

Влияние магнитного поля на термическое расширение сплава

 $\text{Ni}_{2.08}\text{Mn}_{0.96}\text{Ga}_{0.96}$

© Х.Я. Мулюков, И.И. Мусабилов

Институт проблем сверхпластичности металлов РАН,
450001 Уфа, Россия

e-mail: irekmusabirov@imsp.da.ru, mulyuk@anrb.ru

(Поступило в Редакцию 10 октября 2007 г.)

Исследовано влияние магнитного поля на ход температурной зависимости термического расширения сплава $\text{Ni}_{2.08}\text{Mn}_{0.96}\text{Ga}_{0.96}$ в области структурного фазового превращения. Обнаружено, что при остывании образца в магнитном поле напряженностью 110 кА/м уменьшение его длины на 0.21% больше по сравнению со значением, наблюдаемым при остывании образца без магнитного поля. Причем величина такого дополнительного сокращения длины образца под действием магнитного поля зависит от значения напряженности приложенного на образец магнитного поля.

PACS: 81.30.Kf, 65.40.De

В сплавах системы Ni_2MnGa наблюдаются структурные фазовые превращения мартенситного типа, благодаря чему они обладают эффектом памяти формы (ЭПФ). Эти превращения происходят в области довольно низких температур, и величину температуры перехода можно изменять, варьируя состав сплава [1,2]. Другим замечательным свойством этих сплавов является то, что в интервале температур, где происходят указанные выше фазовые превращения, они остаются ферромагнитными. Это обстоятельство может привести к тому, что в достаточно сильных магнитных полях переход сплава из одной фазы в другую будет происходить при иной температуре [3].

Известно, что в зернах низкотемпературной фазы происходит интенсивное двойникование, т.е. образуются мартенситные пластины [4]. Поскольку кристаллическая решетка двойника является зеркальным отражением кристаллической решетки его соседа, то магнитные моменты в магнитных доменах в соседних двойниках должны образовывать некоторый угол [5]. При переходе сплава из высокотемпературной фазы в низкотемпературную магнитное поле должно удерживать магнитные моменты во вновь образующейся фазе вдоль поля и тогда в зернах низкотемпературной фазы не должны образовываться мартенситные пластины, т.е. не должно происходить двойникования. Если это так, то геометрические размеры образца при охлаждении в магнитном поле должны отличаться от его размеров после охлаждения без магнитного поля.

В целях проверки этого предположения нами проводилось исследование влияния магнитного поля на изменение длины образца при изменении температуры в области фазового превращения. Подобная работа [6] уже проведена, однако в ней обсуждаются результаты только с позиций общей термодинамики на основании анализа уравнения Клапейрона–Клаузиуса. В данной работе приводятся результаты наших исследований, проведенных на сплаве другого состава.

Микроструктура образца изучалась на оптическом микроскопе AXIOVERT-100A. Зерна низкотемпературной фазы действительно состоят из чередующихся двойников. Правда в структуре строгого равенства в ширине двойников нет.

Для дилатометрических исследований был вырезан образец с размерами $1 \times 1 \times 7$ мм на электронской установке из сплава указанного выше состава. Кривые температурной зависимости термического расширения образцов $\Delta l/l = f(T)$ были записаны на дилатометре, устройство которого описано в работе [7]. Эти кривые были записаны как при нагреве, так и при охлаждении образца. При измерениях длинная сторона образца была направлена вдоль внешнего магнитного поля.

На рис. 1 приведена кривая $\Delta l/l = f(T)$, записанная без приложения на образец магнитного поля. Как видно, до 270 К удлинение образца происходит по линейному закону, т.е. наблюдается чистое ангармоническое расширение. В интервале температур от 270 до 300 К длина образца скачкообразно увеличивается на 0.32%. Такое изменение длины образца можно объяснить только раз-

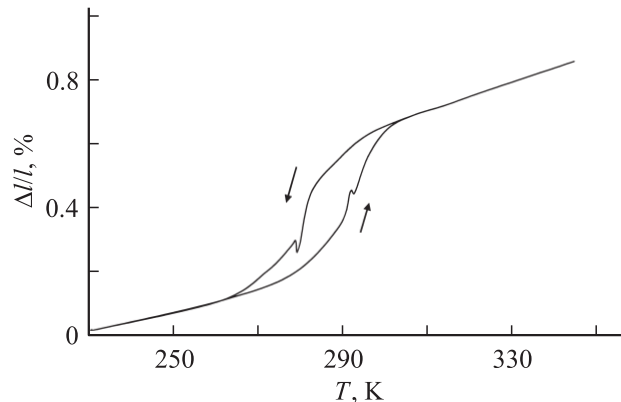


Рис. 1. Температурная зависимость термического расширения образца, записанная без магнитного поля.

ницей объемов элементарных ячеек, приходящихся на один атом, образующихся при переходе сплава из низкотемпературной фазы в высокотемпературную. Дальнейшее повышение температуры приводит всего лишь к ангармоническому расширению. Следует отметить, что на участке кривой $\Delta l/l = f(T)$, соответствующей фазовому превращению, имеется небольшой перегиб, на природу происхождения которого пока не будем обращать внимания, поскольку он, как нам кажется, не имеет отношения к сути данной работы. При охлаждении образца до исходной температуры наблюдается обратный переход сплава из высокотемпературной в низкотемпературную фазу. Обратный переход происходит с отставанием примерно на 9.5 К. Наклоны прямолинейных участков кривой $\Delta l/l = f(T)$, соответствующих высокотемпературной и низкотемпературной фазам, неодинаковы, что должно быть обусловлено различной симметрией кристаллических решеток образующихся фаз. Следует подчеркнуть, что характер кривой $\Delta l/l = f(T)$ зависит от текстуры. Так, например, образец, вырезанный из того же куска в перпендикулярном направлении по отношению к первому образцу, в области фазового перехода не удлиняется, а наоборот, сокращается.

На рис. 2 приведена кривая $\Delta l/l = f(T)$ для случая, когда нагрев образца производился без магнитного поля, а охлаждение — в магнитном поле. Видно, что изменение длины образца, когда фазовое превращение происходит в магнитном поле, больше. Оно составляет уже 0.53%, что превышает удлинение образца без магнитного поля на 0.21%. Характер кривой $\Delta l/l = f(T)$, полученной в магнитном поле, практически не изменяется.

На рис. 3 приводится кривая $\Delta l/l = f(T)$, когда охлажденный в магнитном поле образец нагревался до 340 К также в магнитном поле. И в этом случае, как и на рис. 1, получается замкнутая петля гистерезиса практически такой же ширины — за исключением двух моментов. Во-первых, на участке кривой, соответствующей нагреванию образца, отсутствует перегиб. И, во-вторых, кривые в области фазового превращения

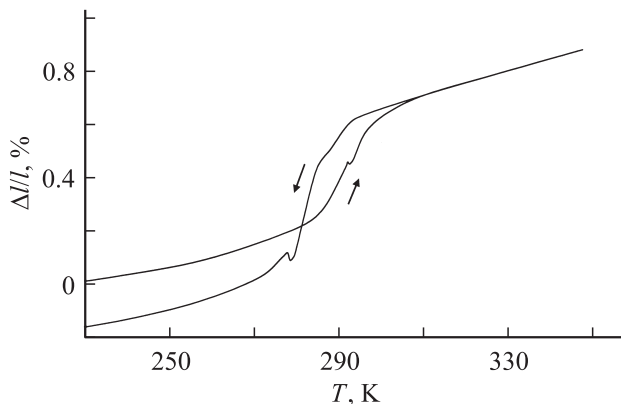


Рис. 2. Температурная зависимость термического расширения образца: кривая нагрева записана без магнитного поля; кривая охлаждения — в магнитном поле.

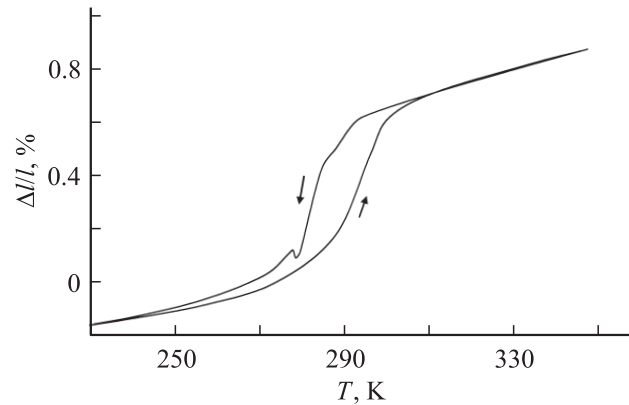


Рис. 3. Температурная зависимость термического расширения образца, записанная в магнитном поле.

смещаются примерно на 4 К в сторону высоких температур. Отсутствие перегиба, по-видимому, свидетельствует о влиянии магнитного поля на зеренную структуру образца. Смещение петли гистерезиса в сторону высоких температур должно быть обусловлено влиянием магнитного поля на сам процесс фазового превращения. Если это так, то выходит, что под действием магнитного поля низкотемпературная фаза становится как бы более устойчивой к изменению своей симметрии при повышении температуры.

Таким образом, результаты выполненной работы показывают, что магнитное поле даже не столь высокой напряженности влияет на изменение геометрических размеров образца сплава $\text{Ni}_{2.08}\text{Mn}_{0.96}\text{Ga}_{0.96}$, возникающего при фазовом превращении мартенситного типа. При объяснении физической природы обнаруженного явления возникает много вопросов. Поэтому в настоящее время продолжают систематические исследования влияния магнитного поля на двойниковую и доменную структуры низкотемпературной фазы выбранного сплава.

Данная работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (№ 06-02-16984, 05-02-19935-ЯФ).

Список литературы

- [1] Cherechukin A.A. et al. // J. of Appl. Electromagn. and Mechanics. 2001–2002. Vol. 14. P. 405–410.
- [2] Albertini F. et al. // Appl. Phys. Lett. 2002. Vol. 81. N 21. P. 4032–4034.
- [3] Jae-Hoom Kim et al. // Acta Materialia. 2006. Vol. 54. P. 493–499.
- [4] Mullner P., Chernenko V.A., Kistorz G. // Scripta Materialia. 2003. Vol. 49. P. 129–133.
- [5] Hirsinger L., L'excellent C. // J. de Physique IV France. 2003. Vol. 112. P. 977–980.
- [6] Soonjong J., Kuzuko I. et al. // Mat. and Eng. 2003. Vol. A359. P. 253–260.
- [7] Шарипов И.З., Мулюков Х.Я. // Приборы и техника эксперимента. 1996. Т. 39. № 5. С. 143.