

РЕЛАКСАЦИЯ СДВИГОВОЙ УПРУГОСТИ И ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В МЕТАЛЛИЧЕСКОМ СТЕКЛЕ $Zr_{65}Cu_{15}Ni_{10}Al_{10}$ ПОСЛЕ ДЕФОРМАЦИИ

Г.В. АФОНИН¹, Ю.П. МИТРОФАНОВ¹, Н.П. КОБЕЛЕВ², В.А. ХОНИК¹

¹Кафедра общей физики ВГПУ, Ленина 86, Воронеж, 394043, Россия

²Институт физики твердого тела РАН, Академика Осипяна 2, Черноголовка, 142432, Россия

АННОТАЦИЯ

Установлено, что неоднородная пластическая деформация металлического стекла $Zr_{65}Cu_{15}Ni_{10}Al_{10}$ приводит к снижению величины нерелаксированного модуля сдвига и изменению его кинетики релаксации при последующей термообработке. Анализ калориметрических данных показывает, что неоднородная пластическая деформация приводит к накоплению дополнительной внутренней энергии в металлическом стекле, которая, однако, не вызывает релаксации модуля сдвига.

Хорошо известно, что релаксация металлических стекол (МС) сопровождается тепловыми эффектами. В рамках межузельной теории [1] существует прямая взаимосвязь между релаксацией сдвиговой упругости и тепловым потоком [2]. Релаксацию сдвиговой упругости можно охарактеризовать величиной $\Delta G_{rel}(T) = G_{rel}(T) - G_{ini}(T)$ [3], где $G_{ini}(T)$ и $G_{rel}(T)$ – температурные зависимости модуля сдвига в исходном и релаксированном состояниях. На рис.1а представлены температурные зависимости величины $\Delta G_{rel}(T)$ для недеформированного и деформированных образцов (деформирование выполнялось методом сжатия в электромеханической испытательной машине ИР 5092-100; механическое напряжение прикладывалось к большей грани образцов, и, таким образом, деформация происходила в стесненных

условиях; величина деформации ε определялась по уменьшению толщины образца). Как видно из рисунка, абсолютная величина ΔG_{rel} не очень сильно меняется с деформацией ε . Для максимально деформированного образца она увеличивается примерно на 25%, а для остальных случаев не превышает 10%.

На Рис.1б приведены температурные зависимости величины

$$\Delta G_{rel}^{calc} = \beta \rho \Delta U,$$

рассчитанные из калориметрических данных [3]. Как видно из сравнения рис. 1а и 1б, для недеформированного образца расчет дает практически точное значение величины релаксационного вклада в модуль сдвига. В то же время для деформированных образцов рассчитанные таким образом значения релаксационного вклада в модуль существенно больше экспериментально измеренных. Таким образом, формула не учитывает все тепловыделение при

релаксации деформированных МС. Следовательно, после неоднородной пластической деформации в структуре МС формируются структурные конфигурации, которые не очень существенно влияют на нерелаксированный модуль сдвига, но эффективно изменяют энтальпию системы и характер ее эволюции при термообработке. На наш взгляд, эта дополнительная внутренняя энергия может быть связана с накоплением дефектов дислокационного типа.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №20-62-46003).

Список литературы

- 1 A.V. Granato. Phys. Rev. Lett. 68, 974 (1992).
- 2 Yu.P. Mitrofanov, A.S. Makarov, V.A. Khonik et al. Appl. Phys. Lett. 101, 131903 (2012).
- 3 Г.В. Афонин, Ю.П. Митрофанов, Н.П. Кобелев, В.А. Хоник. ЖЭТФ, 158, 1 (2020).

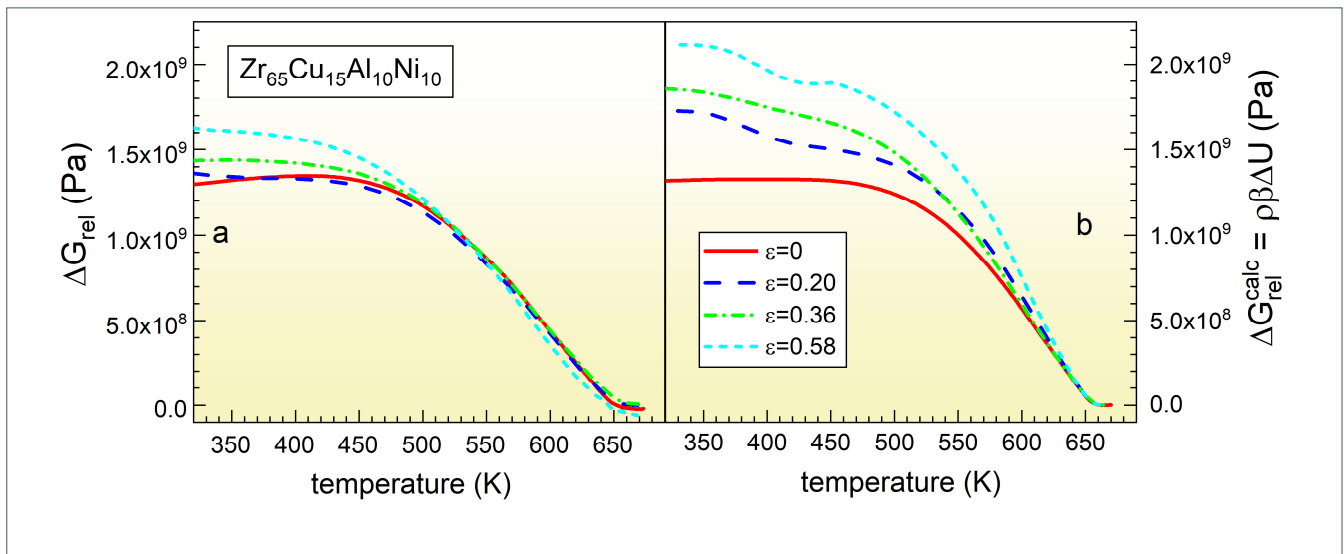


Рис. 1. Релаксационный вклад в модуль сдвига, измеренный экспериментально (а) и рассчитанный из калориметрических данных (б), для стекол с различной степенью деформации ε .