

УДК 669.2

А. Г. Игревская^{*}, А. И. Базлов¹, Н. Ю. Табачкова¹, Д. В. Лузгин²

¹ Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,
г. Москва

²WPI-AIMR, Университет Тохоку (Япония)

^{*}*a.igrevskaya@gmail.com*

Научный руководитель — канд. техн. наук А. И. Базлов

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМОРФНЫХ ЛЕНТ СПЛАВА НА ОСНОВЕ ЦИРКОНИЯ

В работе исследовалось металлическое стекло состава $Zr_{62,5}Cu_{22,5}Fe_5Al_{10}$. Образцы получали методом литья на вращающийся медный диск. Методами просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа изучены изменения, происходящие в структуре лент после термодформационной обработки. Для исследования влияния термодформационной обработки на механические свойства лент была измерена микротвердость по Виккерсу.

Ключевые слова: цирконий, аморфные ленты, термодформационная обработка, твердость

A. G. Igevskaya, A. I. Bazlov, N.Yu. Tabachkova, D. V. Louzguine

EFFECT OF THERMODEFORMATION TREATMENT ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF AMORPHOUS RIBBONS BASED ON ZIRCONIUM

The structure and mechanical properties of amorphous tapes of an alloy $Zr_{62,5}Cu_{22,5}Fe_5Al_{10}$ was investigated in this work. Samples were obtained by melting on a spinning copper wheel. The changes happening in the structure of tapes after thermodeformation treatment was investigated using the methods of transmission electron microscopy and X-ray structural analysis. Vickers microhardness was measured to investigate the effect of the thermodeformation treatment on the mechanical properties of the tapes.

Key words: zirconium, amorphous tapes, thermodeformation treatment, hardness

Металлические стекла были впервые открыты более 50 лет назад [1]. Среди металлических стекол можно выделить аморфные сплавы на основе циркония, которые являются чрезвычайно привлекательными материалами для промышленного использования, благодаря таким свойствам как высокая стеклообразующая способность, высокая коррозионная стойкость, и относительно высокая пластичность при испытаниях на сжатие. Такой комплекс свойств делает возможным их применение для широкого промышленного использования в качестве конструкционных материалов.

В данной работе были изучены аморфные ленты сплава $Zr_{62,5}Cu_{22,5}Fe_5Al_{10}$, которые были получены методом закалки на вращающемся медном диске. Исследовано влияние термодформационной обработки на структуру и твердость сплава. Обработка лент проводилась по различным режимам: прокатка при комнатной температуре, повышенных температурах и температуре жидкого азота и последующий отжиг в вакууме при различных температурах от 100 до 300 °С в течение 15 и 60 минут. Для изучения изменений, происходящих в структуре лент после термодформационной обработки, использовались методы просвечивающей электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Для исследования влияния отжига на механические свойства лент была измерена микротвердость по Виккерсу.

Твердость исходных лент после прокатки при комнатной температуре снижается, что связано с увеличением свободного объема между атомами, а при прокатке при повышенных температурах она плавно повышается (рис. 1). Это связано с тем, что внесение свободного объема при прокатке влияет на твердость в меньшей степени, чем уменьшение свободного объема при отжиге. Повышение твердости при повышении температуры прокатки связано с тем, что при отжиге свободный объем в лентах уменьшается тем больше, чем выше температура отжига, также это может быть связано с появлением в структуре областей, которые упрочняют материал.

Были также проведены исследования микротвердости лент, прокатанных при комнатной температуре после отжига при температурах 100 °С, 200 °С и 300 °С. Последующий после прокатки отжиг приводит к повышению твердости лент. Следует заметить, что при этом ленты после прокатки при комнатной температуре и последующего отжига при 300 °С не охрупчиваются и успешно проходят тест на сжатие на 180° в руках. Рентгеноструктурный анализ подтвердил, что после

всех видов термомодеформационной обработки ленты остаются рентгено-аморфными (рис. 2).

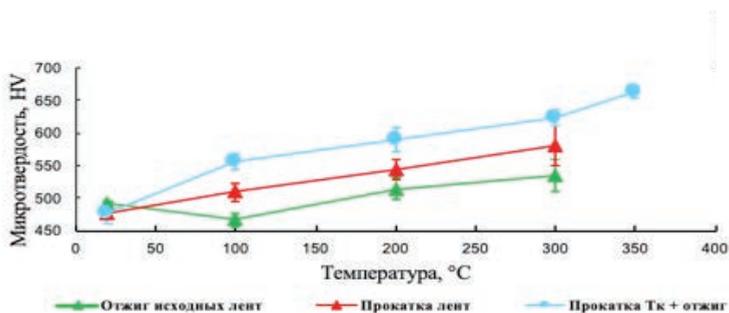


Рис. 1. Зависимость микротвердости сплава режима термомодеформационной обработки

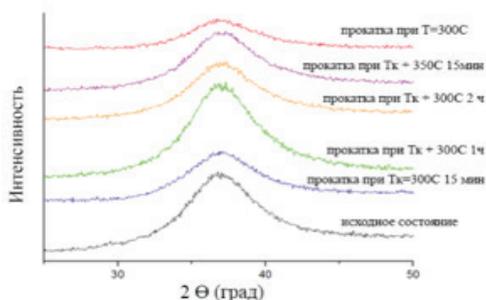


Рис. 2 Дифрактограммы сплава после различной термомодеформационной обработки

Для того чтобы понять природу изменения твердости были проведены структурные исследования: структура лент после прокатки при комнатной температуре и последующем отжиге при 300 °C в течение 15 минут. В структуре образовались наноразмерные (7–10 нм) равномерно распределенные области (рис. 3). Данные области темнее, чем основная матрица, что говорит о том, что их плотность выше, либо содержание в них элементов с более высоким атомным номером выше. Элементный анализ показал, что количество меди и железа в данных включениях больше, чем алюминия, циркония и кислорода. Таким образом, повышение твердости связано с изменениями, происходящими в структуре.

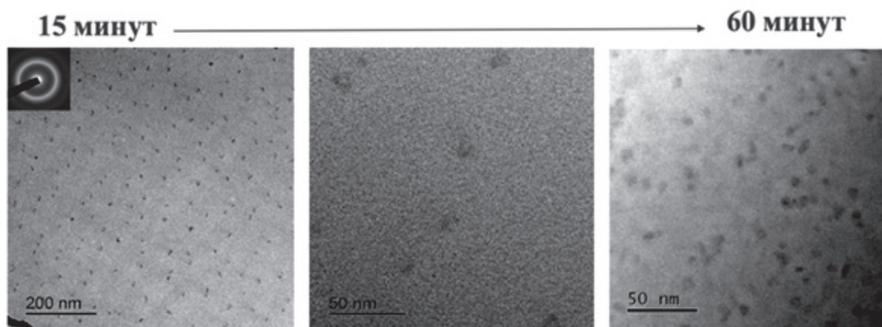


Рис. 3. Микроструктура сплава $Zr_{62,5}Cu_{22,5}Fe_5Al_{10}$ после прокатки при комнатной температуре и последующего отжига при $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 15 (а, б) и 60 минут (в)

При увеличении времени выдержки до одного часа (температура отжига $300\text{ }^{\circ}\text{C}$) увеличилось количество наноразмерных областей, при этом их размер не претерпел изменений (рис. 3). Такие включения при последующей деформации препятствуют распространению полос сдвига, тем самым замедляя их, при этом повышается твердость сплавов. Можно предположить, что такая «перестройка» структуры с достаточно равномерно расположенными включениями может положительно сказаться на пластичности изучаемого сплава, потому что, как сказано выше, они тормозят распространение полос сдвига, делая их распределение более равномерным, при этом не происходит разрушения образца при образовании одной главной полосы сдвига.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-33-90224.

Литература

1. Klement W., Willens R. H., Duwez P. Non-crystalline structures in solidified gold-silicon alloys // Nature. 1960. V. 187.