



Физический механизм и модель воздействия импульса электрического тока на электропластичность аморфных металлических сплавов

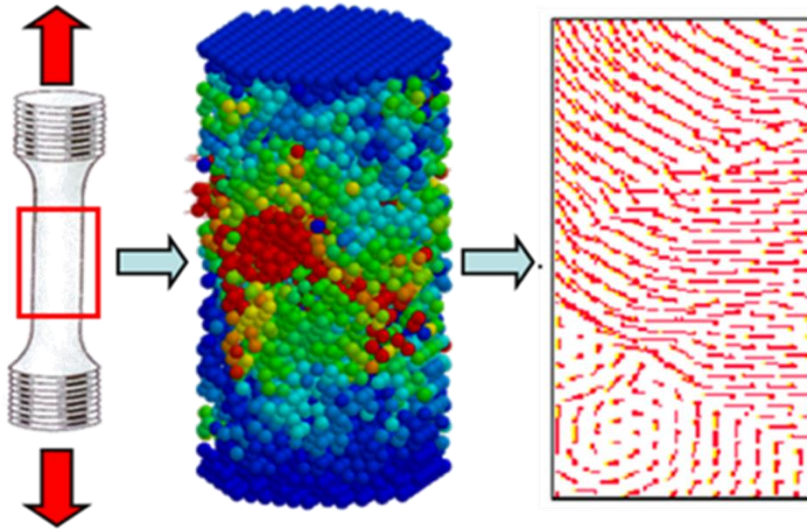


Рисунок - Объект (слева) описывается в виде набора взаимодействующих автоматов (в центре). Справа представлено поле скоростей автоматов.

Проведено аналитическое моделирование неравновесного образования структурных дефектов в аморфном металлическом стекле (АМС), инициированного импульсным воздействием электрического поля. В качестве объекта исследования рассматриваются квазистатическая неупругая деформация АМС при воздействии импульса электрического тока. Предложены новые физический механизм и модель воздействия импульса электрического тока на электропластичность в АМС. Результаты исследований могут быть применены для построения вычислительной модели деформации АМС, например, методом взаимодействующих клеточных автоматов (см. Рисунок), для физического обоснования и усовершенствования электронно-лучевых, лазерных технологий, термо-механических, аддитивных 3D – технологий создания композиционных материалов с наноструктурой.

Публикации:

1. Слядников Е.Е., Турчановский И.Ю. Неоднородная пластическая деформация аморфных металлических сплавов под действием квазистатической механической нагрузки // ЖТФ. – 2023. – Т. 93. – В.1. – С. 104–116.
2. E.E Slyadnikov, I.Yu. Turchanovsky. Non-homogeneous plastic deformation of amorphous metallic alloys under the action of a quasi-static mechanical load // Technical Physics. – 2023. – Vol. 68. – No. 1. – P. 99-110.
3. Слядников Е.Е., Турчановский И.Ю. О физическом механизме воздействия импульса тока на электропластичность в аморфных металлических сплавах // Международная конференция «Физическая мезомеханика. материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии»: Тезисы докладов (Томск, Россия, 11-14 сентября 2023). – С. 56-57.

Физический механизм и модель воздействия импульса электрического тока на электропластичность аморфных металлических сплавов

Авторы: д.ф.-м.н. Слядников Е.Е., к.ф.-м.н. Турчановский И.Ю.

Одним из эффективных методов придания изделию нужной формы является пластическая деформация: выдавливание, прессование и пр. Поскольку аморфные металлические сплавы (АМС) демонстрируют низкую пластическую деформацию, то используют комбинированный метод электропластической деформации (ЭПД), в котором через механически нагруженный образец пропускается импульс электрического тока (ИЭТ). При растяжении образцов из АМС с одновременным пропусканием ИЭТ с плотностью тока $4 \cdot 10^9 > j \geq 5 \cdot 10^8$ А/м² на диаграммах напряжение-деформация $\sigma(\epsilon)$ наблюдался кратковременный (~1 с) сброс механического напряжения, с последующим полным восстановлением хода зависимости $\sigma(\epsilon)$. Сброс механического напряжения, вызванный прохождением импульса, почти в 1,5 раза больше, чем сброс напряжения при медленном нагреве в печи. Следовательно, сброс напряжения в образце обусловлен не только термическим расширением, но и иным механизмом, связанным с обратимыми и необратимыми атомными перестройками [1-3], стимулированными ИЭТ.

Физической причиной ЭПД в АМС являются неоднородность аморфной среды на субнаноструктурном и наноструктурном уровне, а также импульсный характер источника энергии, которые позволяют части энергии импульса тока накапливаться в виде дополнительной потенциальной энергии атомных кластеров и при этом происходит изменение структурного состояния среды. Поскольку энергия импульса выделяется за время $\tau_2=5$ мс, а время температурной релаксации по глубине аморфного образца l составляет $\tau_T = (l^2 / a) \approx 1$ с, $l \approx 10^{-3}$ м, $a \approx 10^{-6}$ м²/с, выполняется соотношение $\tau_T \gg \tau_2$. Поэтому из-за пространственной неоднородности АМС энергия импульса выделяется неоднородно по объему среды. А из-за импульсного характера источника энергии во время действия ИЭТ температура не успевает выровняться по глубине образца, возникает поле градиента температуры. Следовательно, во время воздействия импульса распределение энергии по объему аморфного образца становится еще более неоднородным и неравновесным, чем было до воздействия импульса. Поэтому области образца (кластеры атомов, обладающие избыточным свободным объемом, повышенной потенциальной энергией), в которых выделилось повышенное количество энергии, испытывают неравновесное локальное структурное превращение, неупругую деформацию. Условием реализации ЭПД в АМС является достижение критического значения энергии импульса тока и наложение слабого ориентирующего механического поля. Физическим механизмом ЭПД при $j \sim 5 \cdot 10^8$ А/м² является неустойчивость аморфной среды относительно неравновесного структурного перехода первого рода с возникновением нового ближнего порядка атомов. После прохождения ИЭТ аморфная среда испытывает обратный структурный переход. Роль слабого внешнего механического напряжения заключается только в установлении определенной ориентации новых ближнего порядка. Во время действия ИЭТ новое неравновесное структурное состояние среды увеличивает длину образца в направлении приложенного напряжения, что приводит к сбросу механического напряжения [1-3].

ПУБЛИКАЦИИ

1. Слядников Е.Е., Турчановский И.Ю. Неоднородная пластическая деформация аморфных металлических сплавов под действием квазистатической механической нагрузки // ЖТФ. – 2023. – Т. 93. – В.1. – С. 104–116.
2. E.E. Slyadnikov, I.Yu. Turchanovsky. Non-homogeneous plastic deformation of amorphous metallic alloys under the action of a quasi-static mechanical load // Technical Physics. – 2023. – Vol. 68. – No. 1. – P. 99-110.
3. Слядников Е.Е., Турчановский И.Ю. О физическом механизме воздействия импульса тока на электропластичность в аморфных металлических сплавах // Международная конференция «Физическая мезомеханика. материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии»: Тезисы докладов (Томск, Россия, 11-14 сентября 2023). – Изд-во: Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск. – 2023. – С. 56-57.