

**Секция**  
**УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ И АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ  
МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ**

*Б.С. Семухин*  
*г. Томск, Россия*

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (ИФПМ СО РАН)*  
*Адрес: 634021, г. Томск, пр. Академический 2/1*  
*Телефон: +7 (3822) 49-18-81; Факс +7 (3822) 49-25-76*  
*E-mail: bss@ispms.tsc.ru*

*Предложен новый неразрушающий способ определения временного сопротивления материалов. Идея метода опирается на универсальную зависимость, связывающую координаты сигналов акустической эмиссии (САЭ), и их время возникновения с величиной отношения действующих напряжений и временного сопротивления материала. На широком круге материалов – чистых металлах, сталях, керамике показано действие этой зависимости. Приведено сравнение рассчитанных и экспериментальных значений напряжений, наблюдается хорошее согласие.*

Акустико-эмиссионный метод широко используется в качестве одного из основных дефектоскопических методов с целью определения места нахождения и размера того или иного дефекта типа трещина или несплошность. Однако до настоящего времени не было работ посвященных попытке оценить действующие напряжения в точке возникновения сигнала акустической эмиссии, по каким либо характеристикам спектра сигналов, координатам и т. д.

Поликристалл, нагруженный внешним устройством, представляет собой мозаику напряженных областей микроскопического масштаба, связанных с концентраторами напряжений, в области которых генерация дислокационных сдвигов оказывается более вероятной. Каждый сдвиг при этом рассматривается как скачкообразный релаксационный процесс. Релаксационный скачок сопровождается излучением упругих импульсов (акустической эмиссией – АЭ). Таким образом, состояние напряженного материала характерно тем, что в системе упруго напряженных концентраторов блуждают случайные упругие импульсы, наложение которых на статические поля концентраторов повышает вероятность релаксационных актов пластической деформации [1]. При одновременном движении миллионов дислокаций в период течения образца, сгенерированные волны напряжений накладываются и дают значительную, так называемую непрерывную эмиссию. При малых скоростях деформации образца возбуждаемая эмиссия сравнима с фоновым шумом, однако по мере роста скорости деформации число сигналов и их амплитуды возрастают. АЭ при пластической деформации отличается от импульсной эмиссии тем, что в первом случае индивидуальные источники являются практически неразличимыми во времени. В отличие от этой эмиссии, импульсы дискретной АЭ при пластической деформации материалов возникают в результате потери сдвиговой устойчивости на микроуровне в локальных зонах кристаллической решетки не за счет движения небольших групп дислокаций в плоскостях легкого скольжения или движения диссипативных структур в виде дислокационных ансамблей, а в результате перемещения в материале различных объемных структурных элементов – блоков, субзерен, зерен, их конгломератов.

Об этом в работах Слущера и Журкова говорится как о последовательности элементарных актов, описываемых экспоненциальной зависимостью долговечности материала от напряжений [2–4] Поэтому для определения характеристики, свидетельствующей о процессе разрушения, необходимо фиксировать именно сигналы дискретной АЭ в диапазоне частот, соответствующих размерам этих структурных элементов.

В настоящей работе предлагается новый метод определения временного сопротивления в процессе испытания образца, основанный на определении координат возникновения импульсов дискретной АЭ и связи их с напряжениями.

### Материалы и методика эксперимента

В работе были исследованы акустико-эмиссионные спектры большого количества материалов при испытании на растяжение и сжатие вплоть до разрушения. Для анализа использовали шесть видов низкоуглеродистых сталей, имеющих широкое применение в промышленности. В качестве модельного материала был исследован чистый кобальт. Из неметаллических материалов была выбрана керамика на основе диоксида циркония, успешно внедряемая в промышленность.

Для определения мест возникновения упругих импульсов использовали следующую технику.

Приемно-усилительный блок:

Полоса принимаемых частот, по уровню –3 дБ	0,2–2 МГц
Коэффициент предварительного усиления, не менее	10
Отношение сигнал/шум, не менее	12 дБ

Блок АЦП:

Шина интерфейса ПК	PCI
Потребляемая мощность +5В, не более	1,5 А
Число аналоговых входов	2 синхронных (2 независимых АЦП)
ВХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ (ИМПЕДАНС)	50 Ом (75, 93 Ом)
Ширина полосы пропускания (–3 дБ)	40 МГц
Диапазоны входного напряжения	±2 В; ±1; ±0,4 В; ±0,2 В
Максимальное входное напряжение	±4 В
Разрешение АЦП	12 бит
Максимальная частота дискретизации	50 МГц

В эксперименте на растяжение использовали образцы, выполненные в форме двойной лопатки, образцы керамики на сжатие имели прямоугольную форму. Образцы испытывали на машине INSTRON11–85, обладающей низким уровнем механических шумов, при скорости растяжения  $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$  с одновременной регистрацией сигналов АЭ (САЭ). В приведенной схеме испытаний преобразователи АЭ устанавливаются на поверхности образца на максимально возможном расстоянии друг от друга вблизи захватов.

### Результаты эксперимента

Вид типичной картины распределения по образцу САЭ в процессе деформации приведен на рис. 1 для малоуглеродистой стали. Хорошо прослеживаются все стадии пластической деформации и связанные с ними САЭ – упруго-пластический участок, площадка текучести, стадия параболического упрочнения. Видно, например, что при достижении упругопластической стадии деформации возникают отдельные локальные сигналы АЭ, первые максимумы интенсивности АЭ регистрируется в области микротекучести (ниже предела текучести).

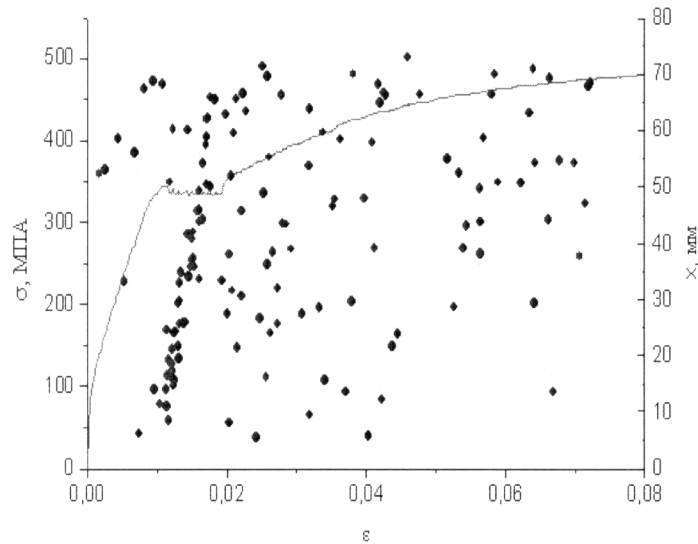


Рис. 1. Диаграмма деформации и координаты сигналов АЭ для стали М16С

Известно, что коэффициент запаса прочности какого-либо элемента конструкции равен отношению предельной нагрузки, вызывающей потерю прочности элемента, к нагрузке, создающей допустимое напряжение. Введем этот коэффициент и построим унифицированные зависимости – безразмерные координаты [5], связывающие координаты и время САЭ и величину отношения напряжений к величине временного сопротивления, взятую из эксперимента по деформации вплоть до разрушения того или иного материала. На рис. 2 и приведена зависимость для сталей и чистых металлов. Аппроксимируя параболой такие зависимости, получаем простую связь координат и времени возникновения САЭ с напряжениями. Это зависимость связана с параметрами, соответствующими зависимости, описывающей процессы типа пластической деформации, где происходит иерархическое соподчинение пространственных структур, принадлежащих крупномасштабным уровням – блокам, границам зерен, границам разориентации [6].

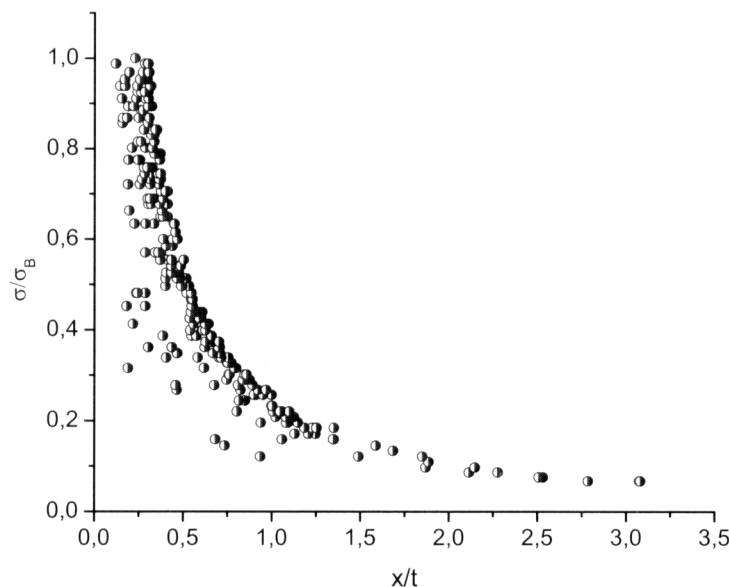


Рис. 2. Экспоненциальная зависимость коэффициента запаса прочности  $\sigma/\sigma_B$  от времени и координат сигналов АЭ для сталей (М16С, 09Г2С, 15ХСНД, СТ20, 17Г1СУ, 40Х13), Со, Д1, ОТ4, ZrO<sub>2</sub>

На рис. 3 представлен график, связывающий рассчитанные и экспериментально определенные значения временного сопротивления для различных материалов. Коэффициент корреляции достаточно высок, что позволяет считать данный способ применимым для определения временного сопротивления реально работающих под нагрузкой изделий и конструкций. По изменению временного сопротивления в процессе длительной эксплуатации, несомненно, возможен мониторинг таких конструкций и изделий.

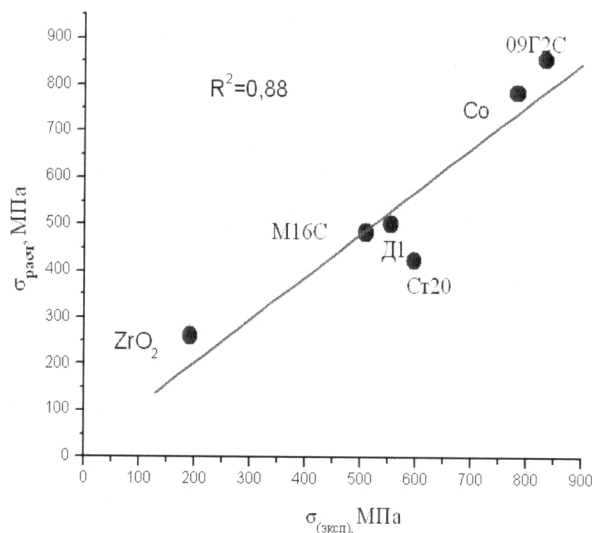


Рис. 3. Рассчитанное по АЭ значение временного сопротивления и определенное экспериментально

Таким образом нами впервые предложен способ определения механических характеристик поликристаллических материалов, работающих в экстремальных условиях с помощью стандартной акустико-эмиссионной аппаратуры.

#### Список литературы

1. Zuev L.B., Semukhin B.S., Bushmelyova K.I., Zarikovskaya N.V. On the acoustic properties and plastic flow stages of deforming Al polycrystals // Material Letters. – 2000. – V. 42. – № 1–2. – P. 97–10.
2. Н. Журков. Вестн. АН СССР 11, 78 1957.
3. В.Р. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский. Кинетическая природа прочности твердых тел. – М.: Наука, 1974. – 560 с.
4. А.И. Слуцкер. Характеристики элементарных актов в кинетике разрушения металлов // Физика твердого тела. – 2004. – Том 46. – Вып. 9.
5. Г.А. Малыгин. Анализ параметров субмикронной дислокационной структуры в металлах при больших пластических деформациях // Физика твердого тела. – 2004. – Том 46. – Вып. 11.
6. А.А. Кацнельсон, М.А. Князева, А.И. Олемской. Кинетика  $\beta \rightarrow \alpha$  превращения и иерархичность дефектов структуры в двухфазном состоянии в системе Pd-H // Физика твердого тела. – 1999. – Том 41. – Вып. 9.