

УДК 539.4

М. Н. ВЕРЕЩАГИН¹, В. Г. ШЕПЕЛЕВИЧ², С. В. ШИЛЬКО³, О. М. ОСТРИКОВ¹,
 С. Н. ЦЫБРАНКОВА¹

**ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА НА ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА РАЗРЫВ
 АМОРФНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА**

¹Гомельский государственный технический им. П. О. Сухого,

²Белорусский государственный университет,

³Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 12.09.2002)

Аморфные твердые тела являются метастабильными по отношению к термической обработке. Существует критическая температура, при которой свойства быстрозакаленных сплавов резко изменяются [1]. Это вызвано их переходом из нестабильного аморфного в стабильное кристаллическое состояние. С точки зрения практического применения аморфных материалов важно знать термический интервал стабильности свойств конденсированных систем, не имеющих дальнего порядка.

Изучение механизмов пластической деформации и разрушения аморфных лент также важно с точки зрения их практического применения. Известно, что основным каналом пластической деформации аморфных сплавов являются полосы сдвига [1, 2]. Однако их влияние на характер разрушения остается малоизученным.

Цель данной работы — исследование характера пластической деформации и разрушения аморфных сплавов на основе железа при их испытаниях на растяжение, а также изучение влияния отжига на характер деформирования многокомпонентных аморфных систем.

Исследовались аморфные сплавы на основе железа Fe—Ni—Co—Cr—Mo—B—Si, Fe—Cr—Mo—Ni—C—Mg—Al и Fe—P—C—Si—Al—B, которые получались следующим образом. После вакуумного переплава шихты соответствующего состава методом быстрой закалки расплава спиннингованием на наружную поверхность медного диска-кристаллизатора были получены аморфные ленты. В качестве тигля для плавления сплава применяли кварцевую трубку со щелевидным отверстием 0,25—0,3 мм при избыточном давлении аргона 0,2—0,5 МПа. Температуру расплава фиксировали с помощью прецизионного пирометра «Крок-2» с погрешностью измерения ± 2 °С. Угловая скорость медного диска-кристаллизатора составляла 50—60 с⁻¹ при его радиусе 0,35 м и фиксировалась датчиком оборотов ПДФ-1 в системе управления электроприводом типа СЭУ-7885. Скорость охлаждения лент $8 \cdot 10^5$ °С/с. Толщина и ширина полученных лент приведены в таблице.

Геометрические параметры и напряжения разрыва σ_r исследуемых аморфных лент

Состав ленты	Ширина, мм	Толщина, мкм	σ_r , ГПа
Fe—Ni—Co—Cr—Mo—B—Si	6,45	24	1,8
Fe—Cr—Mo—Ni—C—Mg—Al	1,95	60	0,8
Fe—P—C—Si—Al—B	0,48	18	3,0

Рентгеноструктурный анализ выполнен на дифрактометре ДРОН-3 в монохроматическом CuK_α -излучении в следующем режиме: напряжение 30 кВ, ток 20 мА, скорость счетчика 2 град/мин. Степень аморфизации материала оценивалась как отношение площади между размытой линией и линией фона к суммарной площади интерференционной линии в исследованном диапазоне углов. Данный метод с воспроизводимостью до 5% позволяет оценить степень аморфизации материала после его закалки и отжига.

Испытание лент на растяжение производилось на установке СОМТЕН-94С при комнатной температуре. Скорость нагружения составляла 1 см/мин. Образцы растягивались до раз-

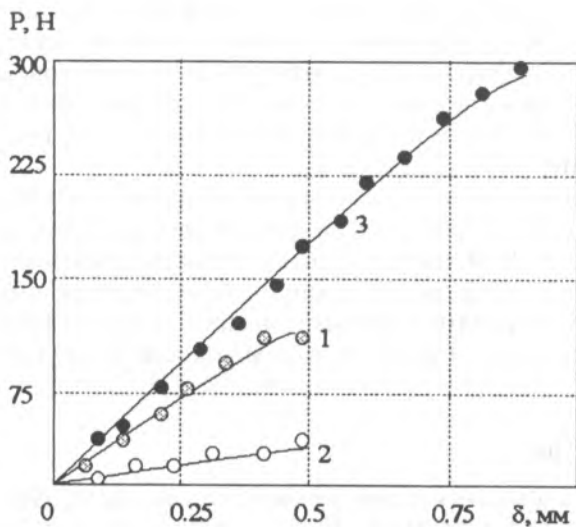


Рис. 1. Результаты испытаний на разрыв аморфных лент Fe—Ni—Co—Cr—Mo—B—Si (1), Fe—Cr—Mo—Ni—C—Mg—Al (2) и Fe—P—C—Si—Al—B (3). Скорость нагружения 1 см/мин

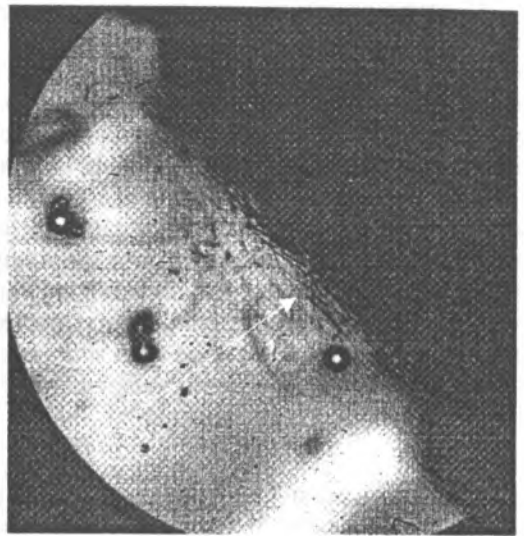


Рис. 2. Область разрыва аморфной ленты Fe—Cr—Mo—Ni—C—Mg—Al. Стрелкой показаны полосы сдвига. ($\times 500$)

рыва с регистрацией полной диаграммы деформирования. С помощью оптической микроскопии велось исследование областей разрыва аморфных лент. Отжиг лент производился при температуре 500 °С в течение 30 мин. Рентгеноструктурный анализ показал, что исходные сплавы рентгеноаморфные.

Результаты исследований на растяжение не отожженных лент приведены на рис. 1 и в таблице. Видно, что наибольшее удлинение до разрыва достигается при деформировании аморфной ленты состава Fe—P—C—Si—Al—B, разрыв которой происходит при наибольших усилиях. Наименее прочная лента имела состав Fe—Cr—Mo—Ni—C—Mg—Al. Вид экспериментальных зависимостей $P = f(\delta)$ (P — нагрузка; δ — абсолютное удлинение) указывает на то, что исследуемые аморфные ленты при растяжении ведут себя как хрупкие материалы. Областей пластического течения на экспериментальной зависимости $P = f(\delta)$ в пределах погрешности измерений выявлено не было. Однако следы пластической деформации в виде полос сдвига регистрировались с помощью оптической микроскопии (рис. 2).

Отсутствие ярко выраженной площадки текучести на графиках зависимостей, представленных на рис. 1, вероятно, объясняется развитием в областях локального пластического течения большого количества полос сдвига, вдоль которых облегчено формирование микротрещин, обуславливающих разрушение лент.

В [1] отмечалось, что полосы сдвига в аморфных материалах состоят из совокупности микропор, распределенных вдоль плоскости сдвига. Образование трещин в плоскости сдвига обусловлено ростом этих пор. В результате при внешних напряжениях, соответствующих началу пластического течения аморфных лент, формируется ансамбль полос сдвига, локализуя большие внутренние напряжения. При увеличении внешних напряжений стадия пластического течения аморфных лент обрывается из-за того, что каналы пластической деформации, которыми являются полосы сдвига, создают благоприятные условия для образования трещин. Развитие трещин вдоль полос сдвига препятствует дальнейшему развитию пластической деформации из-за разрыва ленты.

Рентгеноструктурный анализ отожженных образцов показал их переход из аморфного в кристаллическое состояние, что сопровождалось охрупчиванием этих материалов. Оно выражалось в резком уменьшении нагрузки разрыва лент при испытаниях на разрыв. Лента состава Fe—Ni—Co—Cr—Mo—B—Si претерпела разрыв при нагрузке 2 кг и абсолютном удлинении 0,13 мм, лента состава Fe—Cr—Mo—Ni—C—Mg—Al — при нагрузке 0,091 кг и абсолютном удлинении 0,076 мм, а лента состава Fe—P—C—Si—Al—B — при такой малой нагрузке, что ее определение с помощью данной методики оказалось невозможным. В областях разрыва отожженных лент полос сдвига обнаружено не было, что также подтверждает переход аморфных материалов в кристаллическое состояние, для которого рассматриваемые полосы сдвига не свойственны.

Следует отметить, что поликристаллические сплавы состава исследуемых аморфных лент не обладают такой хрупкостью, которая свойственна отожженным образцам. Это, вероятно, обусловлено тем, что центры кристаллизации в аморфных сплавах находятся на достаточно больших расстояниях друг от друга, обеспечивая слабое взаимодействие зерен. Более того, в отожженных аморфных лентах размер зерен меньше, чем в поликристаллах, так как их рост ограничен временем отжига и величиной его температуры.

Таким образом, в ходе исследований характера разрушения аморфных сплавов на основе железа при их испытаниях на растяжение было установлено, что на диаграммах растяжения отсутствуют ярко выраженные площадки текучести. В областях разрыва аморфных лент обнаружены полосы сдвига, способствующие развитию вдоль них трещин, обуславливающих разрушение образцов, прекращающие тем самым дальнейшее развитие пластической деформации. Отожженным аморфным сплавам на основе железа свойственны хрупкость и отсутствие полос сдвига в областях разрушения.

Литература

1. Глезер А. М., Молотилев Б. В. Структура и механические свойства аморфных сплавов. М., 1992.
2. Верещагин М. Н., Шепелевич В. Г., Остриков О. М., Цыбранкова С. Н. // Тр. X Российск. конф. «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов». Т. IV. Взаимосвязь строения и свойств различных состояний (кристаллическое, квазикристаллическое, аморфное, жидкое). Екатеринбург — Челябинск, 2001. С. 3—6.

M. N. VERESCHYAGIN, V. G. SHEPELEVICH, S. V. SHILKO, O. M. OSTRIKOV, S. G. TSYBRANKOVA

THE ANNEALING INFLUENCE ON THE CHARACTER OF FRACTURE AT THE TENSILE TEST OF IRON BASED AMORPHOUS ALLOYS

Summary

Iron-based amorphous alloys of Fe—Ni—Co—Cr—Mo—B—Si, Fe—Cr—Mo—Ni—C—Mg—Al and Fe—P—C—Si—Al—B were investigated. The bend and wire samples were stretched on the test machine COMTEN-94C.

It has been found out that amorphous alloys on iron base behave at a uniaxial tension like brittle materials while at local deformation they show plastic properties.