

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ И АНИЗОТРОПИЯ ТВЕРДОСТИ ПРИ ЦАРАПАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛА АЛЮМИНИЯ

Афанасьев М.А.^{1)*}, Данюк А.В.¹⁾, Мерсон Д.Л.¹⁾, Виноградов А.Ю.^{1, 2)}

¹⁾ Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия;

²⁾ Норвежский университет естественных и технических наук, Тронхейм, Норвегия.

* maxwel-i@yandex.ru

В работе рассмотрено поведение акустической эмиссии (АЭ) при изменении направления действующих систем скольжения в монокристалле алюминия. Для проведения эксперимента был подготовлен образец монокристалл алюминия с площадью поверхности для испытания более 120 мм². Поверхность для испытания была отполирована по процедуре подготовки для EBSD (electron back scattered diffraction) и ориентирована близко к кристаллографической плоскости (001). Особенностью чистого алюминия является высокая величина энергии дефекта упаковки, благодаря чему в нем при комнатной температуре реализуется исключительно дислокационный механизм деформации (работа систем двойникования исключена).

Методика эксперимента

Смена действующих систем скольжения было реализовано на трибометре Nanovea TRB-50N. Использовался конический индентор с радиусом при вершине 100 мкм который перемещался по окружности под постоянной нагрузкой 2Н. Такая методика позволяет за один оборот произвести скрайбировании поверхности во всех кристаллографических направлениях.

Сигнал АЭ регистрировался широкополосным пьезоэлектрическим преобразователем NF AE-900S WB в полосе частот от 100 до 900 кГц, подключенного через малозумящий усилитель РАС 2/4/6 с усилением +60 дБ. Запись АЭ выполнялась платой РАС (Physical Acoustic Corporation, США) PCI-2, которая была настроена на непрерывную запись сигнала (режим непрерывной беспороговой записи) с дополнительным усилением +6 дБ и полосовой фильтрацией 10÷1000 кГц, частота дискретизации цифровой записи составляла 2 МГц.

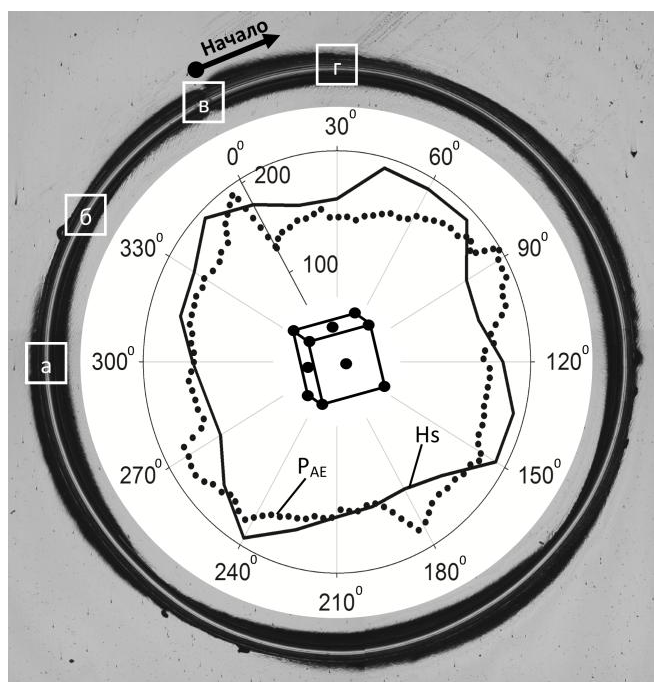


Рисунок 1 - След от индентора после испытания, ориентация элементарной ячейки монокристалла алюминия (в центре); диаграмма: твердость при царапании H_s , МПа (сплошная линия), мощность акустической эмиссии, $10 \times P_{AE}$, мкВ²/ом (пунктирная линия).
а, б, в, г – места расположения кадров, приведенных на рисунке 2.

Положение индентора в начальный момент испытания соответствует точке 0 градусов на рис.1. Было произведено два оборота с непрерывной регистрацией АЭ. Диаметр окружности деформированного материала по средней линии составлял 4,35 мм. Линейной скорости перемещения индентора около 41 мм/мин (683 мкм/с). Так же на рис. 1 приведена диаграмма твердости при скрайбировании H_s и мощность АЭ $P_{АЭ}$ в полярных координатах. Хорошо заметна 90-градусная анизотропия, связанная с кристаллографической ориентацией монокристалла, элементарная ячейка приведена в центре рис. 1.

На рис. 2 представлена последовательность из четырех снимков с шагом тридцать градусов полученная с помощью интерферометра Zygo-9100, на которых были обнаружены линии скольжения в области малой деформации. Данные линии скольжения соответствуют четырем кристаллографическим плоскостям $\{111\}$, в которых происходит скольжение. По размеру линий скольжения и их удаленности от следа индентора можно судить о легкости скольжения и соответственно о твердости направления скрайбирования. Например, в направлении 330° (рис. 2 б) следы двух плоскостей скольжения практически совпадают с направлением скрайбирования, а две другие – ему перпендикулярны, что существенно ограничивает скольжение и деформацию. То есть это направление является самым твердым. В отличие от направлений 300° , 0° , 30° (рис. 2 а, в, г) которые являются относительно мягкими.

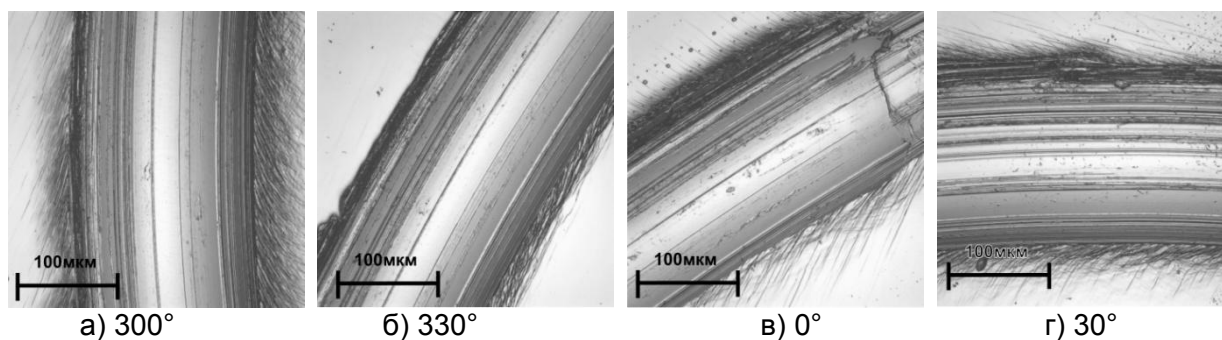


Рисунок 2 - Линии скольжения на поверхности образца в зависимости от направления скрайбирования, расположение снимков на окружности царапания указано на рис. 1.

Данные полученные после обработки сигнала АЭ приведены на рис.3. Это средняя мощности и медианной частоты (частота, делящая площадь под кривой мощности спектральной плотности на две равные части) для скользящего интервала длительностью 100 мс.

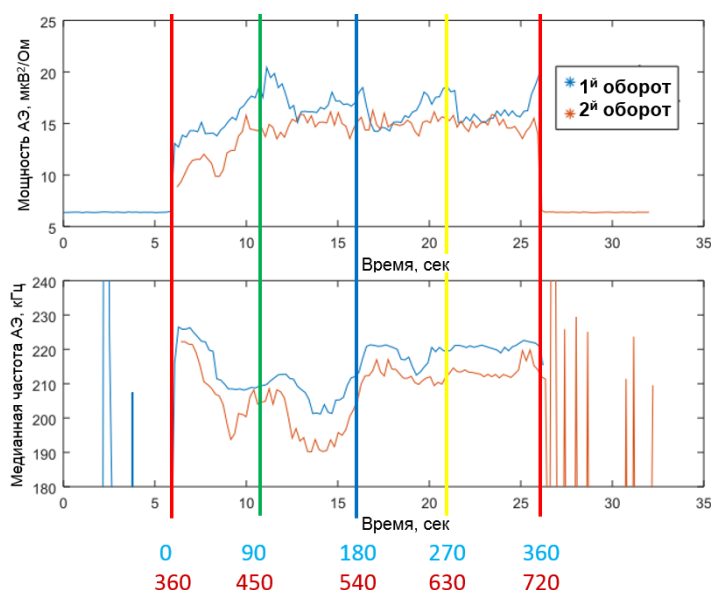


Рисунок 3 - Мощность АЭ и медианная частота от времени, в зависимости от угла поворота.

Из графиков видно, что изменение каждого из параметров АЭ в зависимости от направления скрайбирования на первом и втором обороте происходит практически параллельно и закономерно с периодичностью 90 градусов. Но при этом точки экстремума первого параметра не совпадают со вторым.

Выводы

В работе показано, что при скрайбировании по кругу монокристалла алюминия с постоянно сменой активных системами скольжения $\{111\}\langle 110\rangle$ сигнал АЭ и твердость при царапанье изменяется определенным образом в соответствии с выбранным направлением перемещения индентора в ГЦК решётке. То есть анизотропия монокристалла Al хорошо видна как на изменение параметров АЭ так и на полосах скольжения выходящих на поверхность образца и твердости при царапанье в том числе.

Связь между параметрами скольжения (выхода дислокаций на свободную поверхность) и сигналом АЭ еще предстоит изучить, но уже сейчас можно предположить, что в качестве ключевого параметра в такой модели будет выступать фактор Шмида, величина которого определяет значение критического напряжения срагивания дислокаций.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ в рамках проекта по Госзаданию 11.5281.2017/8.9 и 3.3881.2017/4.6

Список литературы

1. Yu.I. Golovin. Physics of the Solid State. (2008), 50(15), pp. 2205-2236, (in Russian) [Ю.И. Головин, Физика твердого тела, 2008, Т. 50. № 12. С. 2205-2236.], Doi:10.1134/S1063783408120019
2. W.C. Oliver, G.M. Pharr, Journal of Material Reserch. (2011), 19(1), pp. 3-20. Doi:10.1557/jmr.2004.19.1.3
3. A. Vinogradov, M. Nadtochiy, S. Hashimoto, S. Miura, Material Transactions. JIM, (1995), 36, pp.496–503. Doi: 10.2320/matertrans1989.36.496
4. C.B. Scruby, H.N.G. Wadley, J.J. Hill, Journal of Physics D: Applied Physics. (1983), 16(6), pp. 1069–1083. Doi: 10.1088/0022-3727/16/6/015
5. D. Merson, M. Nadtochiy, V. Patlan, A. Vinogradov, K. Kitagawa, Materials Science and Engineering A. (1997), 234- 236, pp. 587–590. Doi: 10.1016/S0921-5093(97)00248-7