

УПРУГИЕ И НЕУПРУГИЕ СВОЙСТВА CU-AU-ZN СПЛАВОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

¹Любимова Ю.В., ^{1,2}Кустов С.Б.

¹Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург, Россия, E-mail: liubimovaiuliia@corp.ifmo.ru

²Университет Балеарских островов, Отделение Физики,
г. Пальма де Майорка, Испания, E-mail: seboku5403@gmail.com

Материалы, подвергающиеся обратимым мартенситным фазовым превращениям, представляют интерес для практического применения во многих областях: например, в качестве медицинских сенсоров или как устройства для преобразования энергии [1]. Способность многократно проходить через мартенситное превращение (МП) без ухудшения свойств имеет решающее значение для таких применений. В работе [1] авторы исследовали сплавы Cu-Au-Zn с различным содержанием Au ($25 \leq x \leq 30$) и предполагают, что переходный слой между двумя фазами вызывает энергетический барьер, который является причиной температурного гистерезиса и приводит к образованию дислокаций и зарождению микротрещин, что, в свою очередь, приводит к функциональной деградации и сбоям. Следовательно, высокая функциональная устойчивость может быть достигнута путем понижения или устранения этого упругого переходного слоя [1].

Однако, в работе [2] был предложен механизм «кинетической» стабилизации мартенсита, не связанный с старением мартенсита. Микроскопическая интерпретация кинетической стабилизации основана на замораживании интерфейсов, движущихся при обратном преобразовании, при помощи механизма «sweeping» закаленных дефектов и предполагает их высокую диффузионную подвижность посредством интерфейсов. Авторы данной работы считают, что в случае сплава Cu-Au-Zn данный механизм также имеет место и приводит к сильным температурным аномалиям неупругих и упругих свойств сплавов с эффектом памяти формы [3].

Эксперимент был выполнен методом ультразвуковой механической спектроскопии. Методика составного пьезоэлектрического осциллятора была использована для измерения внутреннего трения, его линейной и нелинейной составляющих и частоты в температурном диапазоне 17–300 К. Экспериментальная методика позволяет проводить измерения на частоте около 90 кГц при амплитудах деформации ϵ_0 от 10^{-7} до 10^{-4} [4]. В качестве материала исследования был выбран образец сплава $\text{Cu}_{30}\text{Au}_{25}\text{Zn}_{45}$, температура мартенситного превращения T_M составляет 327 К.

На рисунке 1 представлены температурные зависимости линейной (амплитудно-независимое внутреннее трение, амплитуда деформации 10^{-7}) и нелинейной (амплитудно-зависимое внутреннее трение, амплитуда деформации 10^{-5}) частей внутреннего трения. При охлаждении нелинейная часть внутреннего трения появляется ниже 270 К, но демонстрирует атермическое поведение ниже температур около 130 К. При нагреве амплитудно-зависимое внутреннее трение остается атермическим вплоть до 150 К и затем полностью подавляется в диапазоне температур 150-260 К.

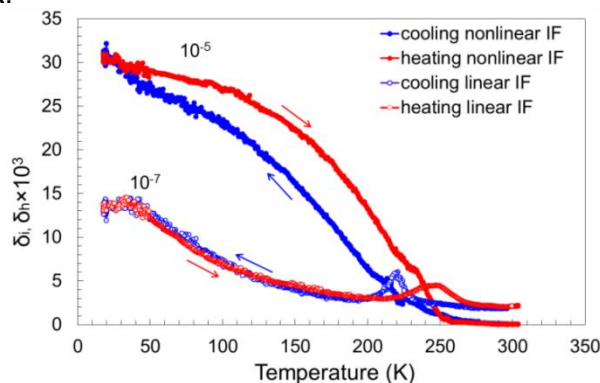


Рисунок 1 – Температурные зависимости линейной (амплитуда деформации 10^{-7}) и нелинейной (амплитуда деформации 10^{-5}) составляющих внутреннего трения при нагреве и охлаждении в диапазоне 17 – 300 К

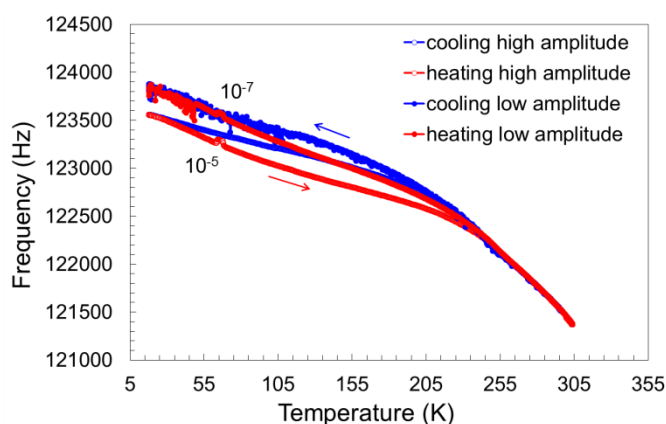


Рисунок 2 – Температурные зависимости частоты и амплитудно-зависимой составляющей дефекта модуля Юнга для амплитуд деформации 10^{-7} и 10^{-5} при нагреве и охлаждении в диапазоне 17 – 300 К

Температурный гистерезис между охлаждением и нагревом в нелинейной части внутреннего трения подтверждает явление депиннинга под воздействием термических напряжений. На рисунке 2 представлена зависимость частоты от температуры в диапазоне 17–300 К при охлаждении и последующем нагреве при амплитудах деформации 10^{-5} и 10^{-7} .

На рисунке 3 изображены зависимости внутреннего трения от амплитуды деформации в диапазоне 5×10^{-8} – 10^{-4} при нагреве от 17 К. Такая картина является типичной для процессов депиннинга и последующего повторного пиннинга при термоциклировании. При низких температурах, примерно до 60 К, наблюдается только нелинейная составляющая внутреннего трения. Такое поведение указывает на нахождение системы в состоянии депиннинга. При нагреве от 60 К происходит постепенное подавление нелинейной составляющей внутреннего трения. Дальнейший нагрев приводит к формированию линейного фона и сильному подавлению нелинейного затухания.

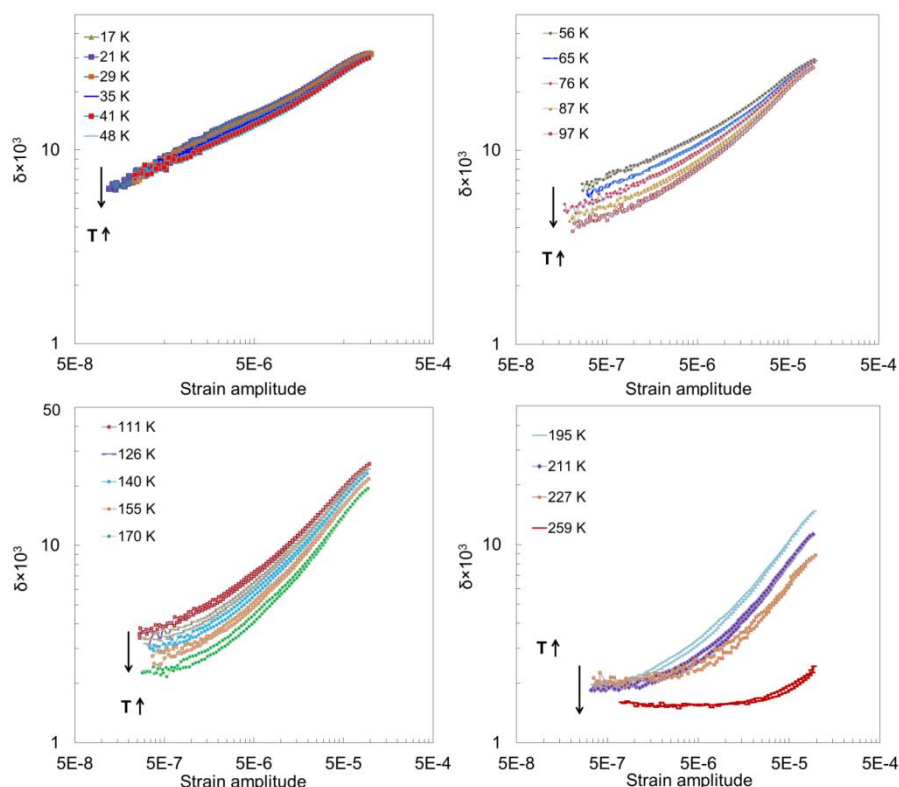


Рисунок 3 – Внутреннее трение в зависимости от амплитуды деформации от 5×10^{-8} до 10^{-4} при фиксированных температурах в диапазоне 17 К – 260 К

Таким образом, подвижность двойниковых границ, проявляющаяся в экспериментах по измерению нелинейной неупругости, чрезвычайно чувствительна к пиннингу. При охлаждении в поливариантных образцах термических напряжений достаточно для инициации движения двойниковых границ. При низких температурах диффузионная мобильность центров пиннинга «заморожена» и двойниковые границы достигают свободного состояния (состояния депиннинга) под воздействием термических напряжений. При нагреве двойниковые границы закрепляются: при повышенных температурах центры пиннинга способны двигаться квазистатически вместе с двойниковыми границами, которые остаются в состоянии пиннинга.

Список литературы:

1. Y. Song et al. Nature 502 (2013) 85.
2. S. Kustov et al. Acta mater. 52 (2004) 3083-3096.
3. S. Kustov et al. FML 10, 1 (2017) 1740010.
4. S. Kustov et al., Mater. Sci. Eng. A 442 (2006) 532-537.