

УДК 66.085.5+546.3-19

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРИРОВАННОГО ПОТОКА НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО β -ОБЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА АМОРФНЫХ И НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ

© Г.В. Новиков, А.В. Летнев, А.В. Чиванов, В.А. Федоров

Ключевые слова: аморфные сплавы, нанокристаллические сплавы, β -облучение.

Обнаружено изменение прочностных свойств и состояния поверхности аморфных и нанокристаллических сплавов под действием интенсивного низкоэнергетического β -облучения.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование структурных превращений в таких неравновесных системах, как аморфные металлические сплавы, при их облучении потоками заряженных частиц [1, 2], способных инициировать процессы атомной перестройки за счет передачи энергии бомбардирующих частиц атомам твердого тела, представляет интерес с двух точек зрения. Во-первых, для радиационной физики твердого тела имеет фундаментальное значение исследование процессов, ответственных за структурно-фазовые превращения в аморфных материалах, известных своей радиационной стойкостью вследствие отсутствия в них дальнего порядка. Во-вторых, электронный пучок, генерируемый высоковольтным электронным микроскопом, является наиболее чистым инструментом для создания и изучения поведения радиационных дефектов в материалах, вследствие того, что облучение происходит в камере с высоким вакуумом, таким образом, отсеивается действие таких побочных факторов, как окисление, загрязнение образца [3]. Высокие интенсивности облучения создают в очень короткие промежутки времени скопления большого количества радиационных дефектов. В этом случае даже очень высокая концентрация примесей – ловушек для радиационных дефектов – не может полностью подавить процесс образования скоплений, т. к. в условиях высоких концентраций радиационных дефектов скопления одновременно могут зарождаться как на примесях, так и при встрече идентичных дефектов.

Цель работы: установить влияние низкоэнергетического β -облучения с энергией квантов 75 кэВ на изменение механических свойств тонких лент аморфных и нанокристаллических сплавов, путем измерения микротвердости, а также на морфологические особенности их поверхностей.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для проведения исследований использовали ленты аморфного сплава на основе Co (80 %) – АМАГ-180 и нанокристаллического сплава на основе Fe (73,5 %) – АМАГ-200, толщиной 20 мкм и шириной 4 мм, из которых вырезались образцы длиной 15 мм. Перед облу-

чением образцы наносили на подложку толщиной ≈ 1 мм, в качестве которой использовали полиэфирный композит с микротвердостью $Hv \approx 1051$ кг/мм² [4]. Образцы облучались в колонне электронного микроскопа ЭМВ-100Л при вакууме $\sim 10^{-4}$ Па, с выдержкой от 10 до 60 мин. с интервалом в 10 мин. сфокусированным пучком β -частиц диаметром ≈ 2 мм. Энергия β -частиц составляла 75 кэВ. Облучению подвергали обе поверхности лент: контактную и неконтактную. Микротвердость образцов определяли на приборе ПМТ-3 с использованием пирамидки Виккерса. Изменение морфологии поверхности фиксировали при помощи оптического микроскопа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате взаимодействия высокоинтенсивного сфокусированного потока β -частиц с поверхностью аморфных сплавов наблюдался разогрев поверхности. О степени нагрева образца судили по красному свечению в области воздействия, что соответствует $\sim 600^\circ$ С. В зоне воздействия потока β -частиц, при больших временах облучения наблюдали образование кратера и даже сквозного проплава в образце.

Исследования показали, что микротвердость всех образцов монотонно увеличивается по мере приближения к области воздействия пучка (рис. 1).

Увеличение микротвердости является следствием совместного действия низкоэнергетических β -частиц и нагрева, возникающего при взаимодействии электронов с поверхностью металлических сплавов, и связано с образованием различного рода дефектов в зоне воздействия, таких как зерна, границы зерен, а также со структурными превращениями в сплавах, например, рост микрокристаллов на поверхности сплава [4].

О характере структурных изменений судили по морфологическим особенностям деформации и разрушения сплавов в зоне воздействия индентора. При этом формировались характерные картины разрушения: отпечаток от индентора, окруженный трещинами, ориентированными параллельно его сторонам, что является следствием процесса охрупчивания аморфных и нанокристаллических сплавов. Чем ближе проводилось

микроиндентирование к области воздействия, тем выраженнее характер разрушения образца, увеличивалось количество радиальных прямых трещин, часть из которых может объединяться с кольцевыми трещинами, вплоть до выхода трещин на грани образца [5, 6].

Процессы, протекающие в приповерхностных слоях аморфных сплавов, относительно мало изучены. В данной работе наблюдали зеренную и дендритную кристаллизацию поверхности в нанокристаллическом сплаве на основе Fe с контактной и зеренный тип кристаллизации у аморфного сплава на основе Co с неконтактной стороны. Обнаружен рост микрокристаллов, которые образовывались в зоне действия сфокусированного пучка β -частиц (рис. 2, 3).

После облучения на поверхностях контактной и неконтактной сторон появляются структурные неоднородности. На неконтактной стороне ленты после облучения исчезает рельеф в зоне воздействия пучка. Размеры кристаллов на обеих поверхностях лент достигают ~ 10 мкм.

На поверхности сплавов в результате воздействия сфокусированного пучка электронов наблюдали образование пленки. При исследовании морфологии поверхности образца на оптическом микроскопе наблюдали интерференционные картины двух видов: картина, образованная в результате воздействия β -частиц, и картина, образованная в результате воздействия индентора (рис. 4б).

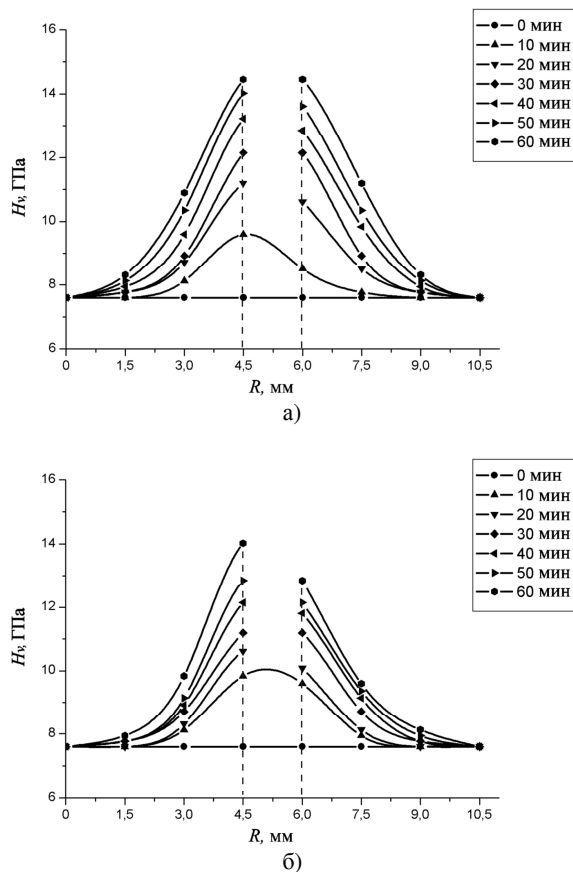


Рис. 1. Изменение микротвердости тонких лент в зависимости от времени облучения: а) аморфного сплава; б) нанокристаллического сплава. На графиках штрихпунктирными линиями обозначено место образования кратера в зоне воздействия потока β -частиц. Каждая точка на графике соответствует усредненным данным по 5 образцам

Размеры участка поверхности покрытого пленкой зависят от времени облучения и от выбора сплава. При облучении аморфного сплава в течение 60 мин. диаметр пятна поверхности покрытого образующейся пленкой составляет порядка 300 мкм.

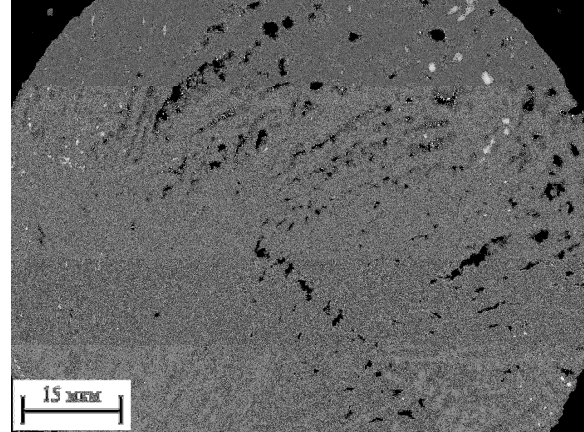
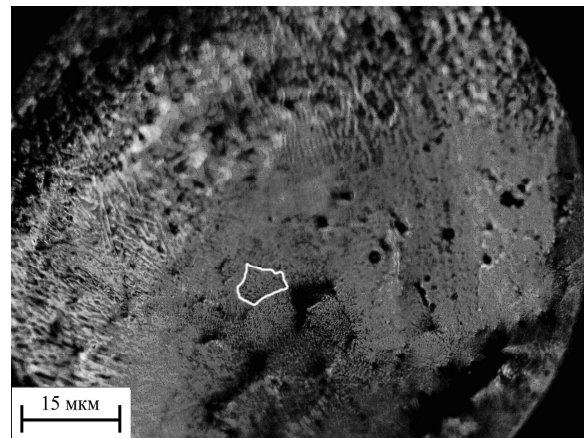
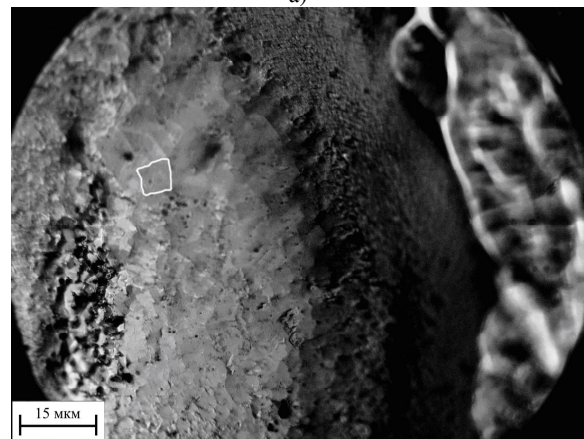


Рис. 2. Дендритная кристаллизация нанокристаллического сплава на контактной стороне при облучении в течение 30 мин.

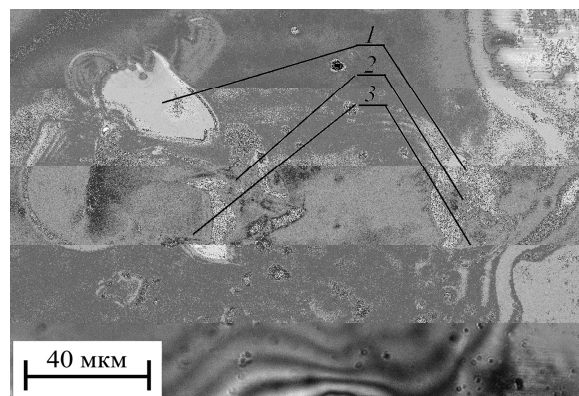


а)

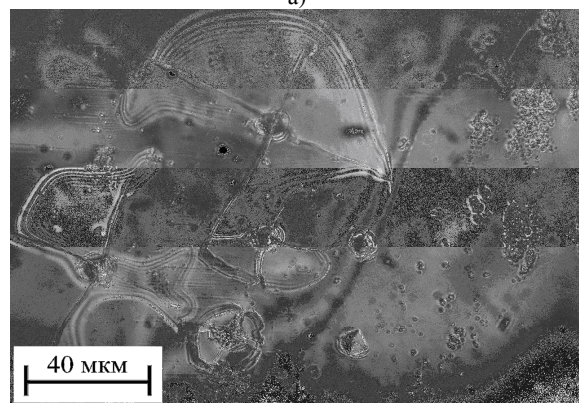


б)

Рис. 3. Зеренный тип кристаллизации сплавов при облучении в течение 30 мин.: а) образование зерен на контактной стороне нанокристаллического сплава; б) образование зерен на неконтактной стороне аморфного сплава. Светлым контуром выделено зерно характерного размера



а)



б)

Рис. 4. Образование структурной неоднородности – пленки на аморфном сплаве с контактной стороны: а) чистый сплав; б) область воздействия индентора; 3) отколовшиеся части пленки

На контактной стороне аморфного и нанокристаллического сплава наблюдали пленку из твердого вещества, предположительно, образующейся из осаждения паров атомов сплава возбужденных электронным пучком. Причем на аморфном сплаве образование пленки более выражено, нежели на нанокристаллическом. При нагружении индентором пленки грузом 10^{-4} кг наблюдаем растрескивание последней (рис. 4). Следовательно, можем предположить, что пленка твердая и менее пластичная, чем сам кристалл. По интерференционным картинкам можем судить о толщине пленки, которая составляет $\sim 0,1$ мкм.

ВЫВОДЫ

Установлены морфологические особенности макрокартин деформирования и разрушения ленточных образ-

цов аморфных и нанокристаллических сплавов, подвергнутых воздействию β -частиц, в зависимости от величины прикладываемой нагрузки и времени облучения.

По характеру морфологических особенностей можно судить о температуре в зонах индентирования.

Исследование макрокартин деформирования и разрушения аморфных и нанокристаллических сплавов позволяет судить о температурах нагрева и протекающих превращений в тех или иных областях в силу их подобия картинам разрушения и деформирования, полученных при регламентированном печном отжиге.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ердыбаева Н.К., Плотников С.В., Мамырбекова Г.К.* Структурно-фазовые изменения в диффузионных слоях стали 40Х после облучения пучком электронов // *Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование: сб. тр. 5-й междунар. науч. конф. 9–12 окт., Казахстан. Алматы, 2007.* С. 163–165.
2. *Воронова Н.А., Комаров Ф.Ф., Кунчишин А.И., Щербакова Г.А.* Разработка комплексного метода синтеза и исследования механических свойств полупроводниковых соединений на основе кремния и наноструктур с использованием непрерывных электронных пучков // *Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование: сб. тр. 5-й междунар. науч. конф. 9–12 окт., Казахстан. Алматы, 2007.* С. 103–104.
3. *Бондаренко Г.Г., Быстров Л.Н., Иванов Л.И., Платов Ю.М.* Применение высоковольтной электронной микроскопии в физике твердого тела // *Успехи физических наук. 1975. № 1.* С. 303–314.
4. *Структура и свойства перспективных материалов / под общ. ред. А.И. Потекаева. Томск, 2007.*
5. *Капустин А.Н., Федоров В.А., Яковлев А.В.* Действие нагрева и лазерного излучения на эволюцию механических свойств металлических стекол // *Перспективные материалы. 2007. Т. 2.* С. 333–337.
6. *Пермякова И.Е.* Эволюция механических свойств и особенности кристаллизации металлического стекла системы Co-Fe-Cr-Si подвергнутого термической обработке: дис. ... канд. физ.-мат. наук. Белгород, 2004.

БЛАГОДАРНОСТИ: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 06-01-96320р.)

Поступила в редакцию 15 сентября 2008 г.

Novikov G.V., Letnev A.V., Chivanov A.V., Fedorov V.A. The influence of concentrated stream of low-energy β -irradiation on the properties of amorphous and nano-crystalline alloys. The change of strength properties and state of the surface of amorphous and nano-crystalline alloys under the influence of intensive low-energy β -irradiation has been discovered.

Key words: amorphous alloys, nano-crystalline alloys, β -irradiation.