

## **АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ КАК ФАКТОР АКТИВАЦИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ АКТОВ ПРИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕФОРМАЦИИ АЛЮМИНИЯ**

**Макаров С.В., Плотников В.А., Лысиков М.В.**

*Алтайский государственный университет  
г. Барнаул, Россия, E-mail: Plotnikov@phys.asu.ru*

### **Введение**

Акустическая эмиссия, представляющая собой один из каналов диссипации энергии, выступает также как активный фактор, влияющий на эволюцию кристаллической среды. Результаты многих экспериментов [1,2] по немонотонной деформации кристаллических структур позволяют считать акустическую эмиссию как фактор корреляции элементарных деформационных актов в процессах пластической деформации, активизирующей элементарные пластические сдвиги наряду с механическими напряжениями и тепловыми флуктуациями.

Концепция активной роли акустической эмиссии в процессах пластической деформации кристаллической среды, находящейся в слабоустойчивом состоянии, позволяет обосновать основные эффекты в ходе пластического течения, например, эффект локализации деформации в макроскопическом масштабе, а также связь пластических сдвигов с действием не только тепловых флуктуаций, но и акустических колебаний, локализованных на этих масштабах.

Особое состояние кристаллической решетки, именуемое слабоустойчивым, которое связано с состоянием атомного ансамбля в поле механических напряжений и тепловых флуктуаций, совместное действие которых позволяет преодолеть потенциальный барьер разрыва связи [3], необходимо дополнить фактором, связанным с акустической эмиссией.

Иными словами, в уравнении для времени ожидания разрыва связи [3] следует учитывать не только работу статических сил, но и работу динамических сил  $U_d$

$$\tau(\sigma, T) = \tau \exp\left(\frac{U_0 - \gamma\sigma - U_d}{kT}\right)$$

Таким образом, эффективный порог активации уменьшается за счет тепловых флуктуаций, за счет работы статических сил, локализованных на структурном элементе, и также за счет работы динамических сил акустической волны. Работа динамических сил акустического импульса оказывает возмущающее действие на совокупность систем скольжения, срабатывание которых будет зависеть от фазы колебаний в акустическом волновом пакете.

### **Экспериментальные результаты**

Механическое нагружение, измерение деформации, температуры и среднеквадратичного напряжения акустической эмиссии проводили с помощью лабораторной установки. Методика измерения на установке описана в работе [4].

Экспериментальные данные по регистрации акустической эмиссии, накоплению деформации в алюминии в температурном интервале нагрева от комнатной и до 600 °С при нагрузке 39 МПа приведены на рисунке 1. Накопление деформации осуществлялось двояким образом: до температуры в 500 °С характер накопления монотонный (область 1 на рис. 16), после 500 °С – накопление деформации осуществлялось скачкообразно в виде последовательности макроскопических деформационных актов, перемежающихся участками с монотонным накоплением деформации (область 2 на рис. 16).

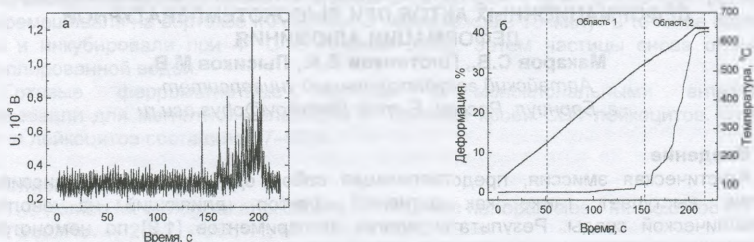


Рисунок 1 – Акустическая эмиссия (а) и накопление деформации (б) при нагреве алюминия в условиях действия механической нагрузки в 39 МПа

Такому характеру накопления деформации соответствует два вида спектров акустической эмиссии (рис. 2 а, б). Методика анализа спектральной плотности сигналов акустической эмиссии изложена в работе [5]. На рисунке 2а представлен спектр сигналов акустической эмиссии, характерный для монотонного накопления деформации и монотонной акустической эмиссии, а на рисунке 2б приведен спектр сигналов акустической эмиссии для скачкообразного накопления деформации и импульсной акустической эмиссии.

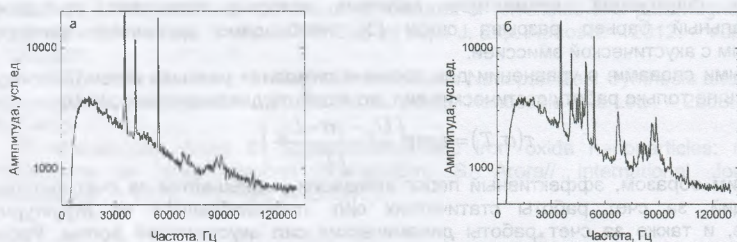


Рисунок 2 – Частотный спектр акустической эмиссии системы образец – волновод для монотонного (а) и скачкообразного (б) накопления деформации

Согласно приведенным на рисунке 2 а, б данным спектральная плотность сигналов акустической эмиссии в системе образец – волновод представлена системой дискретных линий, распределенных в низкочастотном диапазоне частот. Спектральная плотность сигналов акустической эмиссии для монотонного накопления деформации представлена тремя спектральными линиями, расположенными ниже 60 кГц, и слабо выраженной областью около 90 кГц. В то же время спектральная плотность сигналов акустической эмиссии для скачкообразной области характеризуется существенным усложнением спектра, появлением новых спектральных линий, хорошо разрешимых, в том числе и около 90 кГц. В таблице 1 приведены измеренные и рассчитанные параметры резонаторов системы образец – волновод для всей совокупности спектральных линий, характеризующих процесс накопления деформации в алюминии. Расчет геометрических параметров резонаторов осуществлялся исходя из условия стоячей волны  $2L=k\lambda$  ( $\lambda$  – длина волны).

В системе образец – волновод для нас важен резонатор, связанный с образцом, представляющим собой участок волновода длиной 30 мм, выполненный как концентратор напряжений, на котором локализуется деформация. Как следует из расчёта, согласно условию стоячей волны, на продольных волнах резонатор, отвечающий этому участку, возможно, формирует стоячие волны на частотах 67,4 кГц,

86 кГц, 88,5 кГц. Наиболее вероятно возбуждение стоячих сдвиговых волн в этом резонаторе на первых гармониках.

Дискретный характер спектральной плотности сигналов акустической эмиссии свидетельствует, что наша система образец – волновод представляет собой резонансную систему, состоящую из нескольких резонаторов, распределяющих колебательную энергию, как акустического шума, так и первичных элементарных излучателей акустической эмиссии по нашим спектральным диапазонам в виде стоячих продольных и поперечных волн. Это означает, что представленные спектры акустической эмиссии является вторичным эффектом по отношению к первичному акустическому сигналу. Согласно нашим публикациям первичным источником акустической эмиссии является выход на поверхность ансамбля дислокаций одной системы скольжения, формирующих одну полосу деформации [6].

### **Заключение**

Введя понятие слабоустойчивого состояния кристаллической решетки, будем считать такое состояние кристаллической среды как активная среда [5,7]. В слабоустойчивом состоянии кристаллической решетки активация элементарных пластических сдвигов может быть осуществлена в результате совместного действия статических сил, тепловых флуктуаций и динамических сил стоячих акустических волн.

Проведенный анализ низкочастотного спектра акустической эмиссии при высокотемпературной пластической деформации алюминия свидетельствует, что его дискретный вид обусловлен перераспределением колебательной энергии первичного акустического сигнала по резонансным колебаниям стоячих волн резонаторов. В слабоустойчивой кристаллической среде колебания стоячей волны активируют элементарные деформационные сдвиги в некотором объеме, связанном с длиной стоячей волны, определяющей макроскопический масштаб корреляции. В то же время коррелированные деформационные сдвиги генерируют акустические сигналы, отвечающие условию когерентности, в результате интерференции которых формируется единичный акустический сигнал аномально высокой амплитуды.

### **Список литературы**

1. Зуев Л.Б., Данилов В.И., Горбатенко В.В. Автоволны локализованной пластической деформации // ЖТФ. – 1995. –Т. 65, № 5. – С. 91–103.
2. Песчанская Н.Н., Смирнов Б.И., Шлейзман В.В. Скачкообразная микродеформация наноструктурных материалов // ФТТ. – 2008. – Т. 50, № 5. – С. 815–819.
3. Макаров С.В., Плотников В.А., Потекаев А.И. // Изв. Вузов. Физика. –2011. – т.54, № 3. – С. 47–54.
4. Плотников В.А., Макаров С.В. Акустическая эмиссия и деформационные процессы в алюминии при высоких температурах // Известия вузов. Физика. – 2005. – №11.
5. Макаров С.В., Плотников В.А., Потекаев А.И. Спектральная плотность сигналов акустической эмиссии и макроскопическая корреляция деформационных актов в слабоустойчивом состоянии кристаллической решетки при высокотемпературном нагружении алюминия // Изв. Вузов. Физика. – 2014. – № 3.
6. Малыгин Г.А. Процессы самоорганизации дислокаций и пластичность кристаллов // УФН.–1999.–Т. 169, № 9.–С. 979–1010.
7. Бовенко В.Н. Синергетические эффекты при пластической деформации и разрушении кристаллов // Изв. АН СССР. Серия физическая. – 1986. – Т. 50, № 3. – С. 509–512.