

УДК 669.782:539.78

А.А.Семенов (5 курс, каф. ФМиКТМ),
А.Г.Кадомцев, к.ф.-м.н., с.н.с. (ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА ДЕФЕКТНУЮ СТРУКТУРУ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ

Металлические аморфные сплавы (АС) в последнее время все в большей степени привлекают внимание как конструкционные материалы. В частности, это обусловлено тем, что в последние годы удалось освоить производство достаточно массивных образцов АС с высокими механическими свойствами. При этом возникает задача упрочнения этих материалов за счет проведения термомеханических обработок.

В данной работе исследовалось влияние ряда таких обработок на дефектную структуру АС. В качестве обработок были выбраны:

1. Отжиг при 240°C, в течение 5,5 часов
2. Отжиг в условиях растягивающих напряжений $\sigma=0,8\sigma_{тек}$, при 240°C, в течение 5,5 часов.
3. Приложение высокого гидростатического давления $\sigma = 0,8\sigma_{тек} = 10$ кбар, в течение 10 мин, при 20°C (293 К).

Предполагалось, что данные воздействия будут влиять на физико-механические свойства АС. При этом температурный диапазон этих воздействий был выбран таким, чтобы роль кристаллизации была невелика (300-350°C).

В качестве основного метода исследования было выбрано малоугловое рентгеновское рассеяние. Известно, что этот метод является весьма эффективным при изучении вторых фаз в материале, которыми являются и поры. Определенная трудность заключается в том, что, помимо поровых, в АС могут быть и непоровые источники рассеяния. В связи с этим задача состояла в следующем:

1. Выделение поровых компонент рассеяния.
2. Определение параметров поровой системы (размер, концентрация, объемная доля пор) для исходных и обработанных образцов.
3. Уточнение характера распределения пор по сечению образца.
4. Анализ полученных данных с учетом денситометрических измерений.

В работе использовалась малоугловая рентгеновская установка с коллимацией по Кратки и трубкой с молибденовым анодом. Коллимационная система обеспечивала изменение высоты пучка от 4 до 50 мкм, что давало возможность с достаточной интенсивностью получать “слитые” кривые рассеяния в диапазоне 0,8' - 40' и регистрировать неоднородности плотности элементов с размерами от единиц до 0,3 мкм. Как было сказано ранее, для АС наиболее эффективным способом выделения поровой компоненты рассеяния является приложение высокого гидростатического давления. При этом происходит уменьшение интенсивности поровых источников рассеяния, а непоровые включения (аморфные фазы) практически не изменяются.

Как показал опыт, выделение поровых источников рассеяния удобнее всего проводить, анализируя функцию Порода (2 инвариант рассеяния), $I\varphi^2 - \varphi$, а количественные параметры поровой системы определять из перестроения по Гинье: $\ln I - \varphi^2$. В соответствии с задачей работы, вначале рассматривали результат поровой компоненты рассеяния.

В координатах $I\varphi^2 - \varphi$ была приведена функция Порода для исходного образца и образца, обработанного давлением $\sigma = 0,8 \sigma_{тек} = 1$ ГПа. Получено, что исходная кривая

имеет три выделенных максимума, столько же и на второй кривой, но два большеугловых максимума заметно меньше и сдвинуты в сторону больших углов. Как следует из теории, это вызвано уменьшением размера рассеивающих частиц и их полного объема. Отсюда можно сделать вывод, что эти максимумы соответствуют рассеянию на порах. Первый максимум соответствует непоровому источнику рассеяния, вероятнее всего, аморфным фазам. Исходя из этого, было проведено детальное исследование в двух угловых диапазонах, соответствующим двум фракциям пор.

Обработка результатов, представленных в координатах $\text{LnI} - \varphi^2$ для исходного образца и образцов после трех примененных обработок, показала, что при всех воздействиях происходит уменьшение интенсивности рассеяния и наклона зависимости $\text{LnI} - \varphi^2$. Это свидетельствует о том, что во всех случаях происходит уменьшение размера и объема пор. В большей степени это происходит под давлением, в меньшей - при отжиге. Отметим, что во всех случаях проводилась проверка влияния обработки на уменьшение размера пор. Это определяется связью между интенсивностью рассеяния $I_{\varphi=0}$ и размером пор R в виде $I_{\varphi=0} \cong R^5$.

Во всех случаях для обеих фракций пор были рассчитаны размеры, концентрация и удельный объем. Был сделан вывод, что при всех воздействиях происходит уменьшение размера пор и их полного объема. Концентрация пор при этом существенно не изменяется, а тенденции изменения мелкой и крупной фракций пор похожи. Таким образом, установлено, что все использованные виды термомеханической обработки приводят к уменьшению пористости.

На следующем этапе было проведено исследование характера распределения пор по сечению ленты. Проводились также последовательные полировки ленты и рентгеновские измерения. Обнаружено, что крупные поры сосредоточены, в основном, в тонком приповерхностном слое порядка 5 мкм со стороны свободной поверхности. Мелкие поры распределены практически равномерно по сечению образца. С учетом этих данных был проведен расчет концентраций N и объемных долей Q для крупных пор с учетом толщины слоя, где они локализованы. Это привело к изменению величины N , но не отразилось на величине Q . Таким образом, удалось определить значение пористости AS для исходного состояния и после трех видов термомеханической обработки.

Также определено, что изменение объема пор очень близко к величине соответствующего изменения относительной плотности $\Delta\rho/\rho$. Это свидетельствует как о достаточной степени точности измерений, так и о том, что изменение плотности обусловлено, в основном, изменением пористости.