А. И. Базлов, А. А. Царьков

НИТУ МИСиС, г. Москва,

bazlov@misis.ru, tsarkov@misis.ru

Научный руководитель – канд. техн. наук А. Ю. Чурюмов

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА $\text{Ti}_{43.2}\text{Zr}_{7.8}\text{Cu}_{40.8}\text{Ni}_{7.2}\text{Co}_1$, СОДЕРЖАЩЕГО АМОРФНУЮ И КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ФАЗЫ

АННОТАЦИЯ

Исследованы структура и механические свойства сплава $\text{Ti}_{43.2}\text{Zr}_{7.8}\text{Cu}_{40.8}\text{Ni}_{7.2}\text{Co}_1$, полученного методом литья в массивную медную изложницу. Показано, что в результате быстрого охлаждения расплава структура состоит из аморфной матрицы и распределенных в ней кристаллических частиц, благодаря чему сплав демонстрирует высокую прочность и относительно высокую пластичность. Моделирование процесса деформации сплава с использованием метода конечных элементов показало, что кристаллические частицы в аморфной матрице являются эффективными барьерами для распространения полос сдвига, что приводит к увеличению пластичности материала.

Ключевые слова: прочность, структура, аморфная матрица, полосы сдвига

ABSTRACT

The structure and mechanical properties of $\text{Ti}_{43.2}\text{Zr}_{7.8}\text{Cu}_{40.8}\text{Ni}_{7.2}\text{Co}_1$ alloy were studied. It has been shown that, after the fast cooling of the alloy, the structure consists of amorphous matrix and crystal particles distributed in the matrix; hence, the alloy displays high strength and relatively high plasticity. Finite elements modeling has shown that the crystal particles in the amorphous matrix are effective barriers for the propagation of shear bands.

Keywords: durability, structure, amorphous matrix, shear band

Объектами исследования были цилиндрические образцы диаметром 1 и 2 мм длиной до 50 мм. Сплавы получали в индукционной литейной машине в вакууме 10^{-4} торр. путем сплавления чистых металлов (99,99 %): титана, циркония, меди, никеля и кобальта и последующего литья в массивную медную изложницу под давлением 3 атм. аргона чистотой 99,9995 %.

На рисунке 1 представлена рентгенограмма образца диаметром 2 мм в литом состоянии. Анализ дифрактограммы показал, что структура сплава состоит из кристаллических фаз NiTi (сР2) и CuTi (сF4), а так же содержит аморфную фазу (размытый пик в интервале $37\text{--}45^\circ$).

Рис. 1. Рентгенограмма образца диаметром 2 мм сплава $\text{Ti}_{43.2}\text{Zr}_{7.8}\text{Cu}_{40.8}\text{Ni}_{7.2}\text{Co}_1$

Для оценки возможности повышения пластичности в сплавах с композиционной структурой был проведен анализ деформационного поведения при сжатии образца диаметром 2 мм и высотой 4 мм с использованием метода конечных элементов. Для этого была создана модель образца исследуемого сплава (рис. 2 (а)): красные участки – кристаллические частицы, большая часть которых сосредоточена в центре образца, синие участки – аморфная матрица. На рис. 2 также представлено распределение деформации в образцах без кристаллических частиц (б) и с ними (в).

Рис. 2. Модель структуры исследуемого сплава (а); распределение деформации в образцах при сжатии (б) образец без кристаллических частиц, (в) образец с кристаллическими частицами.

В образце, не содержащем кристаллические частицы, деформация происходит путем локализации одной полосы сдвига, расположенной под углом $\sim 45^\circ$ к оси приложенных напряжений, что соответствует

направлению максимальных касательных напряжений. В образце со структурой композита, зародившиеся полосы сдвига тормозятся при проходе через центр образца, содержащем большое количество кристаллических частиц. Видно, что основная деформация образца сосредоточена около кристаллических частиц. Также видно зарождение новых полос сдвига, перпендикулярных первичным полосам. Соответственно можно сделать вывод о том, что кристаллические частицы могут являться эффективным барьером для продвижения полос сдвига, тем самым стимулируя зарождение и развитие новых полос.

Для подтверждения полученных результатов были проведены механические испытания на сжатие (рис. 3). Сплав продемонстрировал истинную пластическую деформацию на 1 % при скорости деформации 10^{-4} с^{-1} . Предел прочности составил 1640 МПа.

Рис. 3. Кривая сжатия образца диаметром 2 мм

Закключение

В данной работе были исследованы структура и механические свойства сплава $\text{Ti}_{43.2}\text{Zr}_{7.8}\text{Cu}_{40.8}\text{Ni}_{7.2}\text{Co}_1$, полученного методом литья в массивную медную изложницу. Показано, что в результате быстрого охлаждения расплава структура состоит из аморфной матрицы и распределенных в ней кристаллических частиц, благодаря чему сплав демонстрирует высокую прочность (более 1600 МПа) и относительно высокую пластичность (1 %). Моделирование процесса деформации сплава с использованием метода конечных элементов показало, что кристаллические частицы в аморфной матрице являются эффективными барьерами для распространения полос сдвига, тем самым стимулируя зарождение и развитие новых полос сдвига и увеличивая общую пластичность материала.