

# ВЛИЯНИЕ ТИПА КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ НА АКУСТИЧЕСКУЮ ЭМИССИЮ ПРИ ИНДЕНТИРОВАНИИ ОБРАЗЦОВ ПОСЛЕ РАСТЯЖЕНИЯ И СЖАТИЯ

Волков А.Е., Черняева Е.В.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург  
[lena@smel.math.spbu.ru](mailto:lena@smel.math.spbu.ru)

Известно, что акустическая эмиссия (АЭ) при деформировании металлов с ГПУ решеткой во много раз больше, чем в случае металлов с решеткой ГЦК [1]. Это связано разным механизмом деформации – скольжение с ОЦК металлах, и двойникование – в металлах с ГПУ решеткой. Как правило, исследования АЭ проводятся во время активного деформирования, например, растяжения образцов [2, 3]. Однако совмещение метода АЭ с кинетическим индентированием позволяет получить аналогичные результаты [4, 5].

В настоящей работе проведено исследование влияние типа кристаллической решетки на АЭ при индентировании образцов, подвергнутых разрушению при одноосном растяжении, и после деформирования сжатием до потери устойчивости.

В качестве материалов для исследования были выбраны: титановый сплава ВТ1–0 (ГПУ решетка) и сталь 20 (ГЦК). Из горячекатаных листов стали 20 толщиной 2 мм и сплава ВТ1–0 толщиной 1, 56 мм были изготовлены плоские стандартные образцы с рабочей частью 20x4 (для растяжения) и 10x4 мм (для сжатия). После деформирования все образцы были подвергнуты индентированию твердосплавным коническим индентором по всей длине с записью сигналов акустической эмиссии (АЭ). Максимальная нагрузка на индентор составляла 1000Н. Результаты исследования приведены на рис.1, 2.

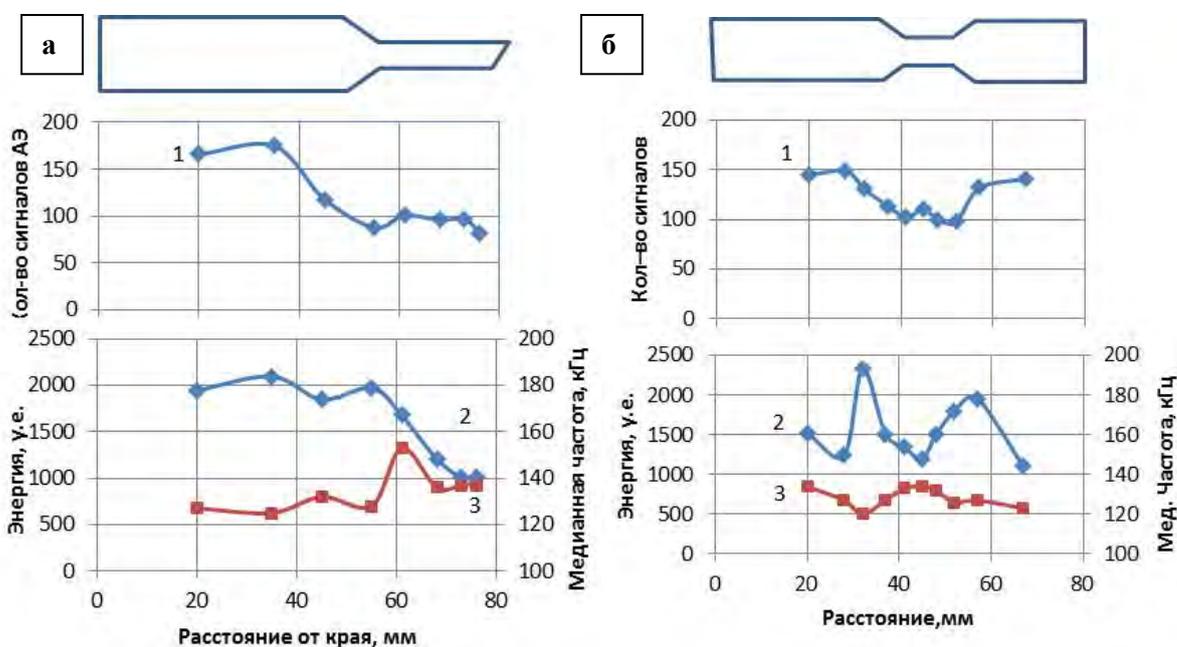
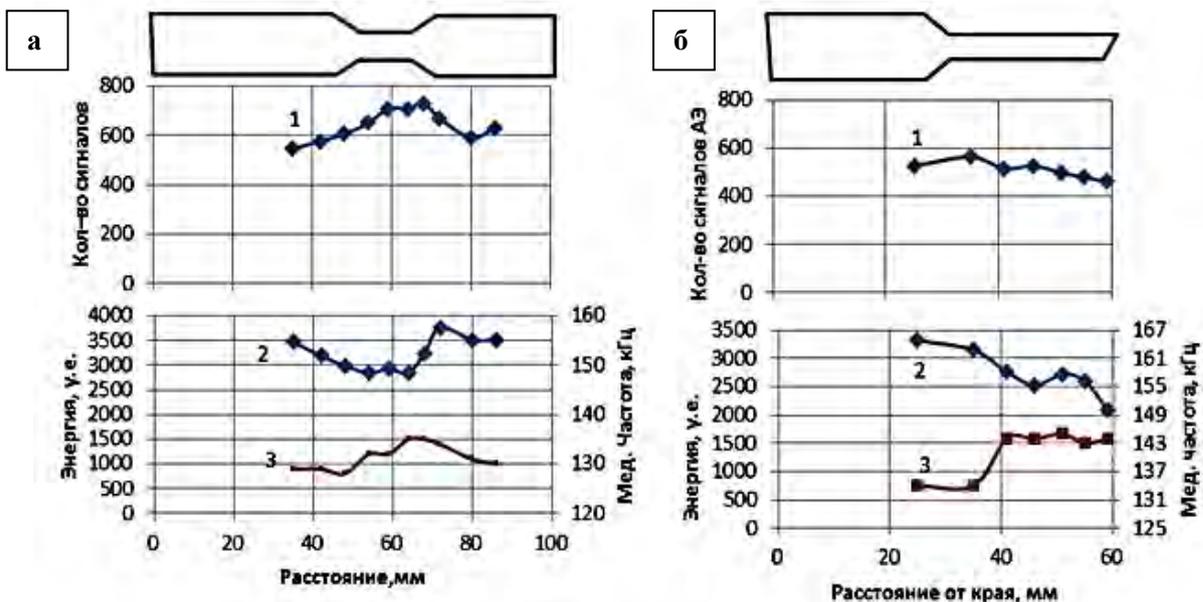


Рис.1. Количество сигналов АЭ (1), их энергия (2) и медианная частота (3) при индентировании образцов стали 20 после растяжения (а) и сжатия (б)



**Рис.2.** Количество сигналов АЭ (1), их энергия (2) и медианная частота (3) при индентировании образцов сплава ВТ1–0 после сжатия (а) и растяжения (б)

Как видно из приведенных рисунков, поведение обоих металлов при разрушении в результате одноосного растяжения обнаруживает одинаковые черты – уменьшение количества сигналов АЭ и их энергии и увеличение медианной частоты, т.е. смещение спектров сигналов в сторону высоких частот. Ранее, аналогичные результаты были получены на образцах стали 20 разных размеров и способов получения [6]. Такое поведение АЭ может быть связано с увеличением деформационного упрочнения (поврежденности) металла и, как следствие, с уменьшением как подвижности, так и пробега дислокаций, являющихся источником АЭ.

Рассмотрим теперь случай сжатия. Здесь между сталью 20 и сплавом ВТ1–0 наблюдаются существенные различия. В стали 20 для обеих схем деформирования наблюдается похожее поведение АЭ (уменьшение количества сигналов АЭ и их энергии и увеличение медианной частоты в зонах, подвергнутых максимальным воздействиям), что свидетельствует об одинаковом механизме деформации в обоих случаях. Обращает на себя внимание, что энергия сигналов АЭ при сжатии распределена не равномерно по длине образца, а образует симметричные пики по обе стороны рабочей части (кривая 2 на рис.1 б). Скорее всего, это объясняется неравномерностью распределения зон нерелаксированных напряжений, образующихся при сжатии и сопровождающем его изгибе вследствие потери устойчивости [6, 7]. Большое количество зон внутренних напряжений релаксирует при развитии разрушения. При сжатии образцы не доводили до разрушения, поэтому при последующем индентировании источниками АЭ служили как сохранившиеся после сжатия напряженные объемы, так и формирующиеся непосредственно при индентировании.

В случае титанового сплава характер АЭ при растяжении и сжатии различен. Если в зоне разрушения, как и в случае стали 20, количество сигналов АЭ и их энергия уменьшается, то в области сжатия наблюдается резкое увеличение количества сигналов, хотя энергия их ниже, чем в исходном материале. Это можно объяснить особенностями кристаллической ГПУ решетки. Деформирование ГПУ металлов происходит как путем скольжения, так и путем двойникования [8,9]. При растяжении и сжатии работают разные системы двойникования [10]. При сжатии двойникование идет легче и раньше, чем при растяжении, т.е. по отношению к деформации скольжением составляет больший процент. Двойники могут образовывать обширные зоны нерелаксированных напряжений, индентирование которых и может привести к появлению «лишних» сигналов АЭ. Однако двойники

являются эффективными препятствиями для движения дислокаций. Их появление приводит к скоплению и торможению дислокаций на границах двойников [11]. Это и приводит к уменьшению энергии сигналов АЭ в зоне сжатия.

Таким образом, поведение АЭ при индентировании ГПУ и ГЦК–металлов различно для случаев разрушения при одноосном растяжении и при сжатии. Уменьшение энергии сигналов АЭ в обоих случаях может быть связано с деформационным упрочнением металлов, т.е. с уменьшением подвижности дислокаций. Увеличение количества сигналов в области сжатия ГПУ– сплава ВТ1–0 может быть связано с образованием дополнительных зон нерелаксированных напряжений при двойниковании.

### Список литературы

1. Tanaka H., Horiuchi R. Acoustic emission due to deformation twinning in titanium and Ti-6Al-4V alloy // *Scr. Met.*, 1975, 9, N 7, p.777-780
2. Грешников В.А., Дробот Ю.Б. Акустическая эмиссия. -М.: Изд-во стандартов, 1976.-276с.
3. Иванов В.И., Белов В.М. Акустико-эмиссионный контроль сварки и сварных соединений. - М.: Машиностроение, 1981.- 184с.
4. Д.Л. Мерсон, Е.В.Черняева, Д.Е. Мещеряков Совмещение методов акустической миссии и индентирования как эффективная методика экспресс контроля текущего состояния материалов и покрытий // *Материалы в автомобилестроении. Ч.1. Металлические материалы. Сб. докл. III Международ. научно-практ. конф. (19-20июня 2008 г.) – Тольятти, 2008. – С.482-489*
5. Черняева Е.В., Мерсон Д.Л., Хаймович П.А.Акустическая эмиссия в чистых металлах//Сб. материалов VI Международ. науч. конф. "Прочность и разрушение материалов и конструкций" (20-22 октября 2010 г. Оренбург)- Оренбург, 2010. - с.617-623.
6. Черняева Е.В., Мерсон Д.Л., Бигус Г.А., Галкин Д.И. Применение метода акустической эмиссии для неразрушающего контроля состояния основного металла и сварных соединений трубопроводов, работающих в условиях малоциклового усталости //Сварка и диагностика, 2010. - №2. – С.50-57
7. Черняева Е.В., Мерсон Д.Л. Влияние времени «вылеживания» образцов из стали 20, подвергнутых усталостным испытаниям, на параметры акустической эмиссии при индентировании /Матер. 51-й междунар. конф. «Актуальные проблемы прочности» (16-20 мая 2011 г., Харьков), Харьков, 2011 – с. 245
8. M.H. Yoo. Slip, twinning and fracture in hexagonal close-packed metals // *Metallurgical Transactions A*. 1981, V.12A, # 3, p.409-418
9. N.Munroe, X.Tan. Orientation dependence of slip and twinning in HCP metals // *Scripta Materialia*. 1997, V.36. N 12, p/ 1383-1386
10. Т.П. Черняева, В.М.Грицины. Характеристики ГПУ–металлов, определяющие их поведение при механическом, термическом и радиационном воздействии // *Вопросы атомной науки и техники*, 2008, № 2. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (92), с.15–27
11. К.В.Мацюкб П.В.Трусов «Модель для описания упруговязкопластического деформирования ГПУ–кристаллов: несимметричные меры напряженно–деформированного состояния, законы упрочнения. // *Вестник ПНИПУ. Механика.*, 2013 г., №4. – С.75–105