

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПРОЧНОСТЬ И ПЛАСТИЧНОСТЬ АМОРФНЫХ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ ЗАКАЛКИ ИЗ РАСПЛАВА И БОЛЬШИХ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Блинова Е.Н., Пермьякова И.Е., Филиппова В.П., Шурыгина Н.А.

ГНЦ РФ «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина», Москва, Россия, blinova_en@rambler.ru

Структура аморфных металлических сплавов является состоянием, далеким от термодинамического равновесия в области температур существенно ниже точки плавления твердого тела. В этой связи проблема температурно – временной стабильности (ТВС) аморфного состояния и соответствующих уникальных физико – механических свойств является в настоящее время актуальной проблемой современного материаловедения. При термических и других дестабилизирующих воздействиях в аморфных сплавах, полученных закалкой из жидкого состояния или методом больших пластических деформаций, происходит резкое снижение их способности к пластическому течению и, как следствие этого, катастрофическое охрупчивание. В связи с вышесказанным представляет безусловный интерес выяснение физически обоснованного критерия перехода аморфных сплавов из пластичного состояния в хрупкое особенно в климатическом интервале температур.

Проведенные нами детальные исследования механического поведения аморфных сплавов на основе железа, кобальта и титана показали, что практически все изученные композиции становятся полностью или частично хрупкими при комнатной температуре по достижении определенной критической температуры предварительного отжига T_x , которая всегда находилась в пределах устойчивости аморфного состояния. Подобное явление перехода аморфных сплавов из пластичного состояния в хрупкое известно как отпускная хрупкость аморфных сплавов. Именно отпускная хрупкость в значительной мере существенно ограничивает температурный интервал практического использования и/или режимов термической обработки промышленных сплавов, полученных закалкой из жидкого состояния или деформационным воздействием. Ранее для сильно неравновесных аморфных сплавов мы использовали метод построения диаграмм термо-временной стабильности. К сожалению, метод построения диаграмм термо-временной стабильности корректен только в области относительно высоких температур, близких к температуре стеклования, при относительно малых временных интервалах. По этой причине его нельзя применять для прогнозирования деградации механических свойств в климатическом (ниже 400 К) интервале температур отжига при очень длительных (месяцы и, возможно, годы) временах воздействий.

В связи с этим мы предприняли попытку создать физически обоснованные методы оценки временной стабильности механических свойств аморфных сплавов, полученных методом больших пластических деформаций, до момента наступления их перехода в хрупкое состояние в климатическом интервале температур. Все эксперименты проводились на пяти изготовленных ранее аморфных сплавах. Часть образцов после закалки из расплава или после большой пластической деформации в камере Бриджмена (4 полных оборота подвижного бойка камеры Бриджмена) подвергалась вылеживанию при комнатной температуре в течение длительного времени (до 8000 час.) или изотермическому отжигу в вакууме при 333, 393 и 453 К в течение 1, 5, 10 и 100 час. Механические испытания образцов проводились при комнатной температуре путем измерения микротвердости и трехточечного изгиба по методикам, специально разработанным для образцов аморфных сплавов. Контроль за возможным изменением химического состава приповерхностных областей образцов в процессе термической обработки, деформации и вылеживания осуществлялся методом Оже – спектроскопии (микроскоп JAMP-1000). Анализ концентрационных профилей для различных элементов по глубине ленточных образцов после закалки из расплава, длительного вылеживания при комнатной температуре и после различных режимов термической обработки показал, что изменение механических свойств, включая вязко – хрупкий переход, никак не связан с окислением или каким – либо иным локальным изменением химического состава поверхности образцов.

Критерий вязко – хрупкого перехода был подвергнут нами тщательной экспериментальной проверке. Сплавы пяти различных композиций отжигались при таких температурно – временных параметрах, которые приводили или не приводили бы к охрупчиванию ленточных образцов при их испытаниях на трехточечный изгиб. Одними из эффективных методов получения информации о физических и структурных параметрах аморфных сплавов являются методы дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК). Он позволяет исследовать эволюцию тепловыделения релаксационного спектра (РС) в зависимости от интенсивности и характера дестабилизирующих воздействий, в частности, после термовременных воздействий на аморфные сплавы. Термодинамический подход дает общее направление эволюции аморфных сплавов как системы, находящейся в состоянии метастабильного равновесия, без детализации реализующих ее конкретных микроскопических механизмов: РС- критерий стабильности аморфного состояния. Интегральной характеристикой отклонения аморфных сплавов от состояния термодинамического равновесия является тепловыделение релаксационного спектра (РС). Рассмотрим процесс эволюции РС в ходе изохронных отжигов при увеличении температуры последних, сопоставляя его с изменением механических свойств аморфных сплавов для двухуровневой системы. Рассмотрение проводилось в предположении, что на атомном уровне процесс структурной релаксации заключается в перераспределении атомов между двумя энергетическими уровнями за счет перехода частиц через разделяющий их потенциальный барьер и что спектральная плотность тепловыделения РС является аддитивной суммой элементарных двухуровневых переходов. Существуют различные методы определения энергий активаций по тепловыделению РС. Один из них основывается на смещении пика тепловыделения РС при варьировании скорости нагрева. Релаксационные спектры исследовались методом ДСК при скорости нагрева 20 град/мин.

В процессе проведенных исследований нами разработаны два независимых критерия температурно-временной стабильности аморфных и аморфно-нанокристаллических сплавов, полученных методом деформационного воздействия, которые основаны на анализе склонности сплавов к отпускному охрупчиванию и на анализе спектров тепловой релаксации. Проведен сопоставительный анализ достоверности и воспроизводимости предложенных независимых критериев температурно-временной стабильности сплавов, полученных методов деформационной аморфизации. На основании разработанных критериев проведено сравнение температурно-временной стабильности аморфных сплавов на основе Fe и Ti, полученных методом закалки из расплава и методом больших пластических деформаций. Установлены экспериментальные предпосылки для создания теоретической модели влияния дестабилизирующих воздействий на структуру и механические свойства аморфных и аморфно-нанокристаллических сплавов, полученных методом закалки из расплава и больших пластических деформаций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант 17-08-01193).