

- [4] Park G.-Y., Abukawa T., Kinoshita T., Enta Y. and Konno S. - Japan. J. Appl. Phys., 1988, v. 27, N 1, p. 147-148.
- [5] Кантер Б.З., Мошегов Н.Т., Никифоров А.И., Стенин С.И., Тийс С.А. - ПТЭ, 1988, № 2, с. 171-173.
- [6] Ishizaka A., Shiraki Y. - J. Electrochem. Soc., 1986, v. 133, N 4, p. 666-671.
- [7] Соколов Л.В., Торопов А.И., Бакланов М.Р., Стенин С.И. - Поверхность. Физика, химия, механика, 1982, № 8, с. 9-11.

Институт физики
полупроводников
СО АН СССР, Новосибирск

Поступило в редакцию
12 июня 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 21

12 ноября 1988 г.

РАЗЛИЧИЯ В СТРУКТУРНОМ СОСТОЯНИИ
АМОРФНОГО СПЛАВА $Fe-B-Si-C$,
ПОЛУЧЕННОГО В ВИДЕ ЛЕНТЫ, ПОРОШКА
И ПОРОШКОВОГО КОМПАКТА

А.А. Новакова, Г.В. Сидорова,
Г.А. Сироткина, А.П. Куприн,
О.А. Романова

Возможность практического использования аморфных металлических сплавов (АМС) существенно ограничена видом получаемого материала - микронной толщины ленты, волокна, чешуйки, порошки, а также термической нестабильностью их структуры и свойств. Одна из кардинальных проблем промышленного применения АМС связана с получением массивных изделий из аморфных сплавов с сохранением высокого уровня их физико-механических свойств. В настоящее время наиболее оптимальным решением этой проблемы является импульсное динамическое компактирование порошка [1, 2]. При этом локальный разогрев материала не достигает температуры кристаллизации, носит кратковременный импульсный характер и не приводит к существенному ухудшению исходных свойств термически нестабильных материалов. Особенность этого процесса заключается в том, что во время компактирования энергия деформации и трения частиц концентрируется в тонком поверхностном слое, и малое количество материала на поверхности частиц нагревается до плавления, что обеспечивает микросварку частиц между собой [3]. Изучение таких зон связи [4] показало, что расплавленный материал вновь затвердевает очень быстро и может быть регенерирована первичная метастабильная структура. Однако может иметь место

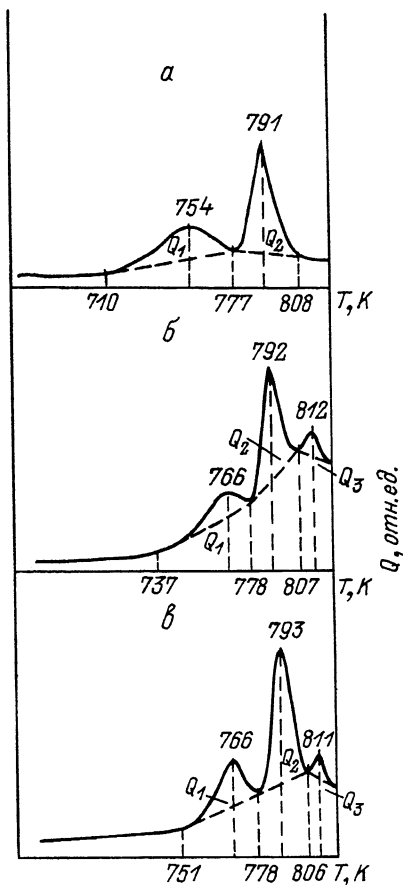


Рис. 1. Кривые ДСК аморфного сплава $Fe_{82}B_{12}Si_4C_2$ для образцов в виде ленты (а), порошка (б), компакта (в).

некоторая потеря метастабильности при сохранении аморфного состояния в этих микрizonaх [1].

Материалы и методика. В настоящей работе исследовались термическая стабильность и структурное состояние аморфного сплава $Fe_{82}B_{12}Si_4C_2$, полученного в ЦНИИчермет в виде ленты толщиной 20 мкм методом быстрой закалки из расплава, порошка, полученного из аморфной ленты путем размола в шаровой мельнице (гранулометрический состав 10–250 мкм), и компакта из него, полученного методом динамического компактирования в виде цилиндрического образца диаметром и высотой 1 см. Аморфное состояние ленты, порошка и компакта контролировалось методами рентгеновской дифрактометрии и ДСК с помощью калори-

Площадь под пиком	Q_1 , Дж/г	Q_2 , Дж/г	Q_3 , Дж/г	$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$, Дж/г
Лента	47.6	88.8	-	136.4
Порошок	9.9	38.4	3.6	51.9
Компакт	15.0	51.1	6.9	73.0

метра типа "SETARAM". Структурные исследования образцов ленты и порошка проводились методом мессбауэровской спектроскопии с регистрацией гамма-излучения в геометрии пропускания. Исследование массивного компакта осуществлялось с помощью мессбауэровской спектроскопии с регистрацией вторичного излучения (рентген) пропорциональным детектором в геометрии обратного рассеяния [5, 6]. При этом контролировался слой поверхности компакта толщиной порядка 20 мкм. По мессбауэровским спектрам были рассчитаны на ЭВМ функции распределения сверхтонких полей $P(H)$, вид и параметры которых отражают особенности ближайшего окружения атомов железа в аморфном сплаве.

Результаты и их обсуждение. Первичный контроль структуры методом рентгеновской дифракции исходной аморфной ленты, полученного из нее порошка и порошкового компакта показал сохранение аморфности всех образцов. Кривые ДСК, имеющие четко выраженные экзопики (рис. 1), свидетельствуют также об аморфном состоянии всех этих образцов. Так, кривая нагрева аморфной ленты имеет два четко выраженных экзопика (рис. 1, а). Однако ДСК-кривые порошка и компакта отличает присутствие третьего экзопика в области больших температур (рис. 1, б, в). Наличие трех экзопиков на ДСК-кривых, по-видимому, соответствует трем стадиям процесса кристаллизации аморфного сплава. По-видимому, это свойство оказалось приобретенным порошком в результате процесса размола и свидетельствует об изменении его метастабильности. Рентгеновские данные подтверждают полную кристаллизацию образцов после ДСК-исследований. Данные по тепловыделению образцов представлены в таблице (согласно рис. 1).

Несмотря на невозможность более точного определения энтальпии переходов Q_1, Q_2, Q_3 (рис. 1), табличные данные свидетельствуют о существенной потере метастабильности сплава после размола в порошок. Однако импульсное динамическое компактирование порошка приводит к некоторому повышению суммарного тепловыделения. Поскольку нечало и вершина (точки 1 и 2 на рис. 1, б и в) первого экзопика порошка и компакта, соответствующего первой стадии кристаллизации, имеют значительные смещения в область высоких температур, можно говорить о некотором повышении термической стабильности порошка и компакта к кристаллизации.

Однако сохранение аморфности порошка и компакта не означает сохранения в них аморфной структуры исходной ленты. Мессбауэровские спектры всех образцов имели вид, характерный для аморфных

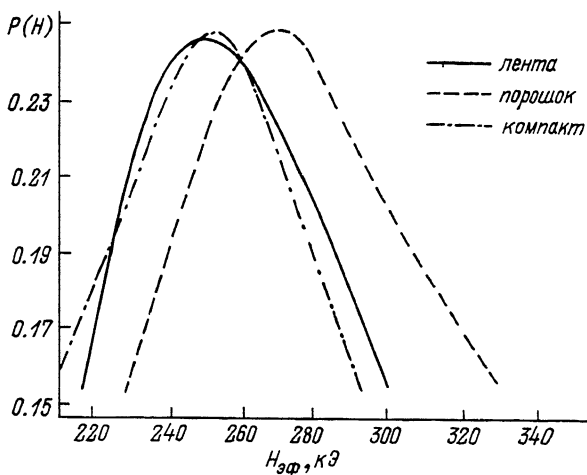


Рис. 2. Функции распределения сверхтонких полей $P(H)$, полученные из расчета мессбауэровских спектров аморфного сплава $Fe_{82}B_{12}Si_4C_2$ образцов в виде ленты (а), порошка (б), компакта (в).

ферромагнетиков, т.е. шесть сильно уширенных ($\Gamma \sim 0.8-1$ мм/с) перекрывающихся линий. На рис. 2 представлены функции распределения сверхтонких магнитных полей $P(H)$ на ядрах атомов железа, рассчитанные из соответствующих спектров. Все функции $P(H)$ гладкие, и аморфная структура всех образцов может быть приближена (с различной степенью точности) к модели плотной хаотической упаковки атомов. Форма кривой $P(H)$ для исходной аморфной ленты наиболее близка к гауссовой и ее аморфная структура более всего соответствует модели плотной хаотической упаковки атомов (или модели Бернала) [7]. Кривые функций $P(H)$ для порошка и компакта имеют некоторый сдвиг вершин в область больших полей $H_{зф}$ и значительно выраженную асимметрию, которая обусловлена возрастанием вероятности ближайших окружений, имеющих эффективные поля 280–340 кЭ. Такое несовпадение кривых $P(H)$ исследуемых образцов можно интерпретировать как появление большего разнообразия ближайших окружений атомов железа в аморфной структуре порошка и компакта. При этом возможно появление ближайших окружений типа $\alpha-Fe$ ($H_{зф} = 330$ кЭ) с некоторой примесью металлоидов: B, Si, C .

Таким образом, переработка аморфного сплава в порошок путем механического измельчения и последующее импульсное динамическое компактирование порошка сохраняют аморфную структуру сплава по данным мессбауэровских исследований, а также рентгеновского и ДСК-анализов. Однако эти технологические процессы существенно изменяют исходную аморфную структуру в смысле изменения ближайшего окружения атомов железа, что приводит к понижению ме-

тастабильности сплава и одновременно к повышению его термической устойчивости к кристаллизации на несколько десятков градусов (по началу первого экзопика на ДСК-диаграммах).

Авторы выражают благодарность М.А. Волошину, И.А. Маркову за приготовление порошкового компакта и Г.К. Деменскому за обсуждение ДСК-эксперимента.

Л и т е р а т у р а

- [1] M o r r i s D.G. - Met. Sci., 1980, v. 14, N 6, p. 215-220.
- [2] C a r l F. C l i n e - Proc. 4th. Lit. Conf. on Rapidly Quenched Metals. (Sendai), 1981, p. 129-132.
- [3] M o r r i s D.G., ibid., p. 145-148.
- [4] M o r r i s D.G. - Metal. Sci., 1981, v. 15, N 3, p. 116-124.
- [5] К и с е л е в А.А., К у з ь м и н Р.Н., Н о в а к о - в а А.А. - Письма в ЖТФ, 1986, № 1, с. 27-32.
- [6] S w a n s o n K.R., S p i e k e r m a n n T.T. J. Appl. Phys., 1970, v. 41, p. 3155-3158.
- [7] Г о н з е р У., П р е с т о н Р. В кн.: Металлические стекла, вып. II / Под ред. Г. Бека и Г. Гюнтеродта, М.: Мир, 1986, с. 110-150.

Поступило в Редакцию
5 апреля 1988 г.