



Механизм образования большеугловых границ при пластической деформации поликристалла

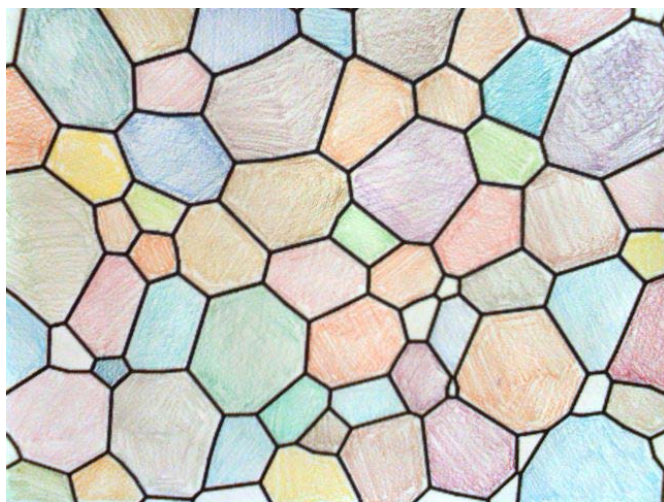
Студент : Ковтун Анна

Группа : 23645/2

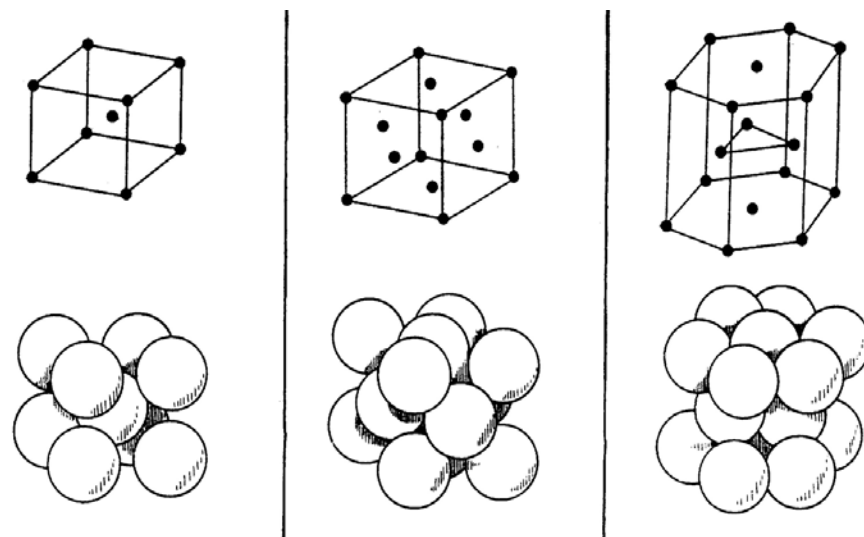
Научный руководитель : к.ф.-м.н., доц. Ермакова Н.Ю.



Строение металлов



Зёрненная структура

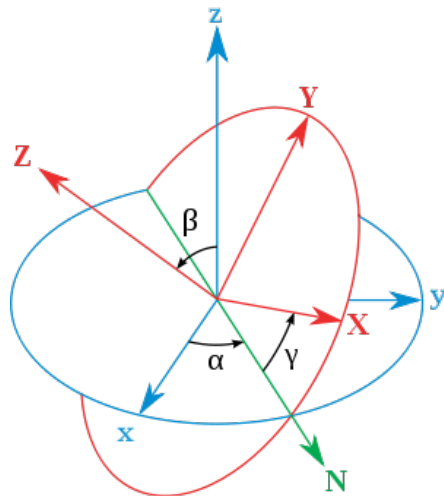


Типы кристаллических решёток



Ориентировка зёрен

- Эйлеровы углы



- Матрица вращения

$$g = \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{vmatrix}$$

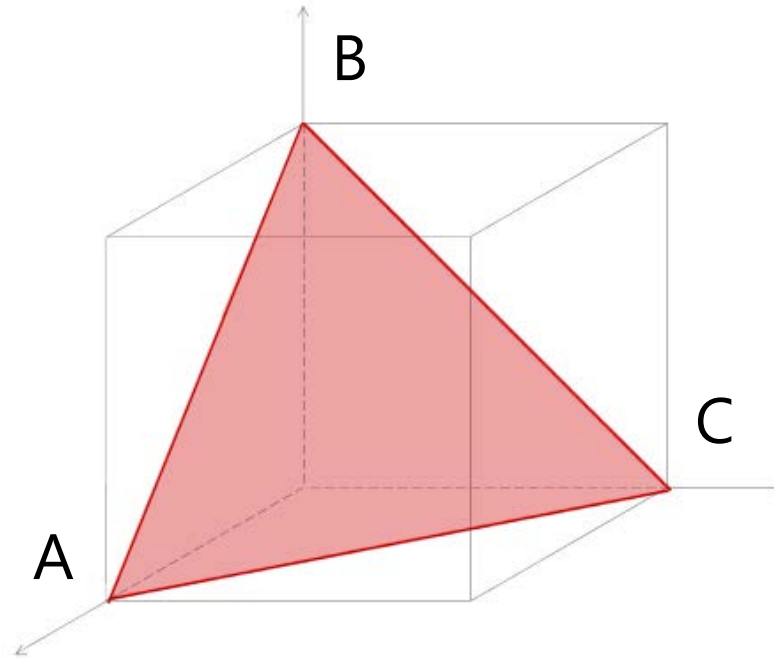
$$\vec{X}' = g\vec{X}$$



Закон Шмида

$$\tau_{cr} = \sigma_0 \sin \chi_0 \cos \lambda_0$$

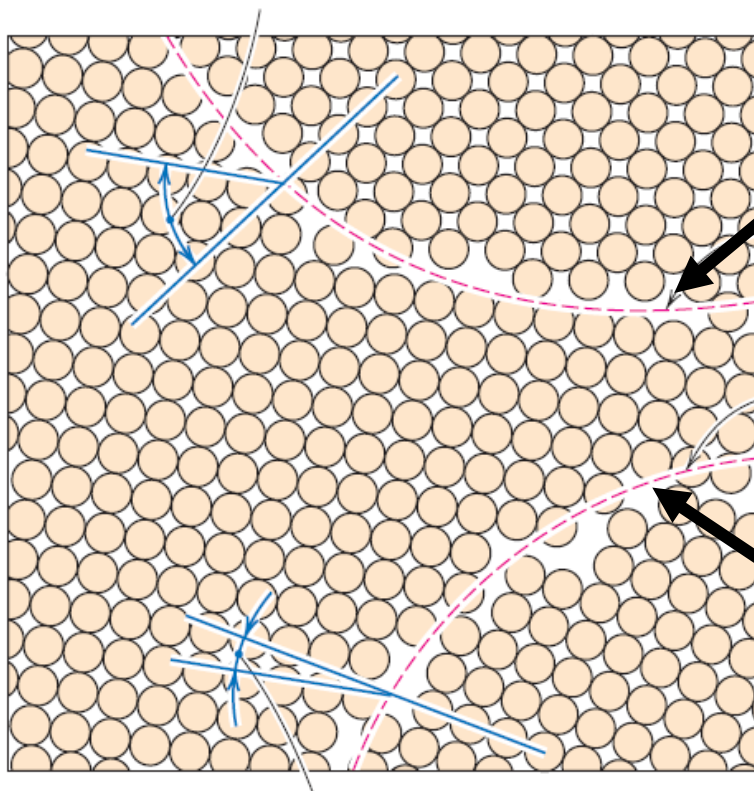
где σ_0 – напряжение при сжатии, χ_0 – начальный угол между плоскостью скольжения и осью сжатия, а λ_0 – начальный угол между направлением скольжения и осью сжатия



Наиболее плотноупакованная плоскость и направления скольжения в ГЦК кристаллах



Границы зерен



Большеугловые $> 15^\circ$

Малоугловые $< 15^\circ$

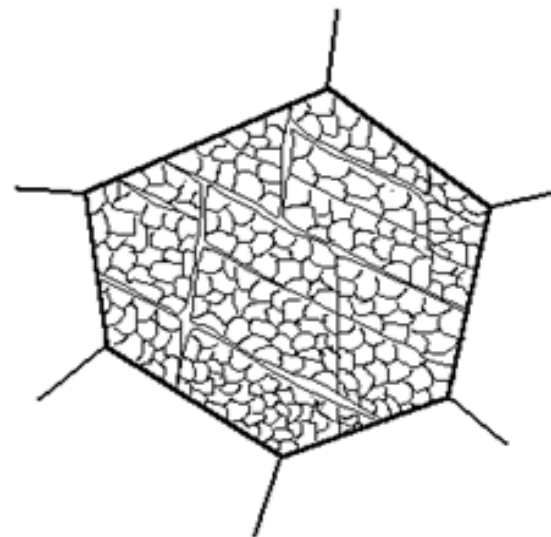


Фрагментация

Ячеистая структура $\varepsilon \sim 0.1-0.2$



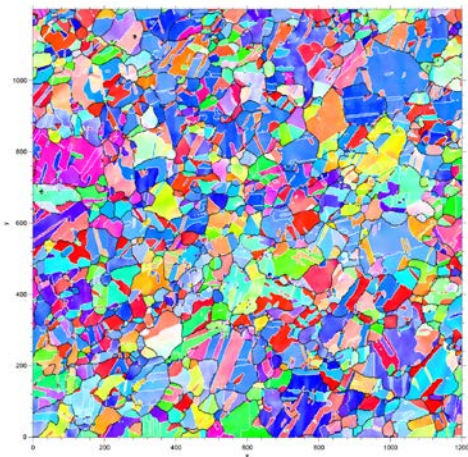
Фрагментированная структура $\varepsilon > 0.2$



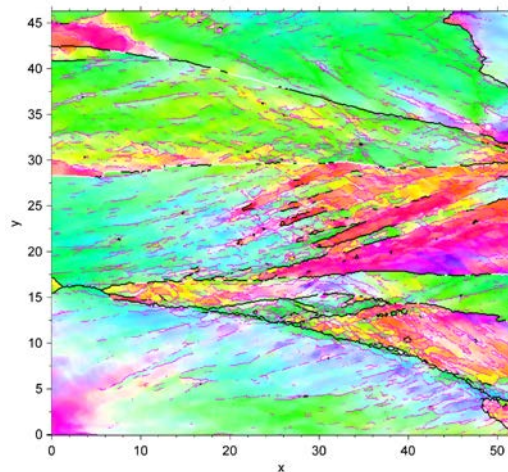


Ориентационные карты

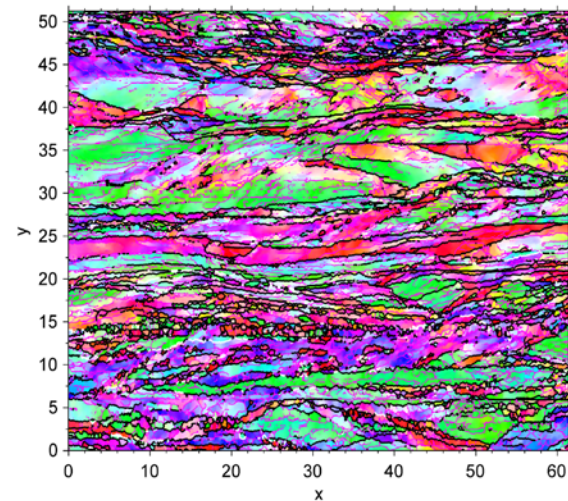
Сжатие Cu



$\epsilon=0$



$\epsilon=1$



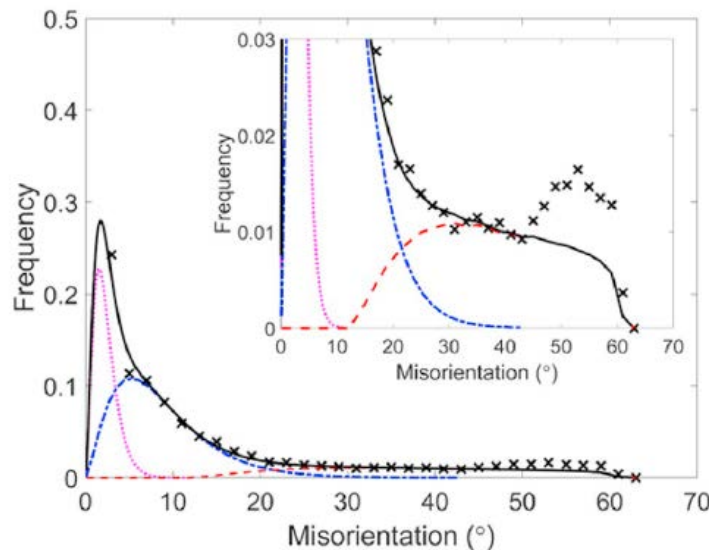
$\epsilon=2$



Границы деформационного происхождения

— геометрически
необходимые границы

— “случайные”
дислокационные границы



*Zolotarevsky N.Yu., Rybin V.V., Matvienkoa A.N., Ushanova E.A., Philippov S.A. Misorientation angle distribution of deformation-induced boundaries provided by their EBSD-based separation from original grain boundaries: Case study of copper deformed by compression

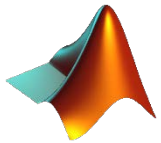


Постановка задачи

- Моделирование разориентаций в процессе пластической деформации случайного зерна
- Определение значений углов, при которых меняется набор активных систем скольжения и построение гистограммы на основе полученных данных
- Сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными данными



Моделирование пластической деформации



MATLAB

Тензор макроскопической деформации

$$D = \begin{vmatrix} 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{vmatrix}$$

- Модель Тейлора

$$\sum |\dot{\gamma}| = \min$$

- Одна система скольжения

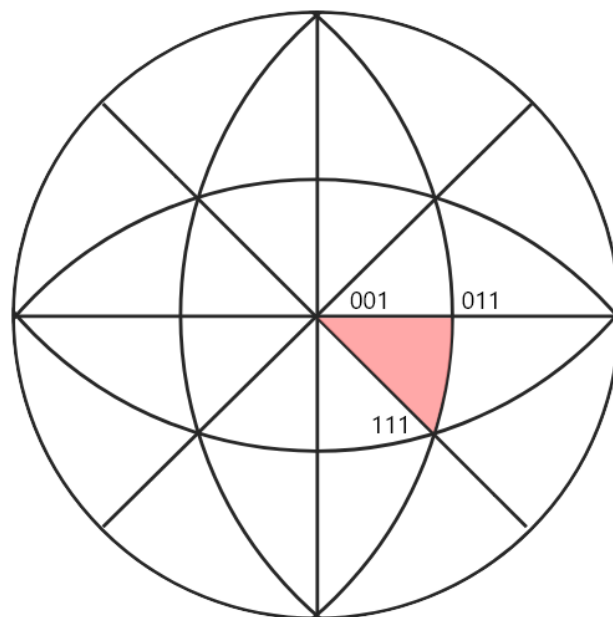
$$\mathbf{d}_1^n : \mathbf{D}^M = \max, \quad \mathbf{d}_1^n = \text{Sym}(\mathbf{b} \otimes \mathbf{m})$$

- Две системы скольжения

$$(\mathbf{D}^M - \Delta_1^n) : \mathbf{d}_2^n = \min, \quad \Delta_1^n = \gamma_1^n \mathbf{d}_1^n$$



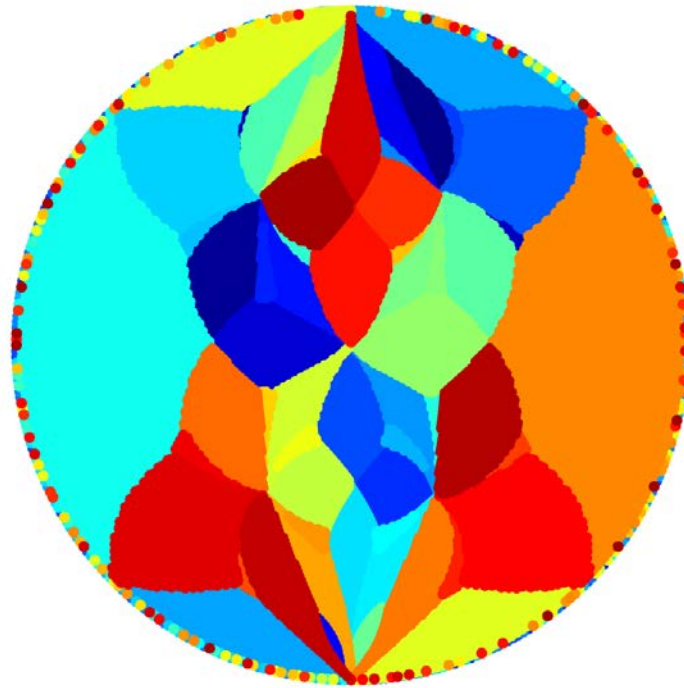
Результаты моделирования для одной системы скольжения



$$C_{12}^1 = 12$$



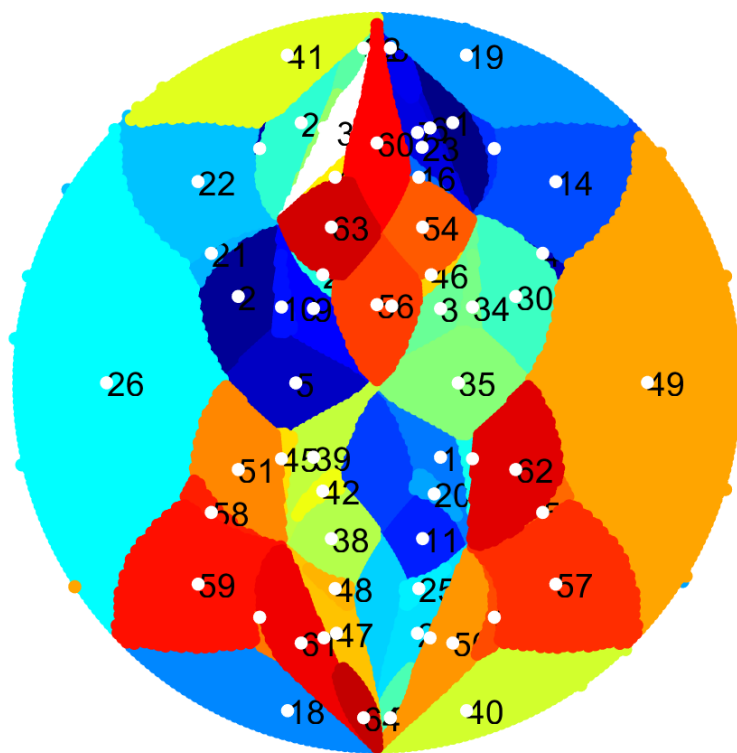
Результаты моделирования для двух систем скольжения



$$C_{12}^2 = 66$$



Средние ориентировки областей



$$R_i = \begin{vmatrix} g_{11}^i & g_{12}^i & g_{13}^i \\ g_{21}^i & g_{22}^i & g_{23}^i \\ g_{31}^i & g_{32}^i & g_{33}^i \end{vmatrix}$$

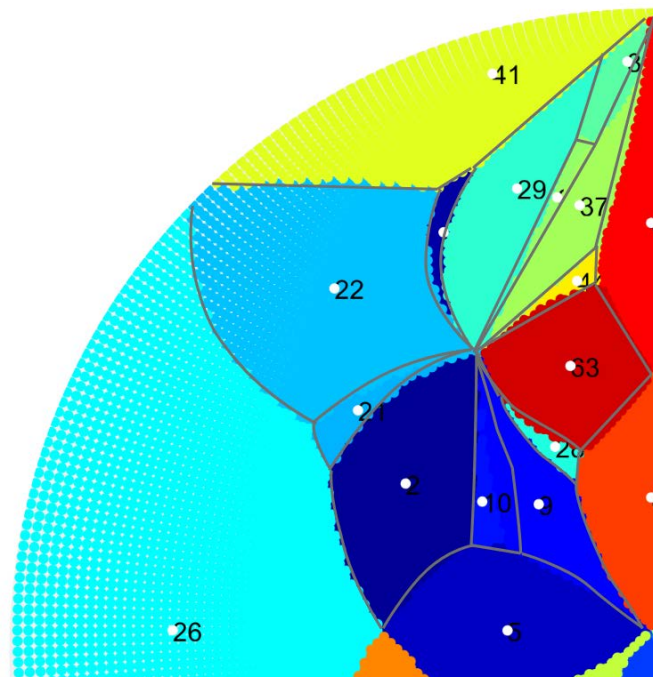
$$\downarrow$$
$$[\varphi_1^i, \Phi^i, \varphi_2^i]$$

$$\downarrow$$
$$\left[\frac{\sum_i^n \varphi_1^i}{n}, \frac{\sum_i^n \Phi^i}{n}, \frac{\sum_i^n \varphi_2^i}{n} \right]$$

$$\downarrow$$
$$R_{cp} = \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{vmatrix}$$

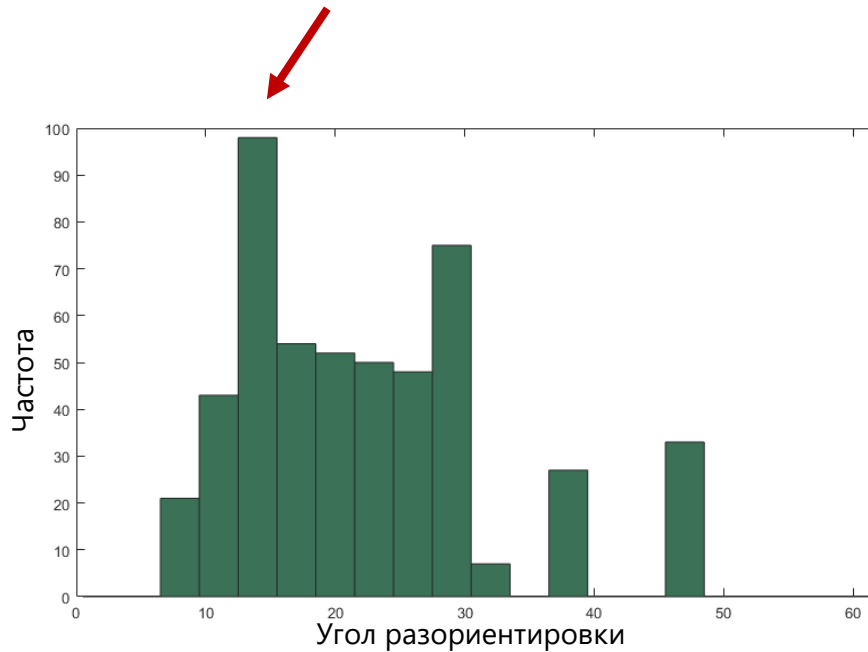


Гистограмма разориентировок между областями. Учет веса

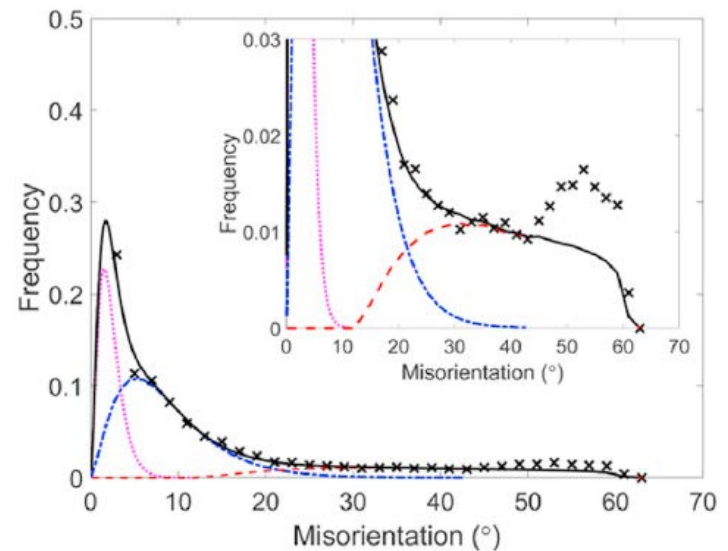




Гистограмма разориентировок между областями



Гистограмма полученная в результате моделирования



Гистограмма на основе экспериментальных данных*

*Zolotarevsky N.Yu., Rybin V.V., Matvienkoa A.N., Ushanova E.A., Philippov S.A. Misorientation angle distribution of deformation-induced boundaries provided by their EBSD-based separation from original grain boundaries: Case study of copper deformed by compression



Результаты и выводы

1. Смена одной, наиболее нагруженной, активной системы скольжения при изменении ориентировки кристалла не может быть использована как критерий для перехода к ускоренной фрагментации
2. Фактор одновременной смены двух активных систем скольжения можно использовать, как критерий для определения критического угла разориентировки при фрагментации
3. Среднее значение углов разориентировки между принимает значения в диапазоне от $\sim 9^\circ$ до $\sim 46^\circ$. Смена двух активных систем скольжения наблюдается при разориентировках от $\sim 9^\circ$, что соответствует экспериментальным исследованиям для сжатия меди*
4. Вклад геометрически необходимых границ обусловлен кристаллографическими ориентациями и не связан со степенью деформации

**Zolotarevsky N.Yu., Rybin V.V., Matvienkoa A.N., Ushanova E.A., Philippov S.A. Misorientation angle distribution of deformation-induced boundaries provided by their EBSD-based separation from original grain boundaries: Case study of copper deformed by compression*