индексация резонансного поля B_0 и форма линии поглощения ФМР [4]. Критическую точку T_C можно определить по резкому увеличению B_0 и изменению формы линии при переходе через T_C . Обнаружено, что температура Кюри зависит от давления прессования P (см. рисунок). Минимальная T_C обнаружена для образца, спрессованного при 2.0 ГПа и равна 334 °С. Эта величина значительно отличается от T_C полученной для массивного эталонного никеля и равной 358 °С. Такую зависимость трудно объяснить, учитывая только дисперсность исходного порошка никеля. Из-за малости коэффициента $\partial T_C / \partial P$ [5], который дает изменение температуры Кюри от давления, также не удастся получить такое большое понижение T_C .

Анализ на ЭВМ зависимостей параметров ФМР от температуры не обнаружил наличия нескольких магнитных фаз. Таким образом, для исследуемых компактов экспериментально не подтверждается предположение о наличии у частиц оболочки с аморфной структурой [3].

Отмеченный ранее размерный эффект рекристаллизации в УДС состоит в том, что начиная с некоторого критического размера зерна, вакансии, рожденные движущимися границами, успевают достичь близлежащих границ и вызвать самоактивацию рекристаллизации. Этот процесс приводит к значительному пересыщению системы „динамическими“ (атермическими) вакансиями. Таким образом, движущаяся граница является неограниченным источником вакансий, и даже без учета исходной пористости рекристаллизации в УДС должна приводить к вакансионному разбуханию образца [6].

Ранее также было установлено [7], что миграция границ, вызванная деформацией при компактировании (одноосное прессование), также сопровождается кинетическим эффектом образования избыточных вакансий до значений $\sim 10^{-4}$, начиная с некоторого характерного давления прессования ≥ 1.2 ГПа. Такая высокая концентрация вакансий обеспечивает значительные скорости массопереноса в УДС, в том числе и вакансионное кластерообразование (порообразование). В результате перераспределения этих кластеров и вещества образуется субмикropористая структура, отвечающая минимуму поверхностной энергии системы, которая в общем может быть представлена как увеличение порядка дисперсности системы. На более поздних стадиях спекания пористо-упругий каркас достаточно устойчиво наблюдается на сколах прессовок УДС никеля и меди с помощью электронной микроскопии [8].

Как видно из приведенных экспериментальных результатов, понижение T_C начинается именно со значений давления компактирования более 1.2 ГПа, что соответствует области вакансионного кластерообразования. Так как флуктуации спонтанной намагниченности вблизи T_C проявляются в масштабе много большем, чем радиус межатомных сил, то критическое поведение ферромагнетика должно быть особо чувствительно к образованию такой микropористой структуры. Эти флуктуации, будучи нечувствительными к деталям межатомного потенциала, реагируют только на крупномасштабные изменения, например на нарушения дальнего порядка. Используя результаты работы 1, из значений T_C были получены значения эффективной дисперсности ($d_{эфф}$) предполагаемой микropористой структуры (см. рисунок). Как и предполагалось, для образца, скомпактированного гидростатически при давлении 5.5 ГПа, полученное $d_{эфф}$ близко к значению дисперсности исходного порошка. Последнее подтверждено электронно-микроскопическими исследованиями.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Петров А.Е. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 10. С. 3147-3149.
- [2] Валиев Р.З., Мулюков Р.Р., Мулюков Х.Я. и др. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 1. С. 78-81.
- [3] Valiev R.Z., Vishnyakov Ya.D., Mulyukov R.R. et al. // Phys. Stat. Sol. A. 1990. V. 117. N 2. P. 549-553.

- [4] Haraldson S., Peterson L. // J. Phys. Chem. Sol. 1981. V. 42. P. 681-686.
- [5] Бозорт Р. Ферромагнетизм. М.: ИИЛ. 1956. 784 с.
- [6] Новиков В.И., Ганелин В.Я., Трусов Л.И. и др. // ФТТ. 1986. Т. 28. В. 4. С. 1251-1254.
- [7] Трусов Л.И., Лаповок В.Н., Грязнов В.Г. и др. В кн.: Свойства и применение дисперсных порошков. Киев: Наукова думка, 1986. С. 98-114.
- [8] Новиков В.И., Трусов Л.И., Лаповок В.Н. и др. // Порошковая металлургия. 1984. № 3. С. 29-35.

Поступило в Редакцию
31 марта 1990 г.
В окончательной редакции
29 мая 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 22

26 ноября 1990 г.

05.4

© 1990

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ СПИНОВЫХ ВОЛН
В СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ ФЕРРИТ-СВЕРХПРОВОДНИК
С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

Н.И. Ползикова, А.О. Раевский

Транспортный ток, текущий по пленке сверхпроводника II рода (СП), находящейся в перпендикулярном магнитном поле, приводит к движению вихрей магнитного потока. Из-за неравновесных эффектов в ядрах движущихся вихрей проводимость СП оказывается нелинейной, и на вольт-амперной характеристике (ВАХ) имеется падающий участок [1]

$$\vec{j} = \sigma(E) \vec{E} = \sigma_N \cdot \frac{H_{c2}}{B} \cdot \frac{4.04}{\sqrt{1-T/T_c}} \cdot \frac{1}{1 + E^2/E_*^2} \vec{E}, \quad (1)$$

где \vec{E} - электрическое поле в СП, σ_N - проводимость СП в нормальном состоянии, H_{c2} - верхнее критическое поле СП, B - магнитная индукция в СП, T_c - критическая температура, T - температура, $E_* = \frac{Bv_F}{c} \sqrt{1 - \frac{T}{T_c}} \sqrt{\frac{\tau_p}{3\tau_E}}$, v_F - фермиевская скорость электронов, τ_p и τ_E - времена релаксации импульса и энергии, c - скорость света.