

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЛЕНТОЧНЫХ АМОРФНЫХ
СПЛАВОВ В УСЛОВИЯХ НАГРЕВА С ПОСТОЯННОЙ СКОРОСТЬЮ

А.Д. Березнер

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.А. Федоров
Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина,
Россия, Тамбов, Интернациональная 33, 392000
E-mail: qwert1009@mail.ru

INVESTIGATION OF INHOMOGENEOUS DEFORMATION IN RIBBON AMORPHOUS
ALLOYS UNDER HEATING WITH CONSTANT RATE

A.D. Berezner

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.A. Fedorov
Tambov State University n.a. G.R. Derzhavin,
Russia, Tambov, Internatsionalnaya str. 33, 392000
E-mail: qwert1009@mail.ru

***Abstract.** Investigations of Co-based amorphous alloys failure strain at creep tests within a temperature range being from 300 to 1023 K have been performed. Creep curves of all alloys types have shown up creep strain jumps and damped oscillations. It has been shown that destruction of ribbon specimens is accompanied by tightening and corrugating.*

Введение. Аморфные металлические сплавы обладают уникальными магнитными, механическими и антикоррозионными свойствами, что способствует применению данного материала в промышленности. Одним из перспективных направлений материаловедения и инженерии является исследование ползучести аморфных металлических сплавов в условиях внешних воздействий.

Известно [1] что для ползучести массивных сплавов кристаллического алюминия при постоянной температуре характерно проявление скачкообразного увеличения деформации. Данное свойство представляет интерес в области нелинейной пластичности материалов. Аналогичный эффект может проявляться при деформации ленточных аморфных сплавов в переменном температурном поле. В связи с этим, целью данной работы является исследование скачкообразной деформации в ленточных металлических стеклах на основе кобальта в условиях нагрева с постоянной скоростью.

Материалы и методика исследований. В экспериментах использовали аморфные металлические сплавы на основе кобальта, элементный состав которых представлен в табл. 1.

Таблица 1

| Элементный состав сплавов | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-----|-------|-----|-----|----|-----|-----|-----|
| Сплав (АМАГ) | Co% | Fe% | Ni% | Si% | Mn% | V% | Cr% | Cu% | Nb% |
| 170 | 70.42 | 4.7 | 10.46 | 9 | 2.1 | 2 | 1.3 | - | - |

| | | | | | | | | | |
|-----|-------|------|------|------|------|---|------|---|---|
| 179 | 78.1 | 3.31 | 8.19 | 5.48 | 1.61 | 2 | 1.31 | - | - |
| 180 | 78.65 | 4.03 | 4.73 | 7.22 | 1.88 | 2 | 1.49 | - | - |
| 183 | 82.69 | 2.21 | - | 7.77 | 4.19 | 2 | 1.14 | - | - |
| 186 | 85.41 | 2.27 | - | 5.15 | 4.07 | 2 | 1.1 | - | - |

Объектами исследования служили ленточные образцы размером $50 \times 3,5 \times 0,02$ мм. Предварительно нагруженные образцы ($\sigma = 12,8$ МПа) нагревали в печи при температурах от 300 до 1023 К. Скорость нагрева поддерживали постоянной ≈ 1 К/с. Испытания проводились в воздушной среде. Температуру образца фиксировали лазерным пирометром Testo-845. Удлинение образцов измеряли лазерным триангуляционным датчиком, рельеф поверхности лент фиксировали профилометром Wyko NT 9080 (длина волны излучения $\lambda = 670$ нм). Для выявления аморфизации структуры выполняли нейтронографические исследования на дифрактометре ДН-2 (ОИЯИ, Дубна). Тепловые эффекты, связанные с кристаллизацией при нагреве, регистрировались методами термического анализа.

Результаты и их обсуждение. Экспериментально установлено, что при нагреве образцов с приложением постоянной механической нагрузки кривая деформации является гладкой или сопровождается скачками (Рис.1).

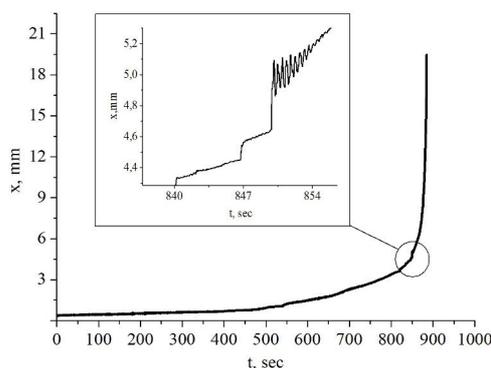


Рис. 1. Температурно-временная зависимость удлинения образца АМАГ-186. На вставках представлен участок скачкообразного увеличения деформации.

Величина необратимых скачков деформации в среднем составляет не более 1 % от общего удлинения образца и превосходит величину погрешности лазерного триангуляционного датчика на три порядка. Общая деформация ленты составляет 60% от первоначальной длины образца. Отмечено, что скачки деформации сопровождаются затухающими колебаниями на кривых ползучести. Появление скачков деформации, может быть связано с кристаллизацией, а также с перемещением полос сдвига в структуре образца. Методами дифференциальной сканирующей калориметрии установлена температура кристаллизации аморфных сплавов и было показано, что деформационная неоднородность возникает преимущественно вблизи области завершённой кристаллизации сплавов. Нейтроно- и рентгенографические исследования лент показали, что при температурах до 600 К образцы имеют аморфную структуру и с ростом температуры свыше 650 К наблюдаются дифракционные максимумы, соответствующие процессам кристаллизации. Разрушение образцов носит вязкий характер,

сопровождается значительным удлинением и продольным гофрированием лент (рис. 2). Толщина образца в зоне утяжки составляет ~ 1 мкм, а ширина ~ 1,6 мм.

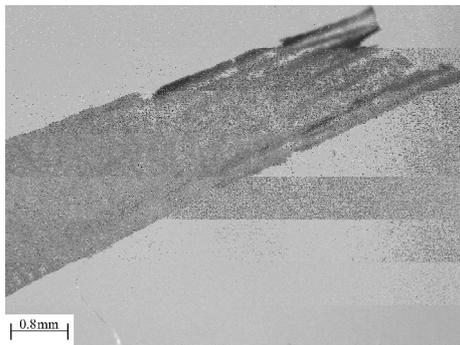


Рис. 2. Внешний вид образцов АМАГ-186 после разрушения

Установлено, что амплитуда рельефа между впадинами и возвышенностями при гофрировании достигает 20–25 мкм. Образование складок, по-видимому, связано с явлением неустойчивости при деформации тонких лент. При надрезе лент в поперечном направлении на величину 0,9 мм, с их последующим испытанием на ползучесть, скачки возникают в интервале температуры кристаллизации, что может свидетельствовать в пользу связи неоднородной деформации с процессом кристаллизации.

Заключение. Неоднородно растущие кристаллы в процессе ползучести могут выступать в роли концентраторов распределенного механического напряжения, вызывая тем самым ускоренное развитие полос сдвига. Образовавшаяся в материале неустойчивость может привести к появлению скачков деформации на кривых ползучести, с последующим гофрированием образцов при их разрушении. Скачок деформации сопровождается, как правило, затухающими продольными колебаниями системы груз-образец.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-01-04553-а)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shibkov A.A., Gasanov M.F., Zheltov M.A., Zolotov A.E., Ivogin V.I. Intermittent plasticity associated with the spatio-temporal dynamics of deformation bands during creep tests in an AlMg polycrystal. International Journal of Plasticity 2016;86;37-55.