

# *Текстурный анализ*

## *Раздел 5*

*Анализ текстуры. Прямые полюсные фигуры.*

# ***Введение***

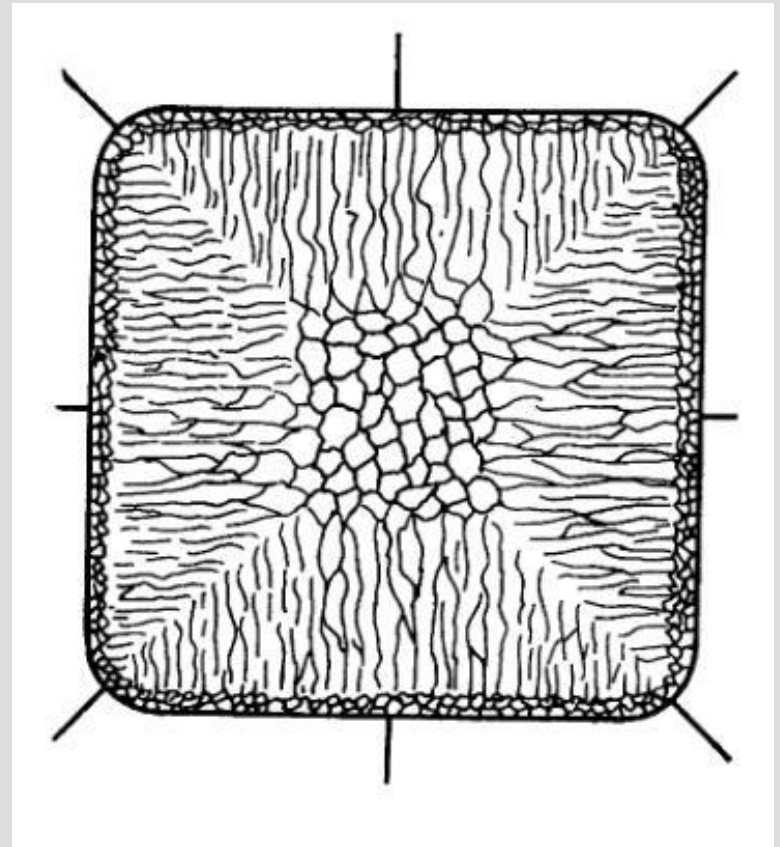
Латинское слово ***textura*** означает «ткань, структура».

Обычно в изделии присутствует преимущественная ориентировка кристаллов вдоль какого-либо определённого направления.

Преимущественная ориентировка кристаллитов в теле называется **текстурой**.

# Введение

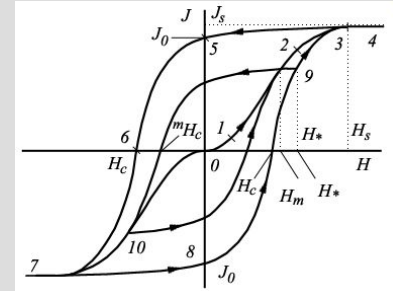
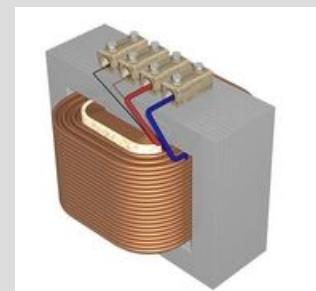
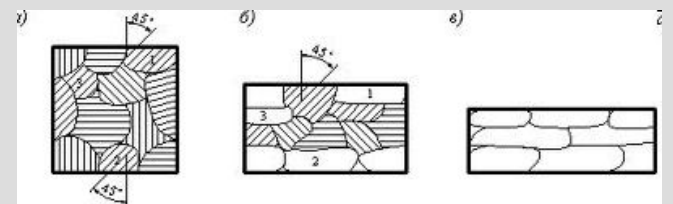
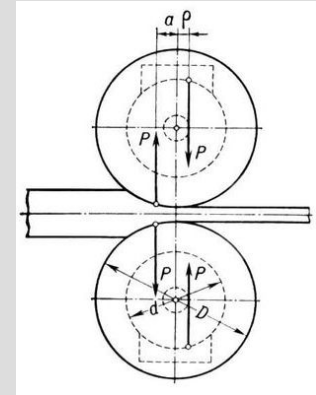
Например, вблизи стенки изложницы металлические кристаллы с кубической решеткой (Al, Cu и др.) растут, ориентируясь вдоль линий теплового потока одной из кристаллографической осей,  $\langle 100 \rangle$ , т.е. на поверхность слитка столбчатые кристаллы выходят одной из плоскостей (границ) куба  $\{100\}$ .



# Введение

Преимущественные ориентировки возникают при обработке металлов давлением: при прокатке листа или волочении проволоки вдоль направления пластического течения зерна ориентируются закономерным образом. Возникает текстура и при рекристаллизации холоддеформированных металлов, причем текстура рекристаллизации обычно отлична от текстуры деформации.

Множество исследований посвящено исследованию текстур рекристаллизации трансформаторной стали, поскольку с текстурой связаны магнитные свойства этого сплава.



# *Введение*

Текстура в металлах и сплавах является широко распространенным явлением и возникает при действии на его кристаллы определенным образом направленных внешних или внутренних сил.

Направление в изделии, параллельно которому устанавливается определенное кристаллографическое направление кристаллов, называется **осью ориентировки**.

Кристаллографическое направление, устанавливающееся параллельно оси ориентировки называется **осью текстуры**.

Существуют две системы координат.

Первая – ***система координат образца*** которая описывает симметрию полуфабриката.

Вторая – ***система координат кристалла*** которая описывает положение атомной решетки.

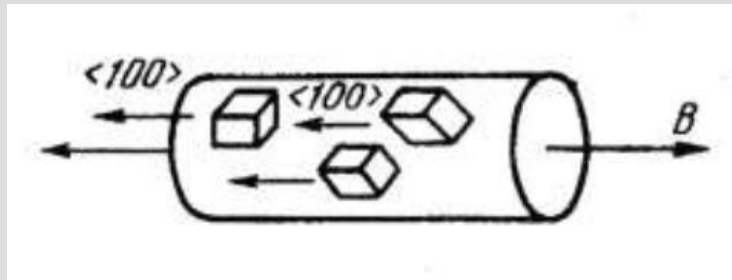
Задача описания текстуры сводится к описанию связи этих двух систем координат.

# Аксиальные (неограниченные) текстуры

При аксиальной текстуре вдоль оси полуфабриката (например: проволоки) устанавливается определенное кристаллографическое направление, т. е. ось текстуры. Например, в алюминиевой проволоке –  $[111]$ , в Fe или W –  $[110]$ .

Никаким другим ограничениям ориентировка кристаллов не ограничивается – любой кристалл в теле может быть как угодно повернут вокруг оси текстуры.

Обозначение текстуры –  $\langle uvw \rangle$ , где  $\langle uvw \rangle$  - индексы кристаллографического направления, ориентированного вдоль направления силы, вызвавшей образование текстуры.



Все возможные варианты расположения зерен в материале с **аксиальной текстурой** можно представить *вращением одного кристалла вокруг направления  $\langle uvw \rangle$ , установленного вдоль оси ориентировки.*

**Аксиальная текстура** образуется под воздействием сил, **действующих** предпочтительно **в одном направлении** (волочение, экструзия, сжатие, осаждение из газовой среды, кристаллизация и др.).

**Аксиальную текстуру** иногда называют **текстурой волочения.**



Кроме простых аксиальных текстур в проволоках из различных металлов и сплавов могут формироваться сложные текстуры, например спиральные.

Спиральная текстура характеризуется тем, что направления  $\langle UVW \rangle$  образуют вокруг оси ориентировки коническую поверхность с углом полураствора  $\phi$ . Если  $\phi = 0$ , то получается **аксиальная** текстура.

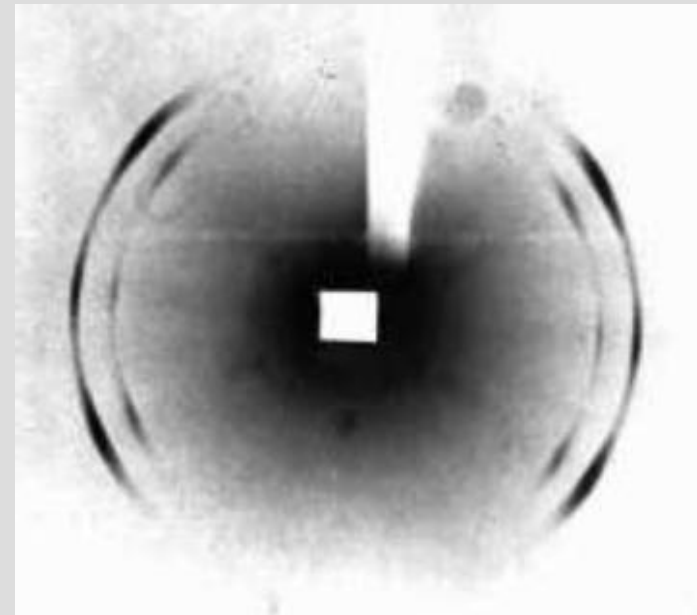
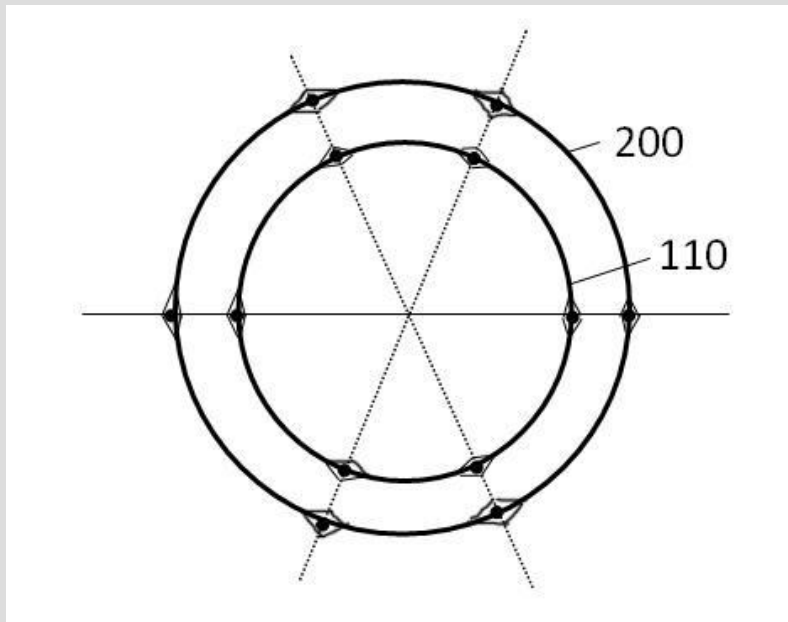
## ***Рассеяние аксиальной текстуры***

Обычно не во всех кристаллах металла ось текстуры точно совпадает с осью ориентировки – зачастую эти ***направления образуют между собой небольшие углы, что трактуется как рассеяние текстуры***. Это приводит к тому, что текстурные максимумы на интерференционных кольцах не являются точечными, а представляют собой дуги той или иной длины.

Чем больше угол, на который у части кристаллитов направление  $\langle uvw \rangle$  отклоняется от направления идеальной оси текстуры, тем больше степень рассеяния текстуры.

Чем больше рассеяние текстуры, тем длиннее дуги, отвечающие текстурному максимуму. Степень совершенства текстуры  $\Delta\rho$  (в угловых единицах) определяется по ***полуширине текстурных максимумов***.

## Рассеяние текстуры



Вид рентгенограммы материала с аксиальной текстурой (молибденовая проволока, медное излучение)

# *Многокомпонентные аксиальные текстуры*

В некоторых холоднотянутых металлах возникает несколько компонент текстуры. Группа кристаллов с одинаковой ориентировкой называются **компонентой текстуры**. Так, в металлах с ГЦК решеткой параллельные оси проволоки кристаллы ориентируются не только направлением [111], как в Al, но и направлением [001]. Например, в Cu ось текстуры [111] – имеют 60%, а [001] – 40% кристаллов. Для Au: [111] – 50%, а [001] – 50%.

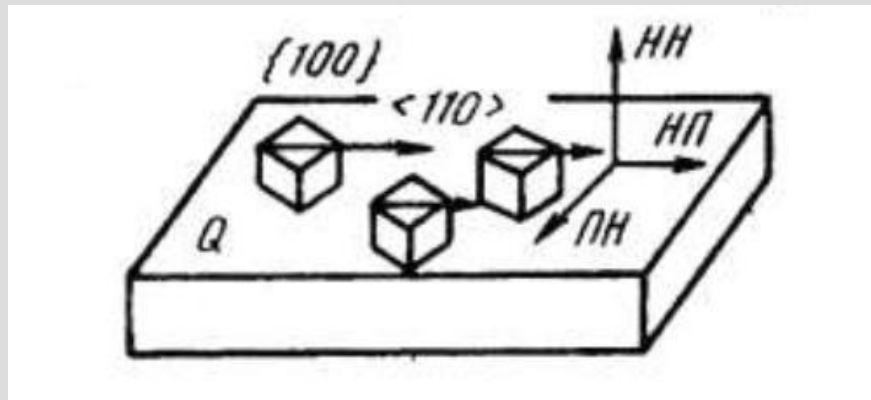
Многокомпонентная аксиальная текстура записывается как

$$\langle u_1 v_1 w_1 \rangle + \langle u_2 v_2 w_2 \rangle + \dots$$

# Ограниченные текстуры

**Ограниченная текстура (текстура прокатки)** характеризуется тем, что определенные плоскости  $\{hkl\}$  во всех зернах параллельны одной внешней плоскости, а направления  $\langle uvw \rangle$ , лежащие в этих плоскостях, параллельны одному направлению.

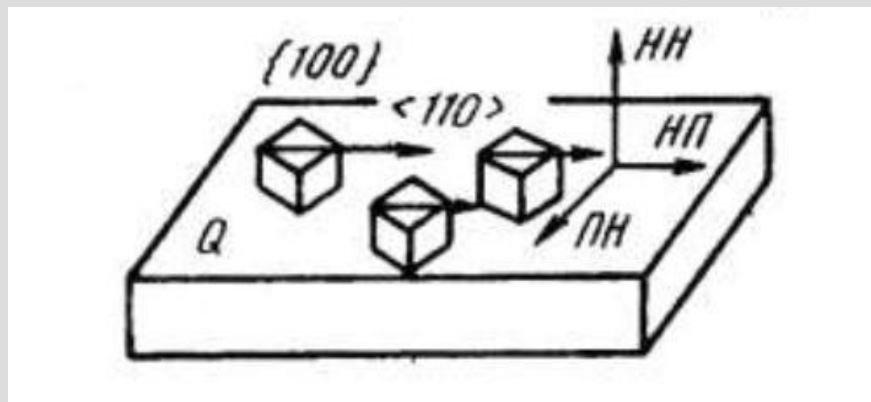
В таких текстурах зерна не имеют ни одной вращательной степени свободы.



**Ограниченная текстура** образуется в том случае, когда на образец **действовали силы в нескольких направлениях.**

Типичным примером ограниченной текстуры служит текстура, возникающая при прокатке.

Текстура прокатки образуется в результате действия сил сжатия в направлении, перпендикулярном плоскости прокатки, обозначаемом НН (направление нормали к плоскости прокатки), и сил растяжения вдоль направления прокатки, обозначаемого НП.



В случае текстуры прокатки определенные плоскости  $\{hkl\}$  в зернах поликристалла оказываются параллельными плоскости прокатки, а направления  $\langle uvw \rangle$  - параллельными НП.

При сильной однокомпонентной текстуре прокатки кристаллиты оказываются практически лишенными степеней свободы, и поликристаллический материал становится подобным соответствующим образом ориентированному блочному монокристаллу.

**Текстуру прокатки** в общей форме обозначают символом  $\{hkl\}\langle uvw \rangle$ .

Плоскость  $\{hkl\}$  параллельна плоскости листа (перпендикулярна направлению нормали), а направление  $\langle uvw \rangle$  параллельно направлению прокатки (НП).

Индексы  $\{hkl\}$  и  $\langle uvw \rangle$  связаны между собой условием зональности (направление НП лежит в плоскости прокатки), которое выражается как

$$h^*u + k^*v + l^*w = 0.$$



**Многокомпонентная текстура** характеризуется наличием нескольких преимущественных ориентировок.

Обозначение многокомпонентной текстуры прокатки:

$$\{h_1 k_1 l_1\} \langle u_1 v_1 w_1 \rangle + \{h_2 k_2 l_2\} \langle u_2 v_2 w_2 \rangle + \dots$$

В реальном материале с текстурой прокатки также невозможно строгое совпадение одних и тех же плоскостей и направлений во всех кристаллах, выражается рассеянием текстуры.

**Рассеяние текстуры прокатки** означает, что плоскости  $\{hkl\}$  у части зерен несколько отклонены от плоскости листа, а направления  $\langle uvw \rangle$  — нестрого параллельны НП.

# Как определять текстуру?

Определение текстуры сводится к нахождению и анализу **ПОЛЮСНЫХ фигур** исследуемого образца, которые строятся с помощью стереографических проекций.

**Эти фигуры показывают связь внешней системы координат образца (исследуемого полуфабриката) с системой координат кристалла (его ориентировкой).**

Полюсные фигуры бывают двух видов:

- *прямая полюсная фигура (ППФ);*
- *обратная полюсная фигура (ОПФ).*

## *Прямая полюсная фигура*

**Прямая полюсная фигура (ППФ)** – это **гномостереографическая проекция** плоскостей  $\{hkl\}$  во всех зернах поликристаллического образца, характеризующая вероятность распределения ориентации нормали к плоскости  $\{hkl\}$  относительно некоторых внешних осей.

При построении ППФ принимаются такие условия:

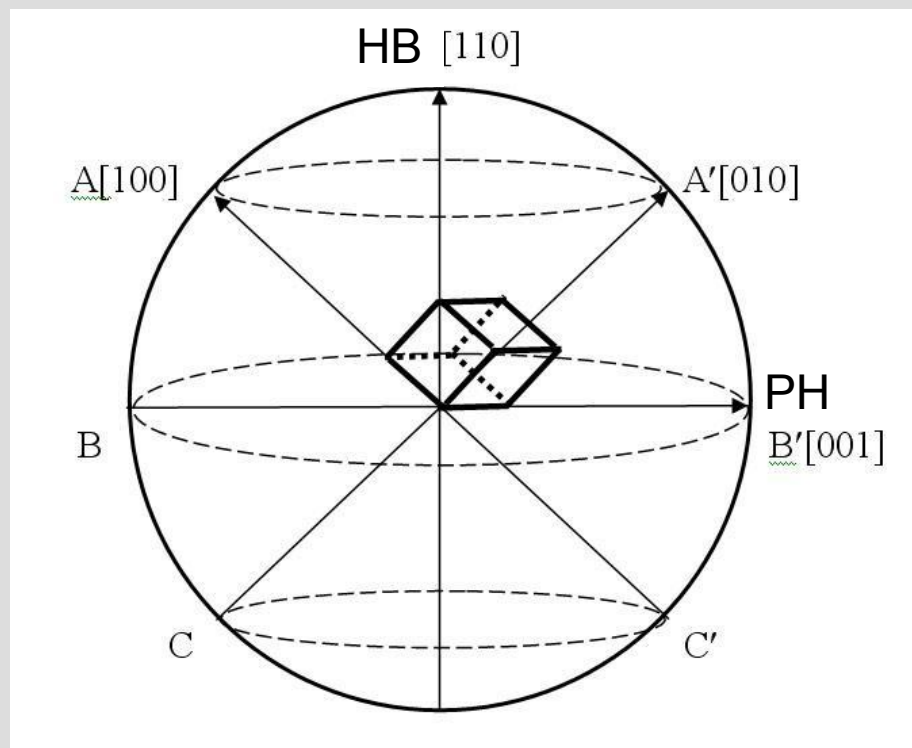
- отображается проекция полюсов одного семейства плоскостей  $\{hkl\}$ , чаще всего  $\{100\}$ ; для этого регистрируется интерференционное кольцо 200, имеющееся на дифракционных картинах ОЦК и ГЦК кристаллов;
- на гномостереографической проекции не изображается каждый полюс в отдельности, штрихуются те места, на которые проектируются достаточно «густонаселенные» участки сферы проекции.

## *Свойства прямой полюсной фигуры*

***Прямая полюсная фигура {100}*** характеризует вероятность распределения ориентации нормали к плоскости {100} относительно некоторых внешних осей.

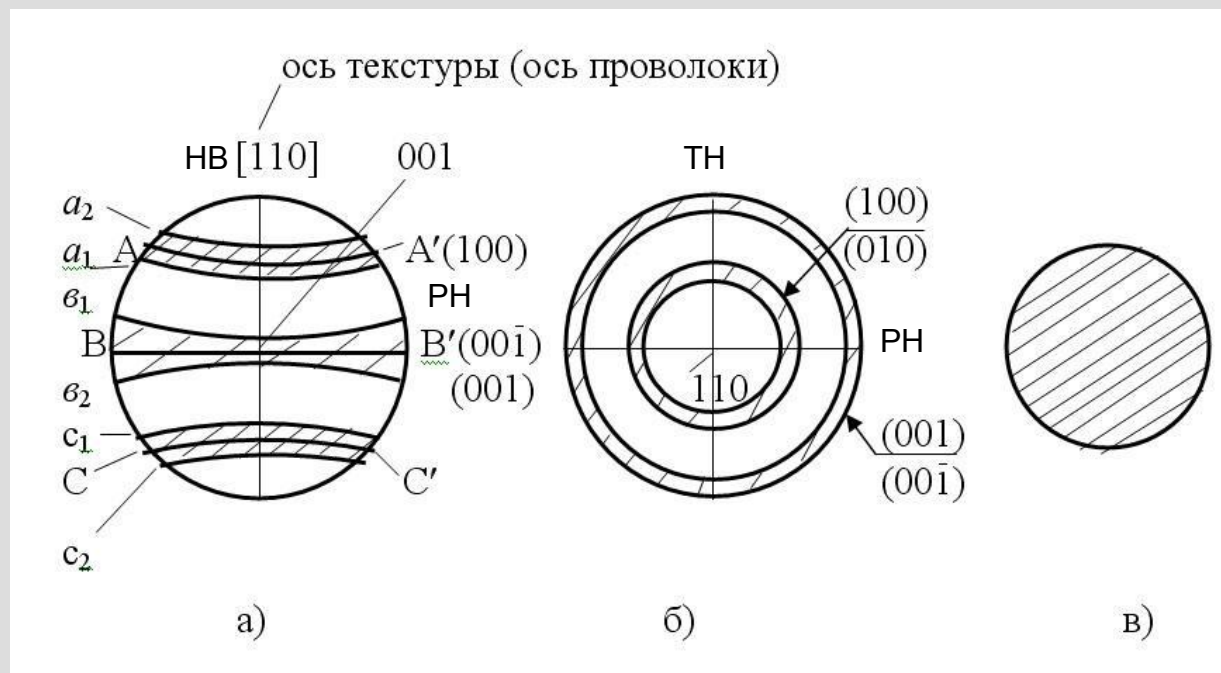
Например, если в образце отсутствует текстура, то полюсы любой грани куба равномерно покрывают сферу проекции, и на единицу площади поверхности приходится одно и то же их число. ППФ такого образца является равномерно заштрихованный круг.

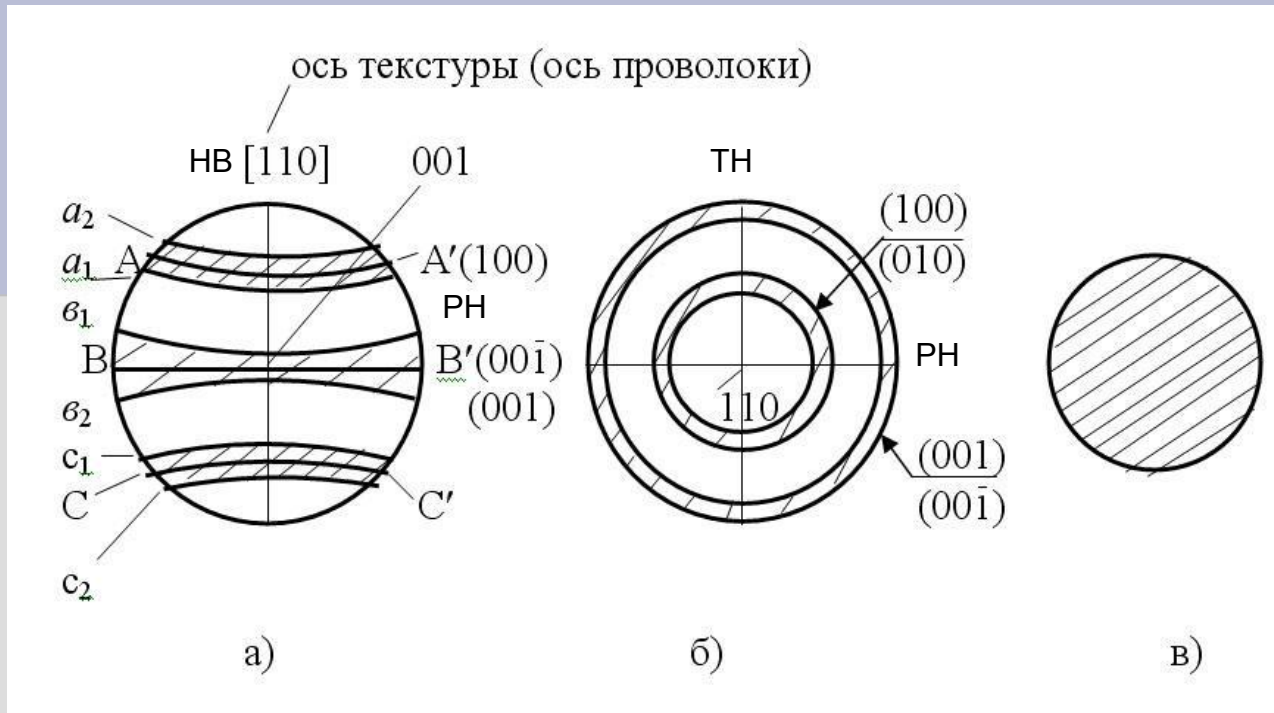
Построим ППФ для вольфрамовой проволоки с осью текстуры  $[UVW] = [110]$ . Нормали к плоскостям куба всех кристаллов образуют с осью текстуры  $[110]$  углы в  $45^\circ$  или  $90^\circ$ . На сфере проекции они образуют круги  $AA'$  и  $CC'$  с широтами  $45^\circ$  и  $180-45=135^\circ$  и круг экватора  $BB'$ .



## Углы рассеяния текстуры

Теперь сферу проекции спроектируем или на плоскость, параллельную оси проволоки (а) или на плоскость, перпендикулярную оси проволоки (б). Рассеяние текстуры приводит к тому, что полюсы плоскостей проектируются не на линии  $AA'$ ,  $BB'$  и  $CC'$ , а внутрь заштрихованных областей вокруг этих линий. Угловые расстояния  $Aa_1$  и  $Aa_2$ ;  $Bb_1$  и  $Bb_2$  и т.д. называются **углами рассеяния текстуры**.

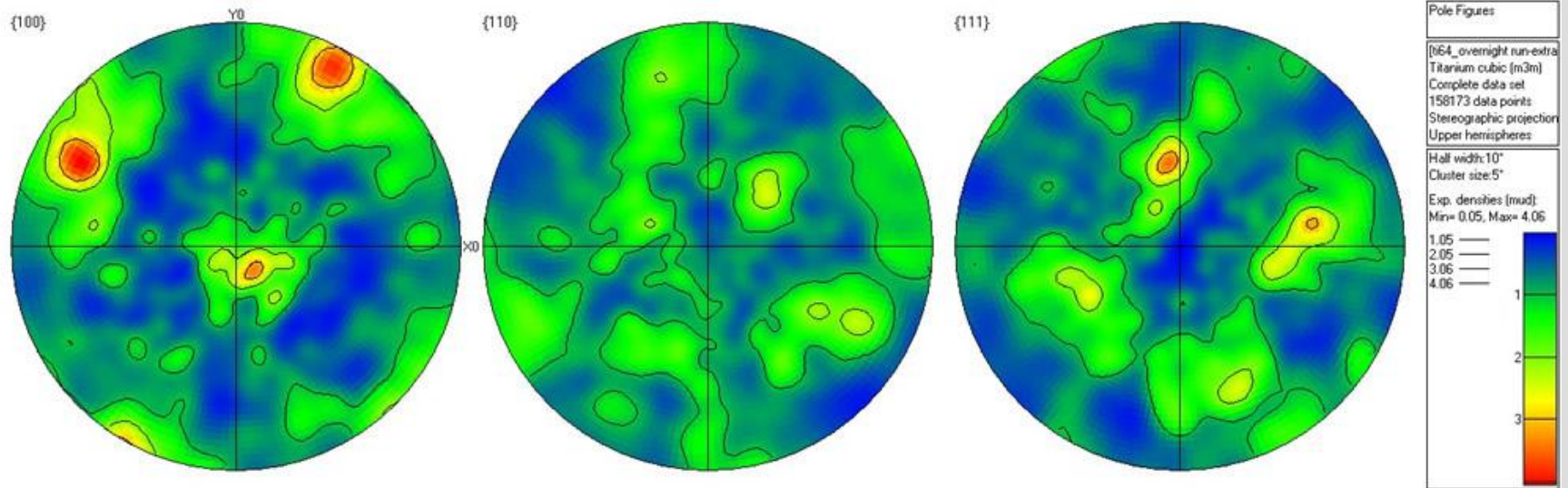




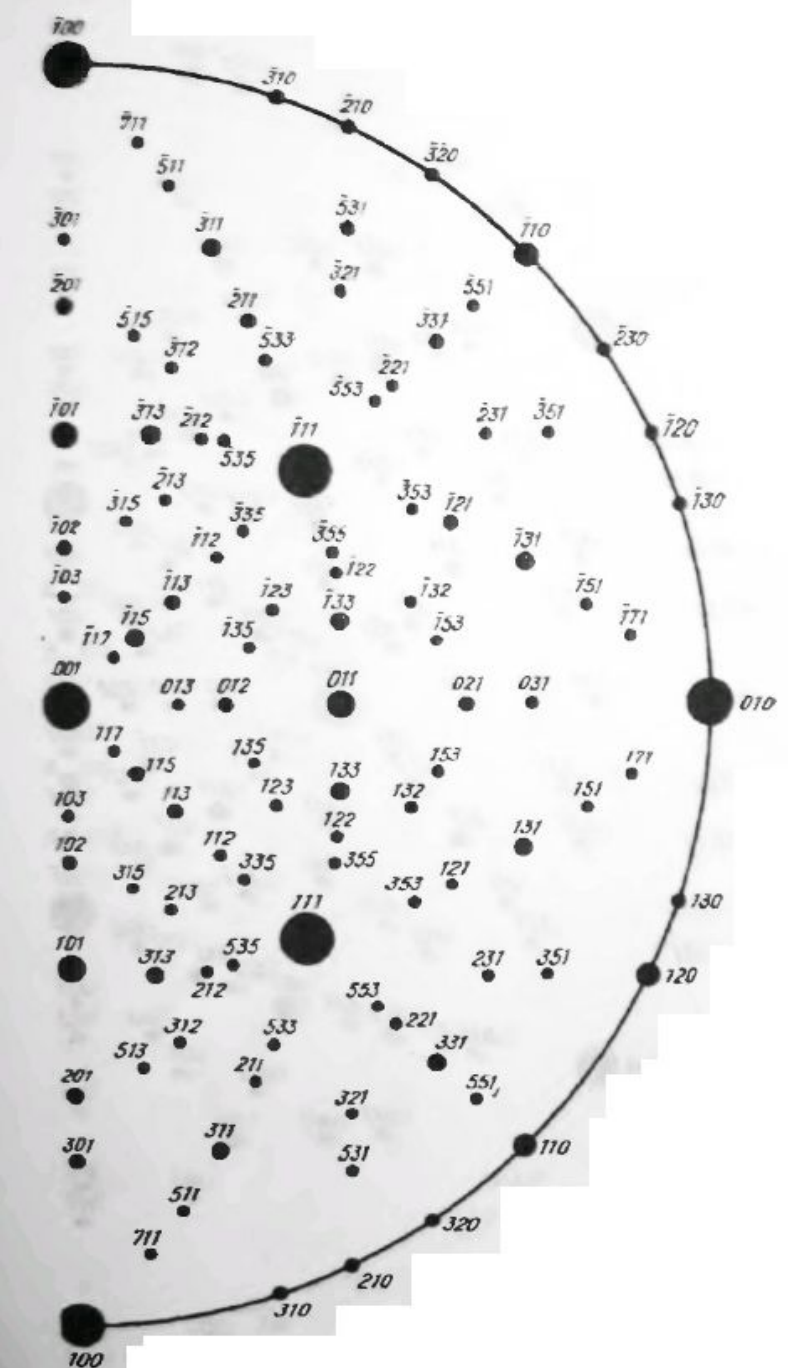
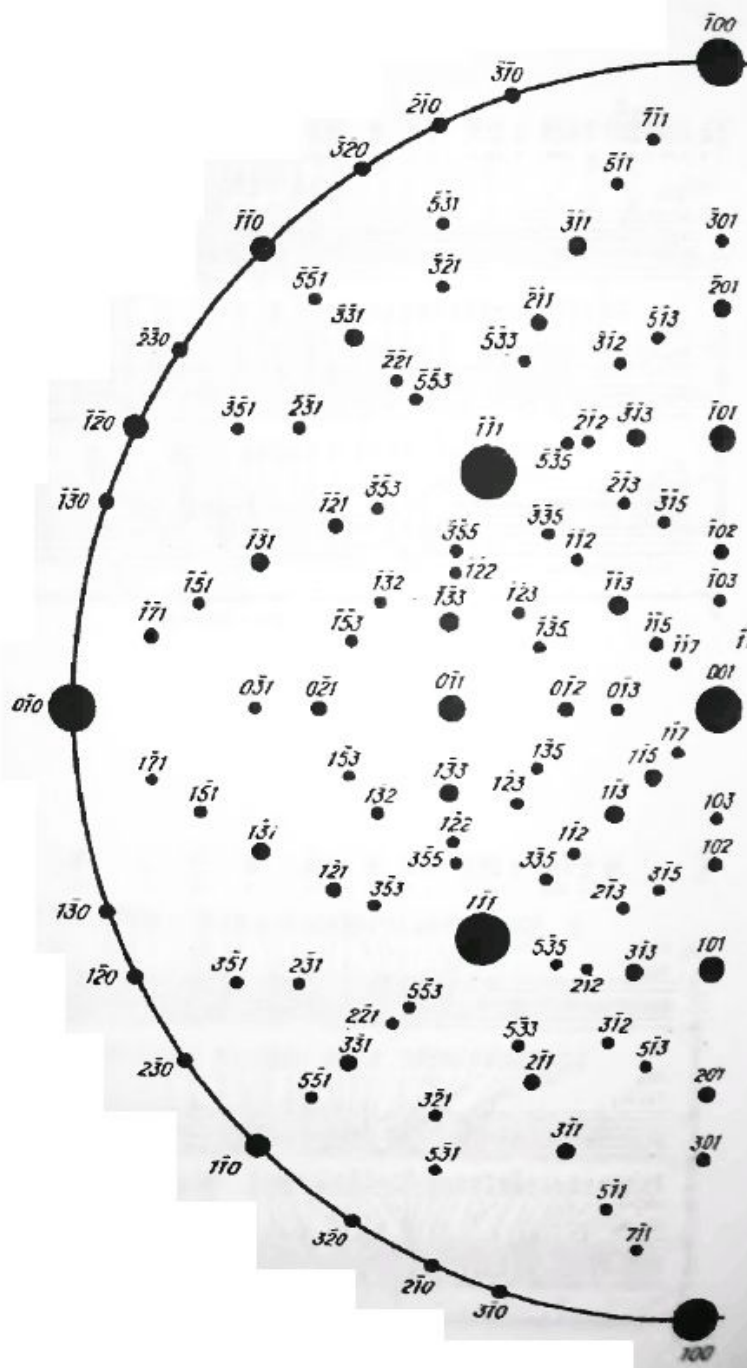
- ППФ (а) и (б) эквивалентны и содержат одинаковую информацию:
- в исследованном образце  $W$  проволоки имеется аксиальная текстура с осью  $[110]$ , так как полюсом  $\{100\}$  «разрешен» поворот на  $360^\circ$  вокруг этой оси;
  - текстура имеет размытие, определяемое по ширине заштрихованных областей.

Для не текстурированного образца той же проволоки ППФ показана на (в).

# ППФ титанового сплава ТС6 (ОЦК решетка)







# ППФ титанового сплава ВТ6 (ГПУ решетка)

