



ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЛОКАЛИЗАЦИЮ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ И СКОРОСТЬ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ АЛЮМИНИЯ

С.А. Баранникова, С.В. Колосов, П.В. Исхакова
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

Цель работы. Настоящая работа посвящена исследованию эволюции локальных компонент тензора пластической дисторсии и акустических характеристик и при одноосном растяжении образцов А5М в широком температурном интервале.

Материал и методика исследования. Исследование локализации пластического течения было изучено на поликристаллическом ГЦК сплаве А5М с размером зерна ~ 10 мкм. Плоские образцы с размерами рабочей части $50 \times 10 \times 1$ мм растягивались на испытательной машине при скоростях деформации $10^{-4} - 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ в интервале температур испытаний $-60^\circ\text{C} < T < +45^\circ\text{C}$. Температура испытания варьировалась скоростью продувки рабочей камеры, где находился образец, парами азота из сосуда Дьюара и контролировалась хромель-алюмелевой термопарой. Визуализация и эволюция полос макроскопической локализованной пластической деформации осуществлялась методом двухэкспозиционной спекл-фотографии. Используя данные о распределениях компонент тензора пластической дисторсии с ростом общей деформации образцов рассчитывался коэффициент вариации как отношение стандартного отклонения к средней арифметической величине количества измерений. Одновременно с регистрацией кривых нагружения измерялась скорость ультразвуковых релеевских волн и коэффициент затухания с использованием метода автоциркуляции.

Результаты. Деформационная кривая А1 (рис. 1а, кривая 1) относится к параболическому типу. Для анализа стадий деформационного упрочнения анализировали изменение коэффициента деформационного упрочнения $\theta = d\sigma / d\epsilon$, зависимость которого при нормировании на напряжения σ с ростом общей деформации ϵ показана на рис. 1а (кривая 2). А также с использованием уравнения Людвика по наклону прямых участков графиков в координатах $\ln(\sigma - \sigma_0) - \ln \epsilon$ (где σ_0 - эмпирическая константа) выявляли параболические ($n=0.5$) стадии и предразрушения ($n=0.4$). Численные значения кинематических автоволновых характеристик локализованной пластичности (пространственный период λ) измерялись по $X-t$ диаграммам (X - координата очага локальной деформации, t - время), построенным по данным анализа распределений продольной компоненты тензора пластической дисторсии. График изменения коэффициента вариации локальных удлинений с ростом общей деформации показан на рис. 1а (кривая 3).

Анализ картин распределений локальных удлинений с ростом общей деформации во всем исследуемом температурно-скоростном интервале, показал, что на стадии с показателем параболичности в уравнении Людвика $n = 0.55$ величина λ постоянна, а при $n \leq 0.5$ расстояние между очагами локализации периодически меняется с развитием деформации. На стадии предразрушения, наступающей после стадии параболического деформационного упрочнения, очаги деформации становятся подвижными, в этом случае наблюдается коллапс (схлопывание) автоволны локализованной пластичности. Из всех очагов локализации деформации (рис. 1б) с течением времени сохраняется только тот, положение которого уже при зарождении соответствует месту образования в будущем макроскопической шейки. Появившись еще на стадии параболического деформационного упрочнения, такой очаг начинает притягивать к себе другие вплоть до разрушения, и деформация в нем постепенно растет по мере затухания активности процесса течения в других очагах. Это видно по резкому изменению коэффициента вариации (рис. 1а, кривая 3), величина которого $v > 0.4$ на стадии предразрушения, что отражает существенно неоднородный характер распределения локальных деформаций.

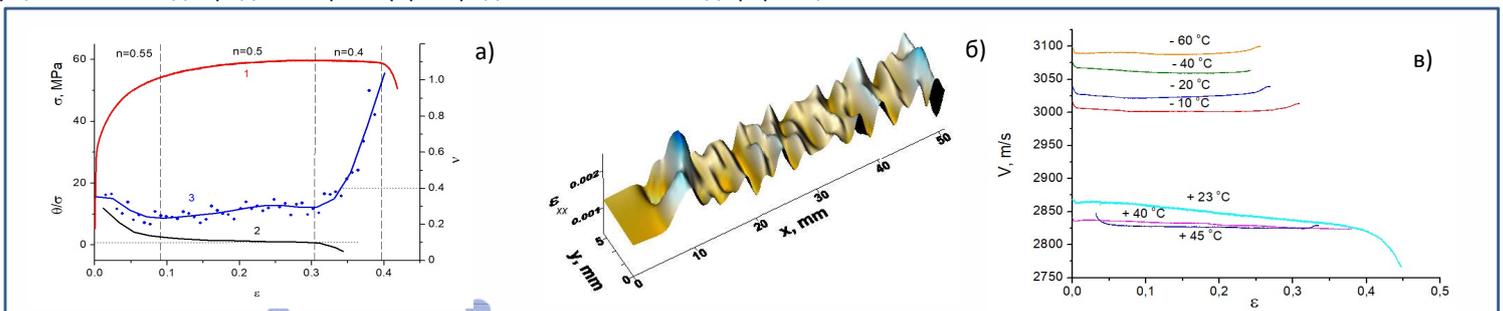


Рис. 1. а) Деформационная кривая $\sigma(\epsilon)$ при комнатной температуре - (1); зависимости нормированного коэффициента деформационного упрочнения θ/σ - (2) и коэффициента вариации v - (3) от общей деформации ϵ ; б) распределение локальных удлинений $\epsilon_{xx}(x, y)$ в образце А1 при общей деформации 0.077; в) изменение скорости распространения ультразвука с ростом общей деформации для разных температур.

На рис. 1в представлены также зависимости изменения скорости распространения ультразвука от величины общей деформации в исследуемом сплаве, из которых видно, что понижение температуры приводит к увеличению скорости ультразвука. На зависимостях скорости волн Рэлея от напряжения течения для разных температур определены критические точки начала пластичности и предразрушения. При каждой температуре испытаний процесс пластического течения происходит по механизму дислокационного скольжения. Увеличение плотности дислокаций, увеличивающийся с понижением температуры, приводят к увеличению локальных внутренних напряжений (напряжений II-го рода) и в итоге к уменьшению скорости ультразвука с ростом деформации и напряжения.

Выводы: Установлены линейные корреляционные зависимости между скоростью ультразвука и механическими свойствами. Показано, что ультразвуковые измерения совместно регистрацией полей деформаций имеют большой потенциал для определения деформационных процессов, происходящих при нагружении металлов при пониженных температурах в режиме реального времени. Как на скорость, так и на затухание ультразвука, а также на характер локализованной пластичности существенное влияние оказывают температура и скорость испытаний, а также степень деформации.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0011.