

Институт общей физики АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
30 октября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 2 26 января 1991 г.

05.3

© 1991

ОБРАЗОВАНИЕ НОВЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФАЗ В АМОΡФНЫХ СПЛАВАХ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА ПРИ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКЕ

С.П. Ч е н а к и н, А.Л. П и в о в а р о в,
В.Т. Ч е р е п и н, И.Е. К о т е н к о

Известно [1], что аморфные металлические сплавы (АМС) до-
вольно устойчивы по отношению к кристаллизации при их облуче-
нии газовыми ионами в широком диапазоне энергий и доз. Частич-
ная кристаллизация АМС $Fe_{80}B_{20}$ и $Fe_{85}B_{15}$ с выделением α -Fe
наблюдалась в работе [2] после бомбардировки ионами He^+ ,
40 кэВ с дозами $5 \cdot 10^{17}$ – $3 \cdot 10^{18}$ см⁻².

В данной работе обнаружены новые кристаллические метаста-
бильные фазы, образующиеся в АМС на основе железа в результа-
те ионной бомбардировки.

Образцами служили фольги аморфных сплавов $Fe_{85}B_{15}$, $Fe_{80}B_{20}$,
 $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$, $Fe_{40}Ni_{40}Si_{20}B_{16}$ толщиной 20–25 мкм, полученные
закалкой расплава на вращающемся колесе. Образцы, находящиеся
при комнатной температуре, бомбардировали пучком ионов
с энергией 5 кэВ и плотностью тока 0.3 мА·см⁻² в безмасляном
вакууме $1 \cdot 10^{-5}$ Па под углами 60° или 45° к нормали к поверх-
ности. Для обеспечения теплоотвода фольги крепились на медной
подложке. Бомбардировка образцов производилась до практически
полного их распыления ионным пучком насквозь. Структуру уто-
ненных таким образом фольг изучали на просвет в электронографе
ЭМР-100 и в электронном микроскопе JEM-100СХ-П.

Недавно нами было установлено [3], что при облучении АМС
 $Fe_{85}B_{15}$ ионами Ar^+ 5 кэВ с дозами $\sim 10^{19}$ см⁻² возникает
новая аморфная структура, характеризующаяся большими по сравне-
нию с необлученным сплавом межатомными расстояниями. Анало-
гичная аморфная структура была обнаружена после ионной бомбар-
дировки и в других изучаемых в настоящей работе АМС. На элект-
ронограмме АМС, облученных с дозой $\sim 10^{19}$ см⁻², в дополне-
ние к системе из двух диффузных колец, характерных для аморфно-
го состояния и соответствующих структуре исходного необлученно-

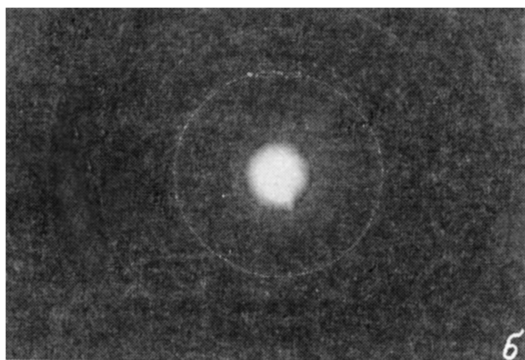
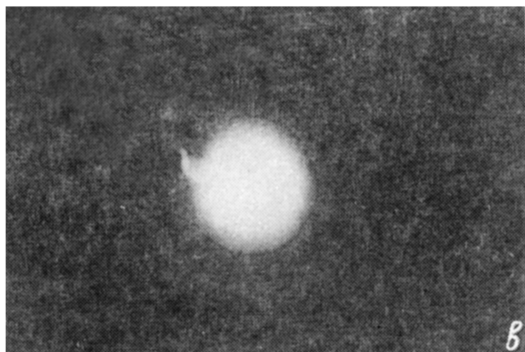


Рис. 1. Электронограмма аморфного сплава $Fe_{85}B_{15}$, распыленно-го насквозь ионами Ar^+ 5 кэВ: а - частичная кристаллизация γ' - фазы, б - кристаллический участок с частичным распадом метастабильных фаз γ' и γ'' за счет нагрева электронным лучом, в - кристаллический участок δ - фазы в сплаве $Fe_{80}B_{20}$.

го сплава, появились два дополнительных, сильно размытых кольца меньшего диаметра. Векторы рассеяния $S = 4\pi \sin \theta / \lambda$, измеренные для исходной и новой системы дифракционных колец, составляли соответственно $S_1 = 3,09 \text{ \AA}^{-1}$, $S_2 = 5,22 \text{ \AA}^{-1}$ и $S'_1 = 2,47 \text{ \AA}^{-1}$, $S'_2 = 4,13 \text{ \AA}^{-1}$ (АМС $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$) и несколько различались для разных сплавов. Из этих значений S можно получить среднее межатомное расстояние, которое для исходной аморфной структуры составляет $2,5 \text{ \AA}$, а для новой аморфной структуры, возникшей в результате бомбардировки, — $3,11 \text{ \AA}$.

Теория строения АМС, основанная на модели случайной плотной упаковки твердых сфер [4], предсказывает величину $S_2/S_1 = 1,68$. Экспериментальные результаты дают значения $S_2/S_1 = 1,69$ и $S'_2/S'_1 = 1,67$. Следовательно, новая аморфная фаза формируется также в соответствии с моделью случайной плотной упаковки атомов. Увеличение межатомного расстояния в новой аморфной фазе обусловлено скорее всего наличием в матрице внедренных атомов аргона, которые имеют большие размеры. Оценки, сделанные исходя из коэффициента распыления АМС, показывают, что концентрация имплантированного аргона может достигать 18–22 ат.%, которая позволяет получить при случайной плотной упаковке разнородных атомов Fe и Ar наблюдаемые межатомные расстояния.

В образцах, распыленных ионным пучком насквозь (доза $\gg 10^{19} \text{ см}^{-2}$) и имевших двухфазную аморфную структуру, наблюдалась частичная кристаллизация сплава, при этом кристаллическая фаза образовывалась при распаде новой аморфной фазы, а исходная аморфная матрица сохранялась (рис. 1, а). Выделяющиеся кристаллы можно идентифицировать как γ' -фазу с кубической структурой, параметр решетки которой зависел от состава сплава и составлял $0,428 \pm 0,003 \text{ нм}$ для АМС $Fe_{85}B_{15}$, $0,430 \text{ нм}$ для $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$ и $0,432 \text{ нм}$ для $Fe_{40}Ni_{40}Si_4B_{16}$.

В некоторых облученных образцах $Fe_{85}B_{15}$ наблюдались полностью кристаллизованные участки, которые содержали помимо γ' -фазы кристаллы другой γ -фазы с ГЦК структурой и большим, чем у γ' , параметром решетки (рис. 1, б). На рис. 2 представлено электронно-микроскопическое изображение этого участка в светлом поле (а) и в темном поле (б) рефлекса (111) γ -фазы. Наблюдалась также кристаллизованные участки, состоящие из одной лишь γ -фазы (рис. 1, в), причем такие участки образовывались только при облучении АМС $Fe_{30}B_{20}$ и $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$. В некоторых случаях в $Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$ возникали монокристаллы γ -фазы размером до $0,4 \text{ мкм}$. Индицирование рефлексов γ -фазы показало, что они соответствуют ГЦК структуре с параметром $a = 0,543 \pm 0,003 \text{ нм}$.

Обнаруженные фазы γ' и γ нельзя отнести ни к одной из известных стабильных и метастабильных структур, образующихся при термической кристаллизации данных АМС [5], хотя их формирование, возможно, обусловлено совместным действием ионной бомбардировки и температуры, которая может повышаться в остающемся тонком слое по мере распыления АМС. γ' -фаза кристалли-

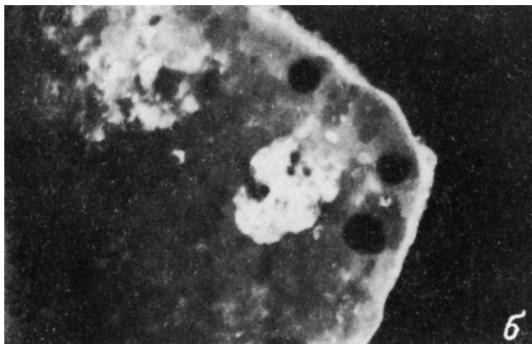
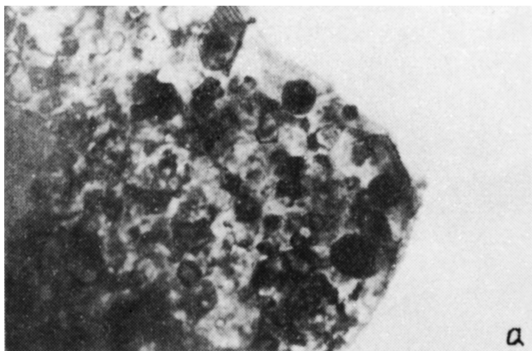
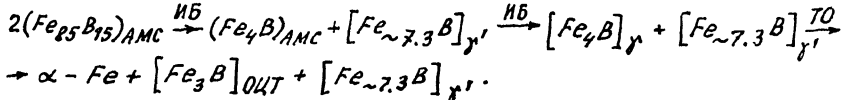


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение кристаллического участка в облученном ионами Ar^+ аморфном сплаве $Fe_{85}B_{15}$: а - светлое поле, б - темное поле в рефлексе (111) γ' -фазы. Увеличение $\times 58000$.

зудается из рыхлой разупорядоченной новой аморфной фазы, которая, скорее всего, обеднена бором [2] и может быть интерпретирована как $Fe_{7-8}B$. Большая величина параметра решетки γ' -фазы по сравнению с $\gamma-Fe$ может быть связана не только с наличием атомов бора, но и внедренных атомов аргона. γ' -Фаза образуется, видимо, при совместной кристаллизации двух аморфных фаз и, вероятно, соответствует среднему составу АМС типа $Fe_{80}B_{20}$, т.е. представляет собой Fe_4B или $(FeNi)_4B$.

γ' и γ -фаза являются метастабильными. Мы наблюдали частичный распад этих фаз (причем в первую очередь распадается, очевидно, γ -фаза с большим содержанием бора) с образованием известных структур $\alpha-Fe$ и тетрагонального борида Fe_3B в процессе нагрева облученного АМС $Fe_{85}B_{15}$ электронным пучком в колонне электронографа и микроскопа (рис. 1, б). Наблюдаемые при ионной бомбардировке и последующей термообработке превращения можно представить следующим образом:



При термообработке необлученного АМС образуются только α -Fe и ОЦТ или орторомбический борид Fe_3B [5].

Таким образом, процессы кристаллизации, протекающие при ионной бомбардировке аморфных сплавов, существенно отличаются от процессов кристаллизации при термическом отжиге, в результате чего в облученных сплавах могут формироваться новые метастабильные структуры.

С п и с о к п и т е р а т у р ы

- [1] T y a g i A.K., N a n d e d k a r R., K r i s h a n K. // J. Nucl. Mater. 1984. V. 122/123. P. 732-736.
- [2] H a y a s h i N., T o r i y a m a T., S a k a m o t o I., H i s a t a k e K. // J. Phys. Condens. Mater. 1989. V. 1. N 24. P. 3849-3858.
- [3] П и в о в а р о в А.Л., Ч е н а к и н С.П., Ч е р е п и н В.Т. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 50. № 10. С. 420-421.
- [4] Y a m a m o t o R., M a t s u o k a H., D o u y a m a M. // Phys. Lett. 1978. V. 64A. N 5. P. 457-459.
- [5] H e r o l d U., K ö s t e r U. // Z. Für Metallkde. 1978. B. 69. N 5. S. 326-332.

Институт металлофизики АН УССР,
Киев

Поступило в Редакцию
12 июля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 2

26 января 1991 г.

01; 05.3

© 1991

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГИБКОСТЬ И ЭФФЕКТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В МЕЗОФАЗЕ

Вл.К. П е р ш и н, В.А. К о н о п л е в

Жидкие кристаллы чрезвычайно чувствительны к действию магнитного поля (\mathcal{H}) вследствие анизотропии диамагнитной восприимчивости ($\Delta\chi$) молекул. Еще в самых ранних работах [1, 2] при теоретическом изучении влияния внешних ориентирующих полей на одноосную нематическую мезофазу с $\Delta\chi > 0$ в приближении жестких частиц предсказан ряд фундаментальных результатов: 1) ориентационный переход в поле происходит без нарушения симметрии молекулярной системы, 2) зависимость температуры фазового превра-