



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

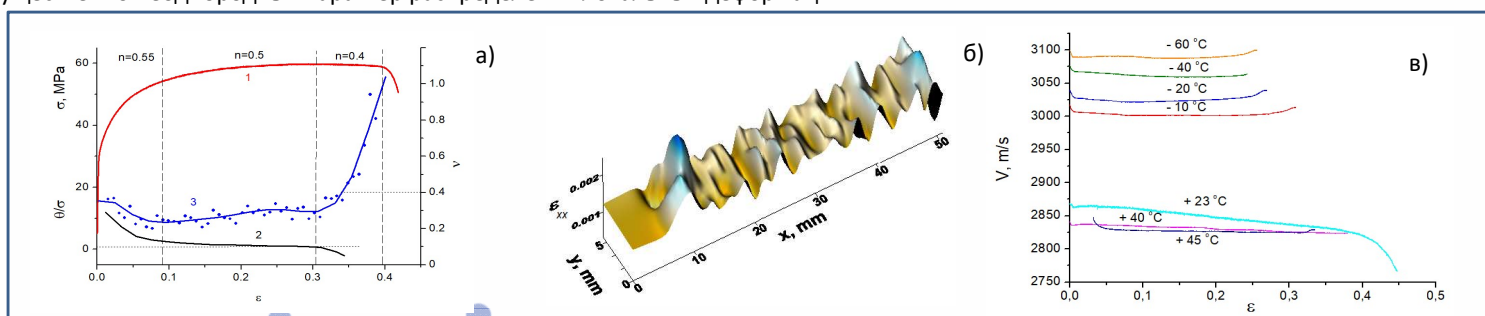
С.А. Баранникова, С.В. Колосов, П.В. Исхакова  
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

**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  $\sim 10$  мкм. Плоские образцы с размерами рабочей части  $50 \times 10 \times 1$  мм растягивались на испытательной машине при скоростях деформации  $10^{-4} - 10^{-3} \text{ c}^{-1}$  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  $\sigma$  с ростом общей деформации  $\epsilon$  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  $\sigma_0$  - эмпирическая константа) выявляли параболические ( $n=0.5$ ) стадии и предразрушения ( $n=0.4$ ). Численные значения кинематических автоволновых характеристик локализованной пластичности (пространственный период  $\lambda$ ) 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  $\lambda$  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  $\theta/\sigma$  - (2) и коэффициента вариации  $v$  - (3) от общей деформации  $\epsilon$ ; 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.