

УДК 669.782:539.78

М.В.Нарыкова (5 курс, каф. ФМиКТМ),
А.Г.Кадошцев, к.ф.-м.н., с.н.с. (ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АМОРФНОГО СПЛАВА

Ленты аморфного сплава, полученные методом спиннингования – сверхбыстрой закалкой из расплава – обладают уникальными механическими свойствами. В последнее время удалось существенно увеличить толщину получаемых лент – до 100 мкм, что открывает новые перспективы для их использования как конструкционного материала.

В связи с этим встает задача дальнейшего изучения механических свойств и улучшения термической стабильности таких материалов за счет термомеханических обработок. В отличие от поликристаллических материалов, теории термической обработки аморфных сплавов не существует, как не существует и общепринятой теории дефектов аморфной структуры. В связи с этим в данной работе проводился ряд термомеханических обработок аморфных сплавов повышенной толщины, исследование влияния этих обработок на механические свойства сплава, а также анализ возможных путей их упрочнения.

В работе проводились исследования аморфного металлического сплава на основе Ni: Ni(81-86%), Cr(7-9%), Fe(4%), Si(4.2%), Mn(0.4%), Cu(1.5%), Al(0.1%), В(2-3%). Исследуемые образцы были в виде фольги толщиной около 65 мкм.

Для эксперимента использовались образцы, полученные методом сверхбыстрой закалки из расплава в исходном состоянии, а также после следующих воздействий:

1. Отжиг при постоянной температуре $T = 240^{\circ}\text{C}$ в течении 5,5 часов.
2. Отжиг при температуре $T = 240^{\circ}\text{C}$ в течении 5,5 часов при постоянной нагрузке $\sigma = 0,8\sigma_{\text{теч}}$.
3. Гидростатическое сжатие при $P = 1 \text{ GPa}$ в течение 10 минут. Обработка образцов таким способом проводилось в институте физики металлов РАН г. Екатеринбург.
4. Отжиг в свободном состоянии при температурах ниже температуры охрупчивания.

В качестве параметра, характеризующего механические свойства сплава, было выбрано измерение микротвердости. Также определялся параметр, характеризующий пластичность материала, по методике, используемой А.М. Глезером:

$$\varepsilon = (\Delta h/h) \cdot 100\%,$$

где h – глубина отпечатка индентора, Δh – высота наплыва вокруг него. Для выяснения причин упрочняющего воздействия этих обработок было сделано прецизионное измерение плотности образцов.

В табл. 1 представлены экспериментальные результаты, а также данные рентгенодифракции и малоугловых исследований, полученные в лабораториях ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Таблица 1

	H, ГПа	ρ , кг/м ³ ·10 ³	$\Delta\rho/\rho$, %	объем пор, % (ММР)	$\Delta\rho/\rho$, % (ММР)	ϵ
исходный образец	8,03	7,734	0	2,2	0	0,30
T = 240°C, 5,5 часов	8,92	7,835	1,31	0,96	1,24	0,21
T = 240°C, 5,5 час. + σ	9,01	7,85	1,55	0,87	1,36	0,21
P = 1кбар, 10 мин	9,23	7,870	2,21	0,74	1,46	0,24

Анализ рентгенодифрактометрических данных показывает, что аморфность образца сохраняется после всех термомеханических обработок.

В случае изохронного отжига для образцов в свободном состоянии наблюдается рост микротвердости до $T_{\text{ann}} \approx 300\text{--}330^\circ\text{C}$, а затем её падение. Известно, что эту температуру принято называть температурой отжигающего охрупчивания аморфного сплава. Единой точки зрения на это явление до сих пор нет. Наиболее часто называют две причины – предкристаллизационное расслоение материала и образование нанокристаллов на внутренних поверхностях (например, порах).

Более высокая эффективность отжига под нагрузкой по сравнению со свободным отжигом связана, по-видимому, с реализацией механизмов залечивания. Внешнее напряжение, складываясь с внутренним, активизирует процессы локального вязкого течения материала в пору.

Что касается залечивания пор в аморфном сплаве под давлением, то установлено, что механизм залечивания в этом случае другой. Деформация материала вблизи пор происходит по механизму локализованного сдвига за счет сдвигающих напряжений, создаваемых внешним давлением.

Таким образом, все термомеханические обработки привели к росту микротвердости и плотности, что может быть связано либо с изменением степени кристалличности материала, либо с уменьшением пористости. Денситометрические данные и результаты малоуглового рентгеновского рассеяния свидетельствуют о том, что изменение плотности и изменение полного объема пор при всех обработках оказались очень близкими.

Выводы. Использование термомеханических обработок в первую очередь уменьшает пористость аморфного сплава, что, в свою очередь, приводит к росту микротвердости. Прирост микротвердости в среднем пропорционален повышению плотности материала. Отметим, что все использованные обработки в очень малой степени снизили пластичность аморфного сплава. Этот результат имеет очень большое значение в случае практического использования таких упрочняющих технологий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Глезер А.М., Молотилев Б.В. Структура и механические свойства аморфных сплавов. / М.: Металлургия. 1992. 208с.
2. В.И. Бетехтин, А.М. Глезер, А.Г. Кадомцев, А.Ю. Кипяткова. Влияние гидростатического давления и температуры на дефектную структуру и механические свойства аморфных сплавов // Актуальные проблемы прочности: Научные труды I Международного семинара, Новгород, 1997 г., т.1, ч.1, с.46-52.
3. В.И. Бетехтин, Е.Л. Гюлиханов, А.Г. Кадомцев, О.В. Толочко. Влияние отжига на избыточный свободный объем и прочность аморфных сплавов. ФТТ, т. 42, в.8, 2000, 1420-1424.