

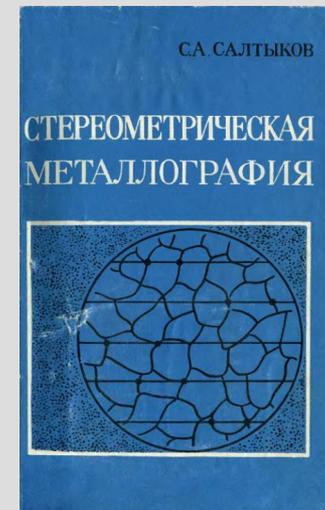
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ СВЕТОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Раздел 1

НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СТЕРЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ

Литература по теме

- 1. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. М.: Металлургия. 1970. 375 с.*
- 2. Чернявский К. С. Стереология в металловедении. М.: Металлургия. 1977. 279 с.*
- 3. Пантелеев В. Г., Егорова О. В., Клыкова Е. И. Компьютерная микроскопия. М: Техносфера 2005. 304 с.*
- 4. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. М.: Изд-во стандартов. 1994. 23 с.*

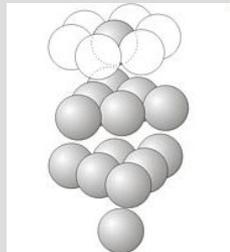
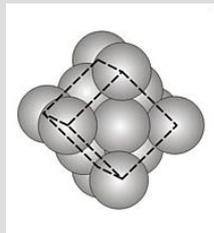
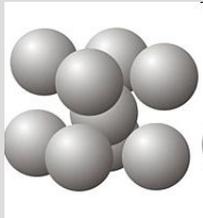


Свойства сплава

Структура и текстура

Химический состав

- природа сплава (характер химической связи, наличие ковалентной составляющей в металлической связи и т.д.)
- тип решетки - ОЦК, ГЦК, ГПУ...
- и т.д.



Технология

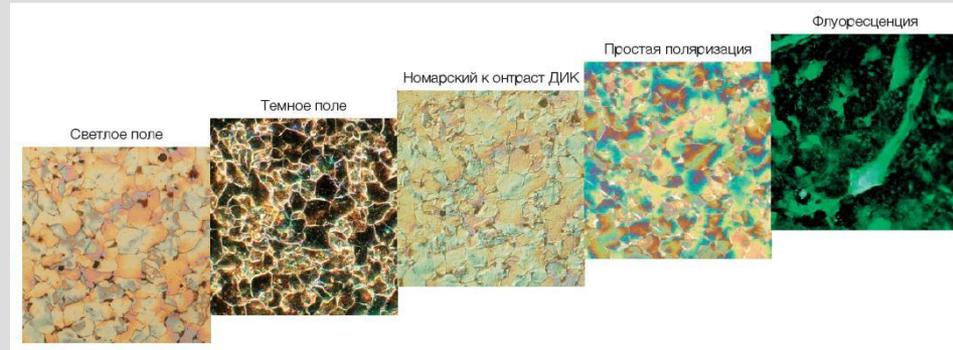
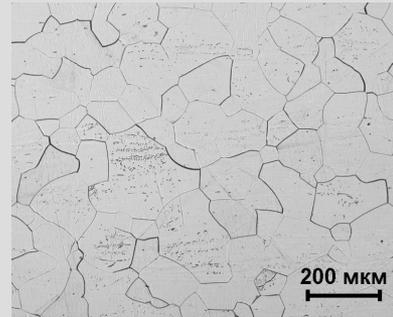
Обработка

- механическая
(деформация)
- термическая
- химическая
(азотирование, цементация и т.д.)
- физическая
(воздействие магнитного поля и т.д.)

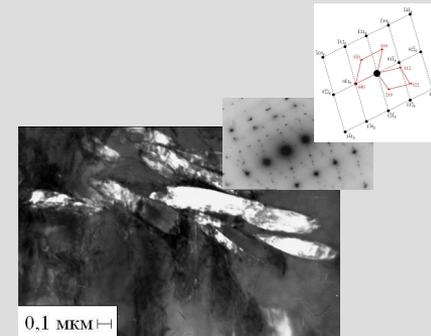
ТМО

Оценка структуры

Световая микроскопия



Электронная микроскопия (Растровая ЭМ, просвечивающая ЭМ и др.)



Атомно-силовая микроскопия и др.

Световая микроскопия

автоматизированный анализ микроструктур

Требования к источнику данных

*Автоматизированный анализ изображений может работать только с **количественными данными** параметров микроструктуры.*

*К свойствам сплавов предъявляются количественные требования, приведенные в **стандартах (ГОСТах)** или **технических условиях (ТУ)**. Поскольку эти свойства определяются структурой, очевидно, что и к ней должны быть предъявлены соответствующие количественные нормы в отношении тех параметров структуры, которые обеспечивают нужные свойства.*

Оценка микроструктуры должна быть строго количественной, выраженной конкретными величинами геометрических параметров микроскопического строения.

Что мы изучаем?

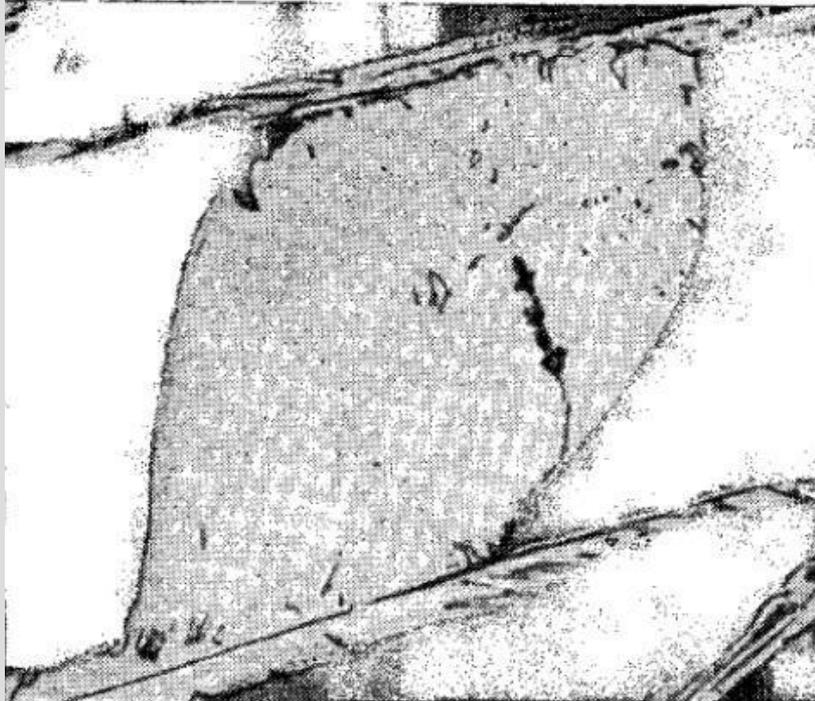
Металлы и сплавы непрозрачны и поэтому их пространственная структура невидима, а ее геометрические размеры недоступны непосредственному измерению.

Источником информации о параметрах пространственного строения обычно служат параметры двумерной структуры, измеряемые на плоскости шлифа, количественно взаимосвязанные с пространственными параметрами.

*Установление этих связей – одна из основных задач **стереометрической металлографии**.*

Стереометрическая металлография – это область прикладной математики, формулирующая характеристики геометрической структуры объектов различного происхождения и разрабатывающая способы их определения – реконструкции на основании простых измерений, производимых на плоскости наблюдения.

Оценка реальной структуры



Пластинка мартенсита, плоскость которой совпадает с плоскостью шлифа (А.П. Гуляев)

Двумерная или плоскостная структура, видимая в микроскоп, образуется при пересечении действительной трехмерной или пространственной структуры плоскостью шлифа и вне этой плоскости не существует.

Количественная оценка микроструктуры параметрами ее двумерного сечения, как правило, приводит к неправильному представлению о ее пространственном строении.

Оценка реальной структуры

При пересечении трехмерной структуры плоскостью шлифа вероятность пересечения крупных и мелких зерен различна: чем крупнее зерно, тем вероятнее, что его пересечет плоскостью шлифа. Поэтому число крупных зерен на шлифе относительно больше, чем в действительной трехмерной структуре.

*Плоскость шлифа пересекает пространственные зерна не по центру, а случайно – на большем или меньшем от него расстоянии. В связи с этим **средняя величина плоского зерна на шлифе создает ложное представление об истинных размерах пространственных зерен.***

Статистические характеристики геометрических параметров структуры

*Микроскопическое строение металлических сплавов не имеет правильной геометрической формы, какую имеет, например, кристаллическая структура. Каждый из ее геометрических параметров изменяется в более или менее широких пределах. В стереометрической металлографии поэтому широко используют **статистические характеристики геометрических параметров структуры** — **среднее значение параметра, его дисперсию, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, плотность распределения и др.***

Краткое резюме

Таким образом, **стереометрическая металлография** представляет собой систему методов микроскопического анализа, позволяющих по количественным измерениям на плоскостной (двухмерной) структуре **рассчитать геометрические параметры действительной пространственной микроструктуры** металлов и сплавов.

Краткие сведения о статистике

(то что мы должны знать, но иногда забываем)

Базовые понятия

Вероятность и частота, в чем сходство и различие?

Вероятность - степень (относительная мера, количественная оценка) возможности наступления некоторого события. Вероятностью случайного события A называется отношение числа n несовместимых равновероятных элементарных событий, составляющих событие A , к числу всех возможных элементарных событий N .

$$P(A) = n_A / N$$

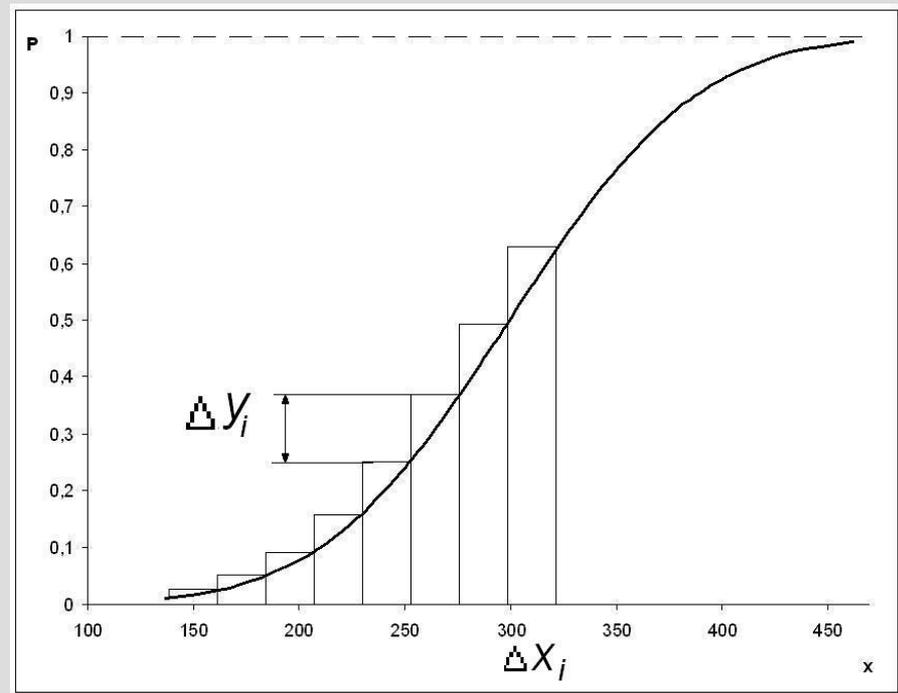
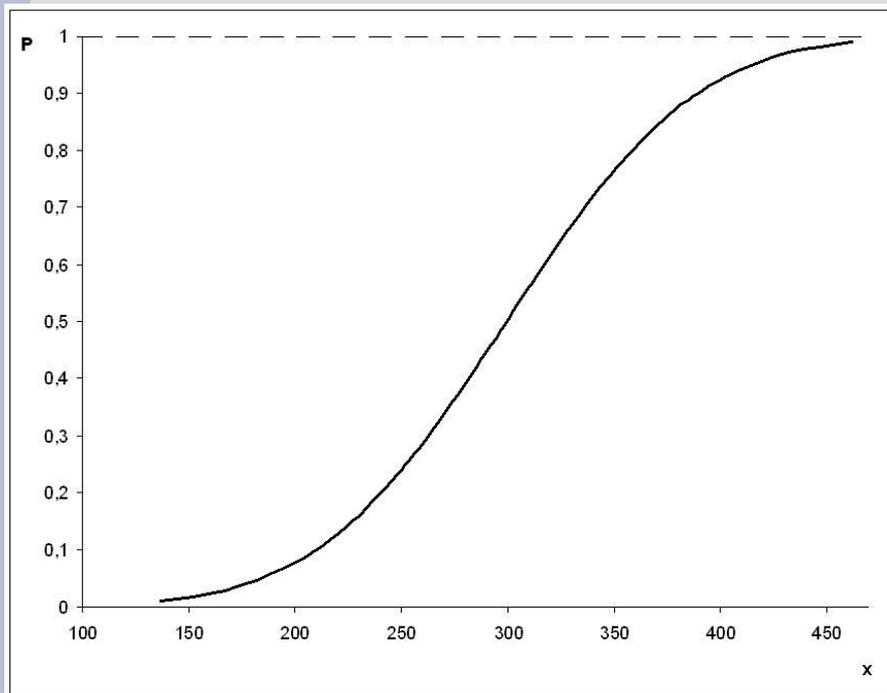
Частота определяется как число опытов n некоторого события A к общему числу опытов N .

$$W(A) = n_A / N$$

Интегральная функция распределения

$$F(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x') dx = p(x' \leq x)$$

– вероятность появления значения непрерывной случайной величины в интервале меньше значения x_k



Моменты функции распределения

1. Момент первого порядка (математическое ожидание).

Величина математического ожидания определяется выражением.

$$M_x = \bar{x} = \int_{-\infty}^{+\infty} x\varphi(x)dx$$

Эта величина соответствует среднему значению случайной величины.
Для дискретной случайной величины момент первого порядка определяется как:

$$M_x = \bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i P_i$$

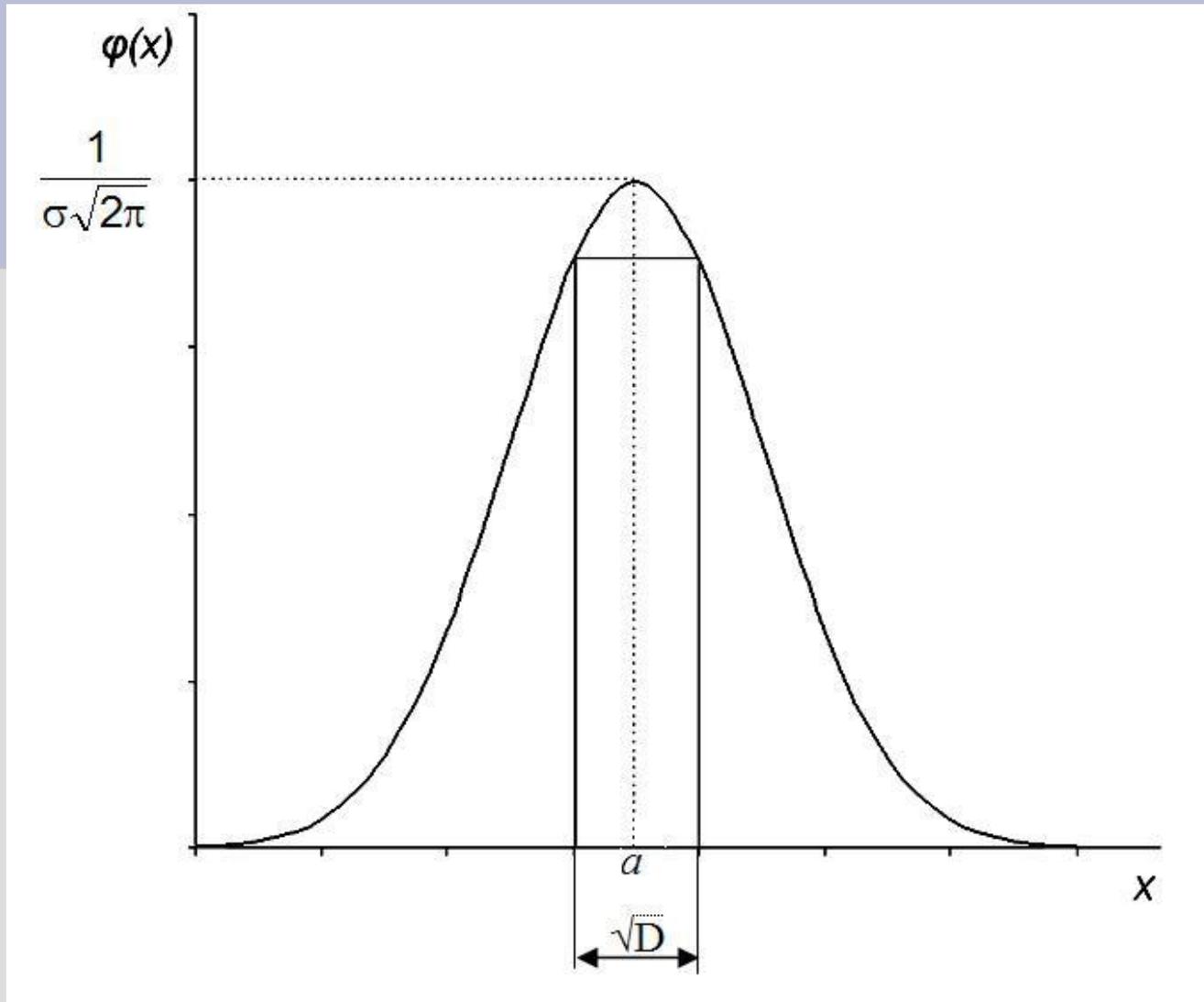
P_i – частота или удельный вес значения x_i

2. Момент второго порядка (дисперсия случайной величины)

$$M_2 = D_x = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \bar{x})^2 f(x) dx$$

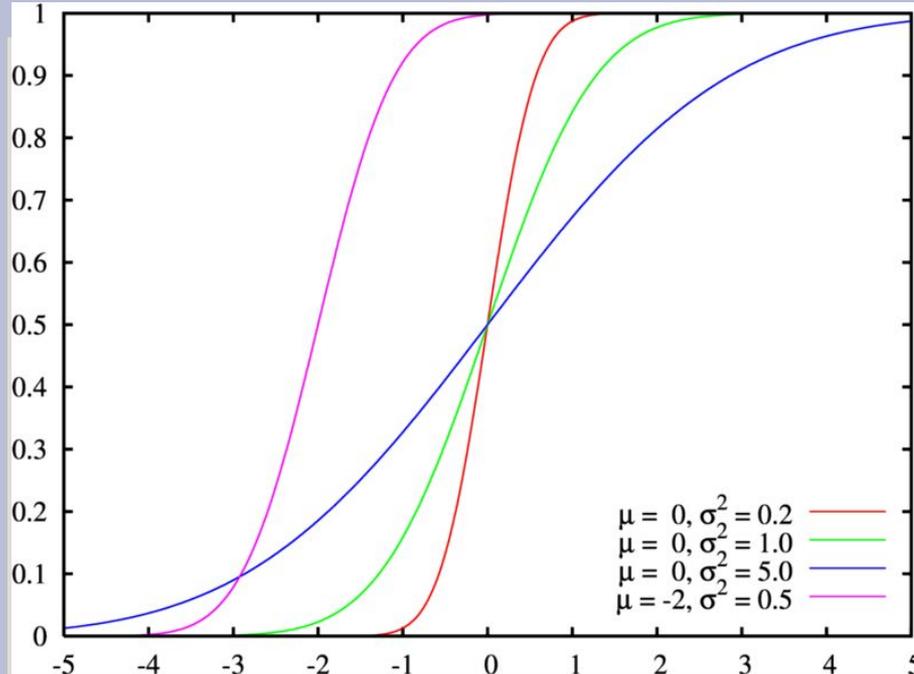
Для дискретной случайной величины момент второго порядка определяется как:

$$D_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

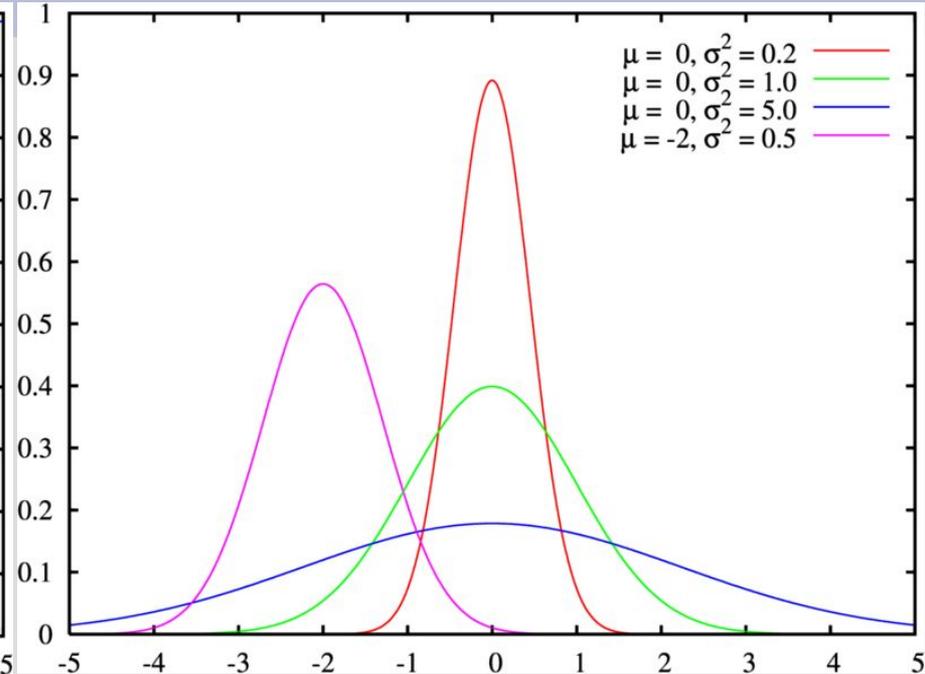


Плотность функции распределения - первая производная от интегральной функции распределения

Нормальное распределение



Интегральная функция распределения



**Плотность функции распределения -
первая производная от интегральной
функции распределения**

Вид функции нормального
распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

Обработка статистических рядов данных

Вариационным рядом случайной величины называется упорядоченная последовательность случайных чисел, расположенных в порядке возрастания.

Пример. Пусть есть некоторая последовательность экспериментальных значений:

10, 20, 15, 14, 13, 10, 19.

Вариационный ряд в этом случае будет иметь вид:

10, 10, 13, 14, 15, 19, 20.

Параметры вариационного ряда

Характеристиками вариационного ряда являются медиана, размах, подразмах и мода.

Медиана – число, делящее вариационный ряд пополам: $med(x) = 14$.

Если количество значений в вариационном ряду четное, то в качестве медианы берется среднее между двумя срединными значениями.

Размах вариационного ряда – это разность между наибольшим и наименьшим значениями чисел вариационного ряда:

$$W_7 = w_7 - w_1 = 20 - 10 = 10.$$

Подразмах вариационного ряда – разность между большим и меньшим значениями чисел ряда, исключая наибольшее и наименьшее числа.

Мода вариационного ряда – значение случайной величины, которой соответствует наибольшая вероятность (повторяемость) появления:

$$mod(x) = 10.$$

Среднеквадратичное отклонение (СКО)

Выборочную оценку **среднеквадратичного отклонения** генеральной совокупности описывают следующими способами: если выполняется нормальный закон распределения, то величину среднеквадратичного отклонения для ряда x вычисляют:

$$\sigma = S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad \text{при } N < 25;$$

$$\sigma = S_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad \text{при } N > 25.$$

Связь с дисперсии (момент второго порядка) и СКО.

$$\sigma = \sqrt{D}$$

Коэффициент вариации

Обобщенной характеристикой экспериментального распределения является коэффициент вариации v :

$$v = \frac{S_x}{\bar{x}}$$

Предполагают, что при величине $v < 0,1$ выборка считается однородной и описывается одним законом распределения.

Чем меньше значение v , тем лучше выборка описывает экспериментальные данные.

Нахождение ошибки определения мат. ожидания

$$a = x_{\text{ср}} \pm \delta$$

Величина δ имеет размерность основной величины и равняется абсолютной ошибке для принятой доверительной вероятности. Оценка величины математического ожидания фактора рассчитывается по формуле

$$\delta = \frac{S_x}{\sqrt{n}} \cdot t_{\alpha, f}$$

где S_x – среднеквадратичное отклонение случайной величины x в выборке объемом n ; t – критерий Стьюдента для уровня значимости α и числа степеней свободы f .

Геометрия

Геометрические параметры пространственной структуры

С точки зрения геометрии пространственной микроструктуры любой **металлический сплав или композицию** можно рассматривать как **конгломерат, состоящий из множества микроскопических тел (кристаллитов), заполняющих определенный участок пространства и прочно связанных друг с другом по контактными поверхностям.**

Эти микроскопические тела мы будем в дальнейшем называть микрочастицами или просто частицами. Они являются структурными единицами микроскопического строения так же, как элементарная ячейка является структурной единицей кристаллического строения.

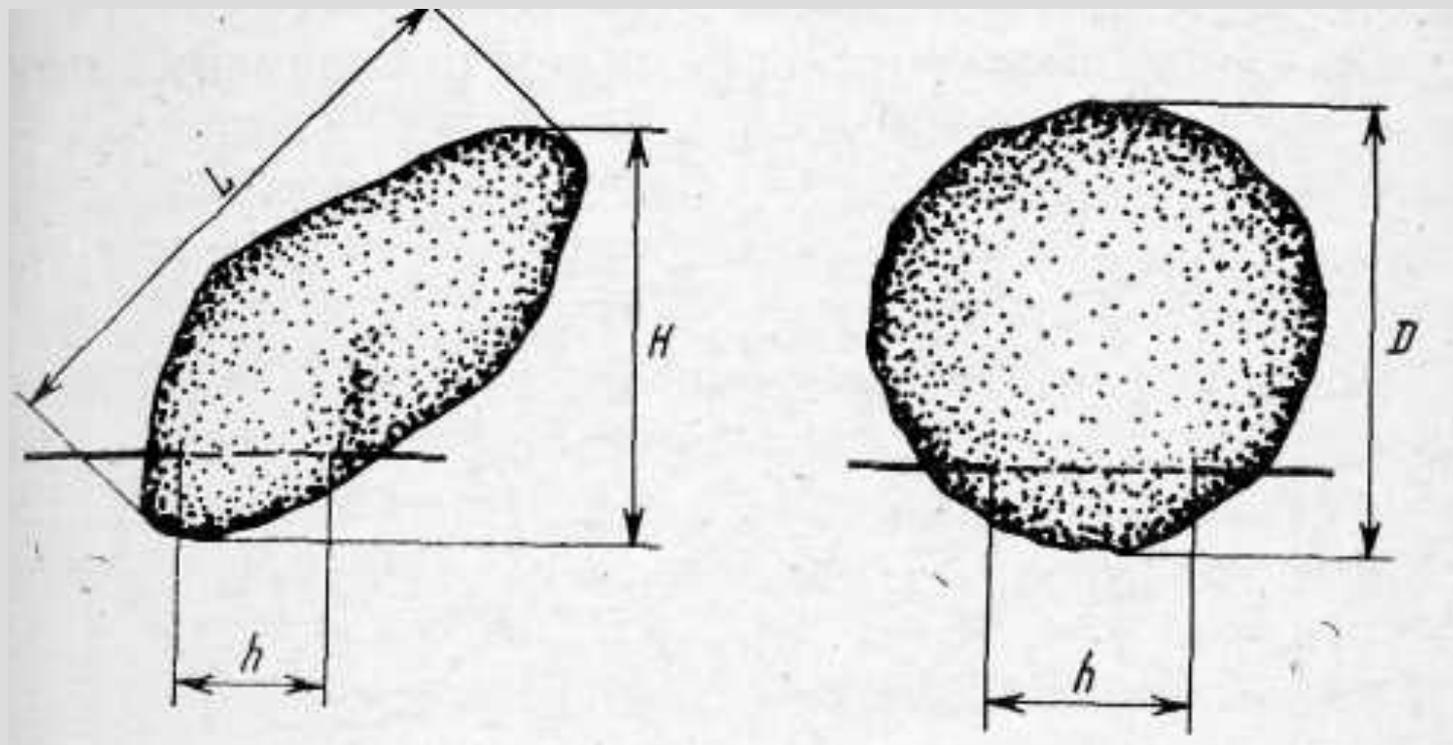
Микрочастицы могут быть металлическими и неметаллическими, а в некоторых случаях — пустотой (поры). Группа микрочастиц, имеющих одинаковый состав и внутреннее строение (кристаллическое, аморфное), образуют одну из фаз сплава — простой металл, твердый раствор, карбиды, интерметаллиды, неметаллическую фазу и др.

Таким образом, все множество микрочастиц, образующих структуру в целом, можно разделить на несколько групп или подмножеств — по числу фаз сплава. Отдельную группу составляет пористость.

В стереометрической металлографии каждая **микрочастица** рассматривается как **геометрическое тело микроскопического масштаба**. Как и всякое геометрическое тело, микрочастица обладает вполне определенной формой и геометрическими параметрами — линейными размерами, площадью поверхности, объемом и т. д.

В каждой структуре число микрочастиц определенной фазы является статистически постоянной величиной для единицы объема сплава!

Линейные параметры трехмерных микрочастиц



L – линейный размер; H – высота; D – диаметр; h – хорда

Для количественной оценки самих микрочастиц и структуры в целом, как их совокупности, ***естественно и единственно правильно воспользоваться именно этими геометрическими параметрами.***

Однако поскольку в объеме анализируемого металла едва ли найдутся хотя бы ***две микрочастицы, тождественные по форме и размерам,*** речь может идти только об использовании статистически ***средних величин*** этих (и других) геометрических параметров или об их суммарном значении, отнесенном к единице объема анализируемой структуры. Следует подчеркнуть, что микроскопическая структура, представляющая практически бесконечное множество однотипных микрочастиц и их структурных элементов, — чрезвычайно благоприятный объект для применения к нему статистических методов исследования и анализа.

Другой категорией структурных элементов любого сплава являются **границные зоны**, которые не существуют сами по себе, но образуются в результате взаимного контакта микрочастиц друг с другом. Эти границные зоны характеризуются сильными нарушениями порядка расположения атомов и относительно большими расстояниями между ними.

Выбирая геометрические параметры пространственного микростроения сплава, которыми целесообразно количественно оценивать пространственную структуру, ***следует исходить из той значимости, которую имеют характеризующие эти параметры элементы структуры в процессах превращений в сплаве***, их связь со свойствами сплава и с различными переменными факторами внешних воздействий на сплав.

Граничные зоны обладают повышенной энергией и играют весьма важную роль в процессах превращений и определении свойств сплава.

Одной из наиболее важных представителей граничных зон является ***полиэдрическая структура.***

Образование полиэдрической структуры

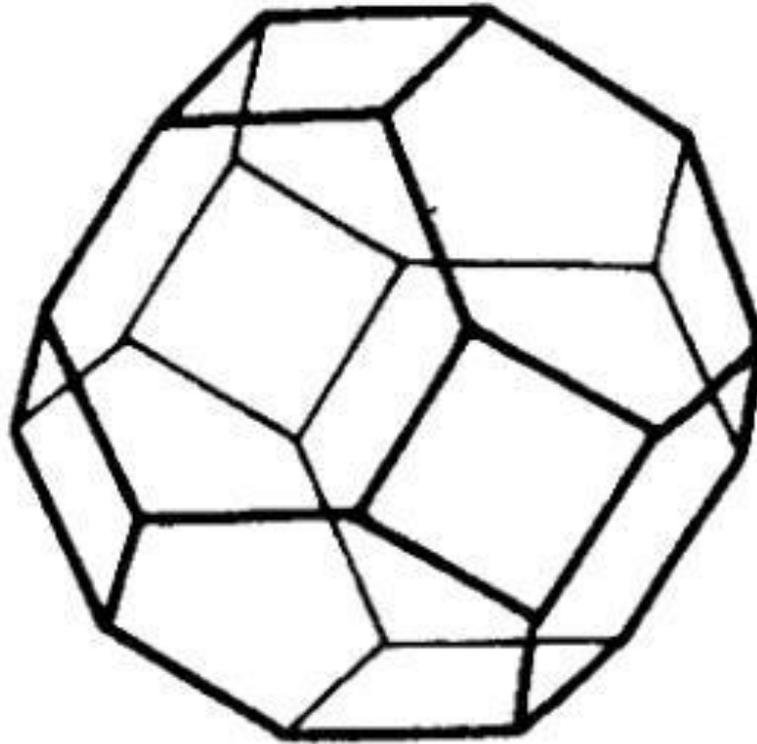
Как в процессе кристаллизации, так и после нее — в условиях, обеспечивающих достаточную подвижность атомов, ***в поликристаллической однофазной структуре самопроизвольно протекают процессы, вызванные стремлением к минимуму свободной энергии.***

Обусловленные этими процессами изменения структуры сводятся к уменьшению кривизны граничных поверхностей и линий ребер, выравниванию телесных и двугранных углов и др.

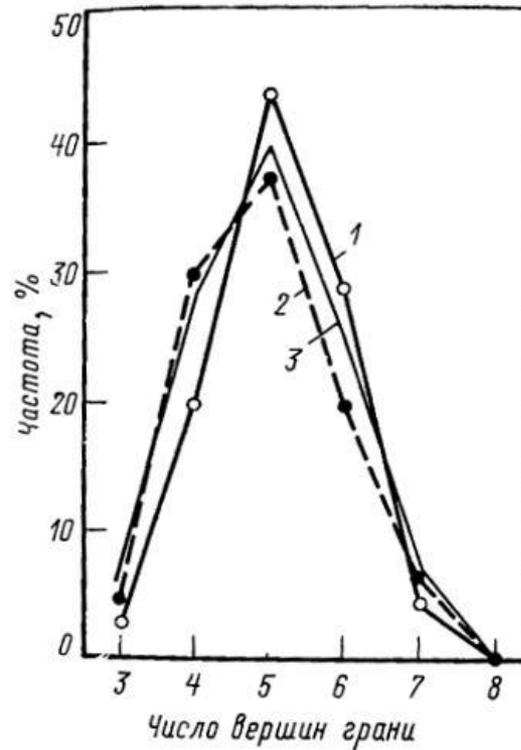
Существует понятие некой идеальной фигуры которая могла бы заполнить пространство с учетом требований минимизации свободной энергии. Эта фигура получила название – «идеальный полиэдр».

	Идеальный полиэдр	Кубический октаэдр
Число вершин	22,795	24
» ребер	34,192	36
» граней	13,397	14
Средний угол между ребрами . . .	109,47°	110°
» угол между гранями . . .	120°	120°
Средний телесный угол при вершинах, стерадиан	π	π
Среднее число вершин (сторон) грани	5,104	5,143
Число ребер, сходящихся в вершине	3	3

Идеальный полиэдр является мнимым, поскольку в любом реальном многограннике числа вершин, ребер и граней должны быть целыми

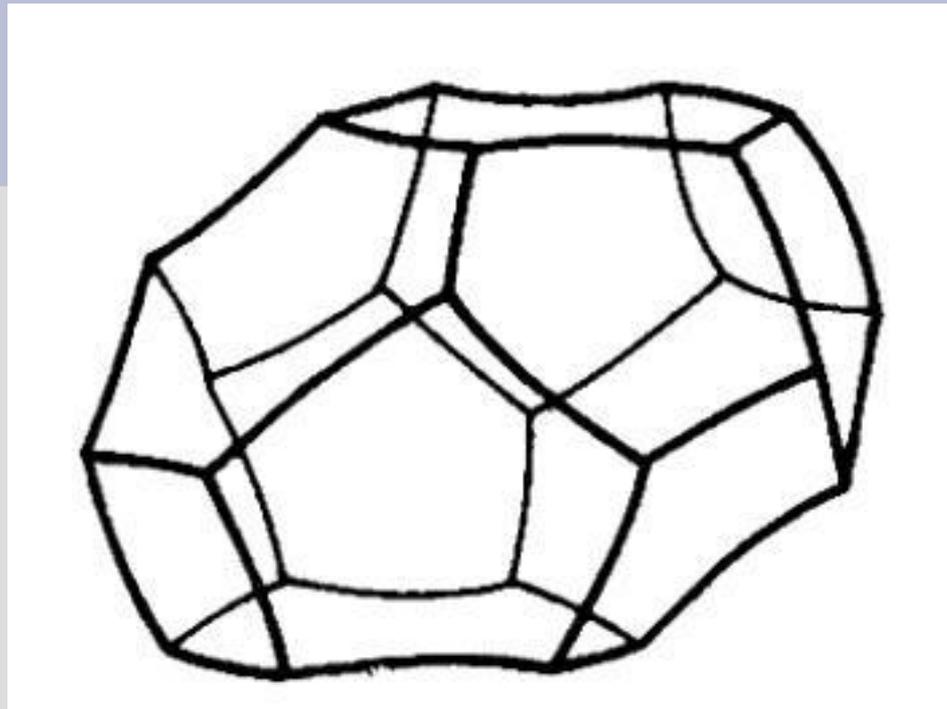


Из заполняющих пространство многогранников к идеальному полиэдру наиболее близок кубоктаэдр, который обычно и рассматривают как модель идеального зерна или ячейки полиэдрической структуры



Наблюдение изолированных микрочастиц, полученных различными методами разложения поликристаллических металлов на отдельные кристаллиты, показывает, что в них явно **преобладают пятиугольные грани.**

Частоты распределения граней полиэдров по числу их вершин. Во всех случаях отчетливо видно преобладание пятиугольных граней. Между тем в **кубооктаэдре 6 граней являются квадратами и 8 — правильными шестиугольниками, а пятиугольных граней нет.**

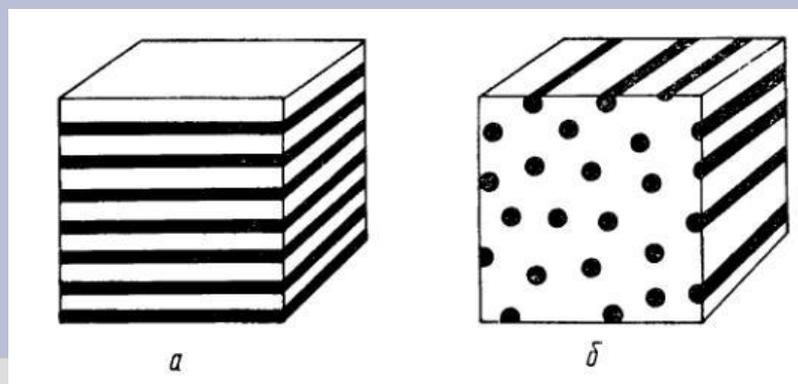


Поэтому с точки зрения формы граней, кубookтаэдр довольно далек от идеального полиэдра. *Более соответствует идеальному полиэдру **тетракаиэдрон Р. Вильямса***, получаемый преобразованием кубookтаэдра. Он может заполнять пространство, совпадает с кубookтаэдром по всем показателям, но имеет 2 квадратные, 8 пятиугольных и 4 шестиугольные грани.

Многофазные структуры

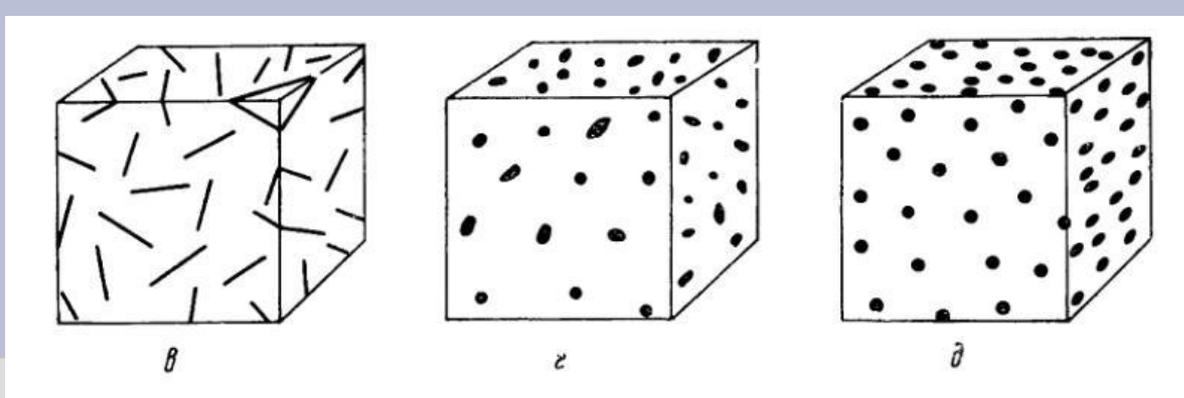
Принципиальное отличие многофазной структуры от полиэдрической состоит в том, что она построена из микрочастиц не одной, а по меньшей мере двух фаз. Часто вторая фаза присутствует не сама по себе, а в составе сложной структурной составляющей — **эвтектики или эвтектоида**. Поскольку они являются относительно более упорядоченными структурами, начнем с них рассмотрение многофазных структур и их параметров.

Эвтектики и эвтектоиды можно разделить на две группы по признаку наличия или отсутствия ориентации микрочастиц фаз в эвтектическом зерне.



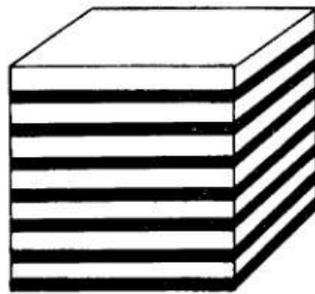
1. **Ориентированные эвтектики или эвтектоиды.** В каждом эвтектическом зерне микрочастицы хотя бы одной из фаз, составляющих эвтектику, ориентированы взаимно параллельно, однако эта ориентация не повторяется в соседних, смежных зернах эвтектики. Микрочастицы, составляющие эвтектику, могут иметь форму пластинок либо стержней:
 - а) **ориентированная пластинчатая эвтектика** построена из взаимно параллельных чередующихся пластин двух фаз. Отношение толщин пластинок этих фаз определяется отношением объемов фаз в эвтектике, которое постоянно для данного сплава. Наиболее известной структурой этой подгруппы является метастабильный эвтектоид железоуглеродистых сплавов — перлит. В перлите чередуются пластинки цементита и феррита, толщины которых относятся примерно как 1:7;
 - б) **ориентированная стержневая эвтектика** состоит из непрерывной фазы (матрицы), в которой внедрены взаимно параллельные стержневидные микрочастицы второй фазы. Примерами эвтектик такого типа могут служить — метастабильная эвтектика железоуглеродистых сплавов — ледебурит, эвтектика сплавов Cd — Sn и др.

2. **Неориентированные эвтектики или эвтектоиды.** Каждое эвтектическое зерно состоит из непрерывной фазы (матрицы), в которой внедрены беспорядочно (случайно) ориентированные микрочастицы второй фазы. Эти микрочастицы могут иметь форму пластинок, стержней или примерно равноосных зерен:

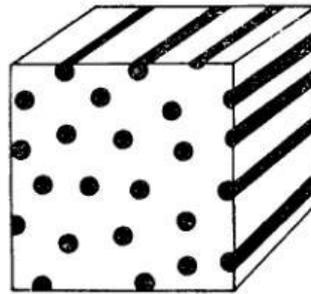


Классификация эвтектик (эвтектоидов) **по геометрии их строения:**

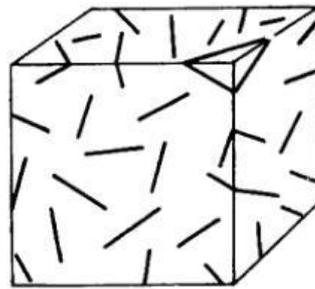
- а) **неориентированная пластинчатая эвтектика** состоит из матрицы с внедренными пластинками второй фазы, которые ориентированы беспорядочно. К этой группе относится эвтектика сплавов Al — Si, которую часто неправильно называют игольчатой;
- б) **неориентированная стержневая эвтектика** аналогична предыдущей, но микрочастицы второй фазы имеют форму тонких стержней, ориентированных беспорядочно. Поскольку вероятность пересечения этих стержней плоскостью шлифа вдоль их оси весьма мала, сечения стержней на шлифе имеют круглую или эллипсовидную форму. Поэтому такие эвтектики часто принимают за зернистые. К этому типу относится, видимо, эвтектика «медь — закись меди»;
- в) **зернистая эвтектика** состоит из матрицы с внедренными микрочастицами второй фазы, имеющими примерно сферическую форму. Примером такой структуры может служить тройная эвтектика сплавов Fe — C — P, называемая стедитом.



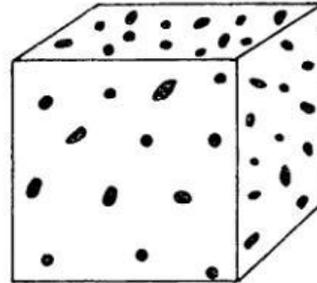
a



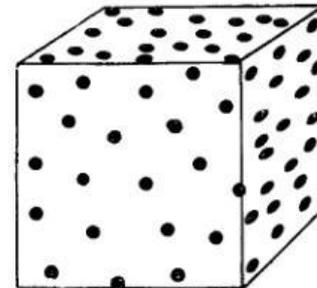
б



в



г



д

Классификация эвтектик (эвтектоидов) по геометрии их строения:

- а — ориентированные эвтектики с микрочастицами пластинчатой формы;
- б — стержневой;
- в — неориентированные эвтектики с микрочастицами пластинчатой формы;
- г — стержневой;
- д — шаровидной.

Поверхностная энергия фаз

В любой двойной эвтектике или эвтектоиде ***поверхность раздела фаз*** одновременно является поверхностью каждой из этих фаз в отдельности. Однако объемные доли фаз в эвтектике различны и, следовательно, ***различна поверхностная энергия, отнесенная к единице объема каждой из фаз.***

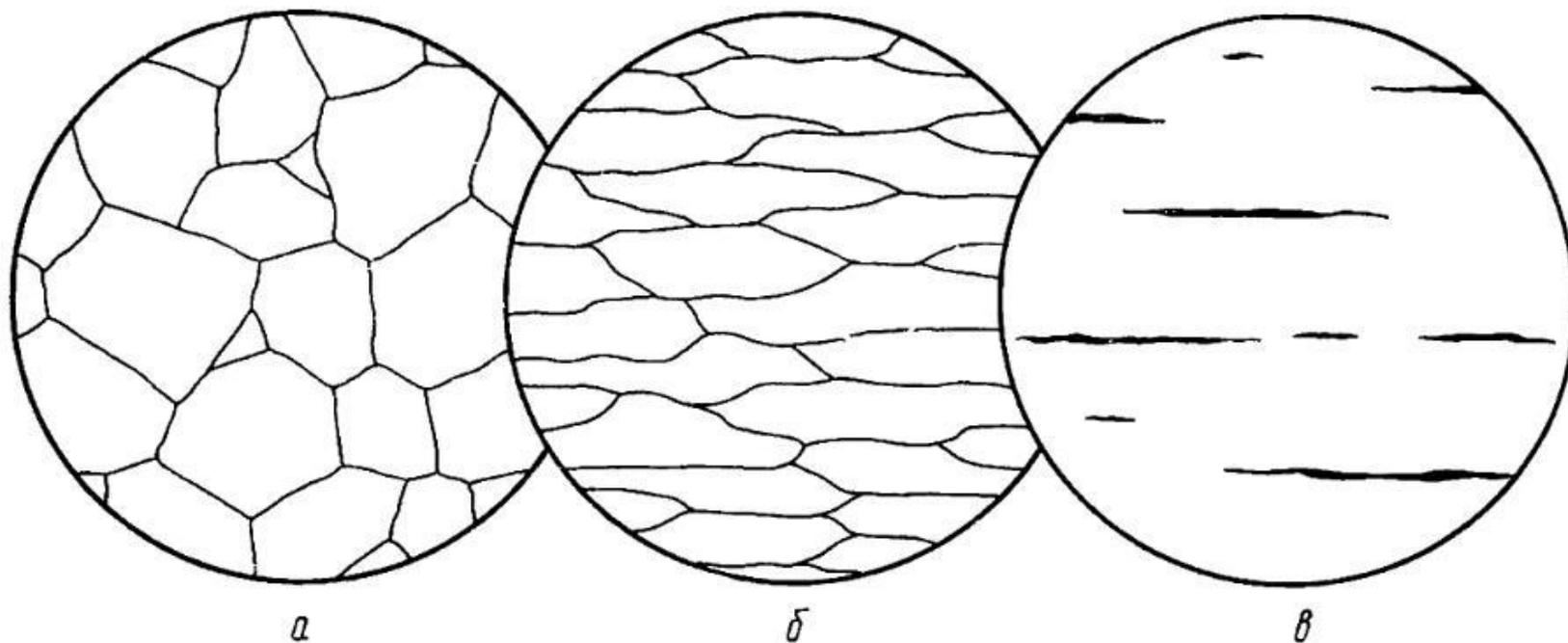
Поэтому ***важным параметром структуры является относительная удельная поверхность фазы***, под которой понимают ***суммарную площадь поверхности микрочастиц данной фазы, отнесенную к ее объему.*** Если удельная поверхность характеризует дисперсность структуры в целом и определяет свойства, зависящие от дисперсности, то относительная удельная поверхность оценивает дисперсность отдельной фазы и ее термодинамическую устойчивость.

ОРИЕНТИРОВАННЫЕ СТРУКТУРЫ

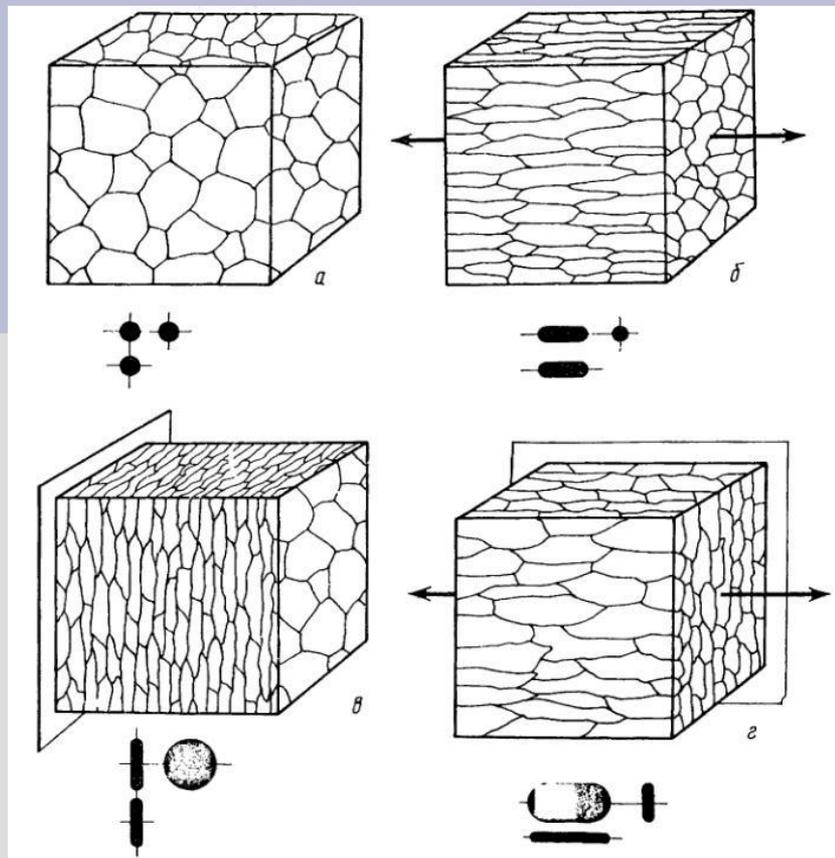
Как однофазные, так и многофазные структуры делят на **изометрические** и **ориентированные**.

В **изометрической структуре** полностью отсутствует какая-либо предпочтительная направленность граничных поверхностей в пространстве, структура изотропна.

В **ориентированной структуре** ее граничные поверхности частично или полностью параллельны некоторой линии или плоскости, называемые осью или плоскостью ориентации, структура анизотропна.



Различные виды граничных поверхностей:
а — изометрические граничные поверхности;
б — частично ориентированные поверхности,
в — почти полностью ориентированные.



Классификация граничных поверхностей по видам ориентации и формам микрочастиц: а — изометрическая; б — линейная; в — плоскостная; г — плоскостно-линейная ориентации.

Показаны оси и плоскости ориентации.

Оценка геометрических параметров

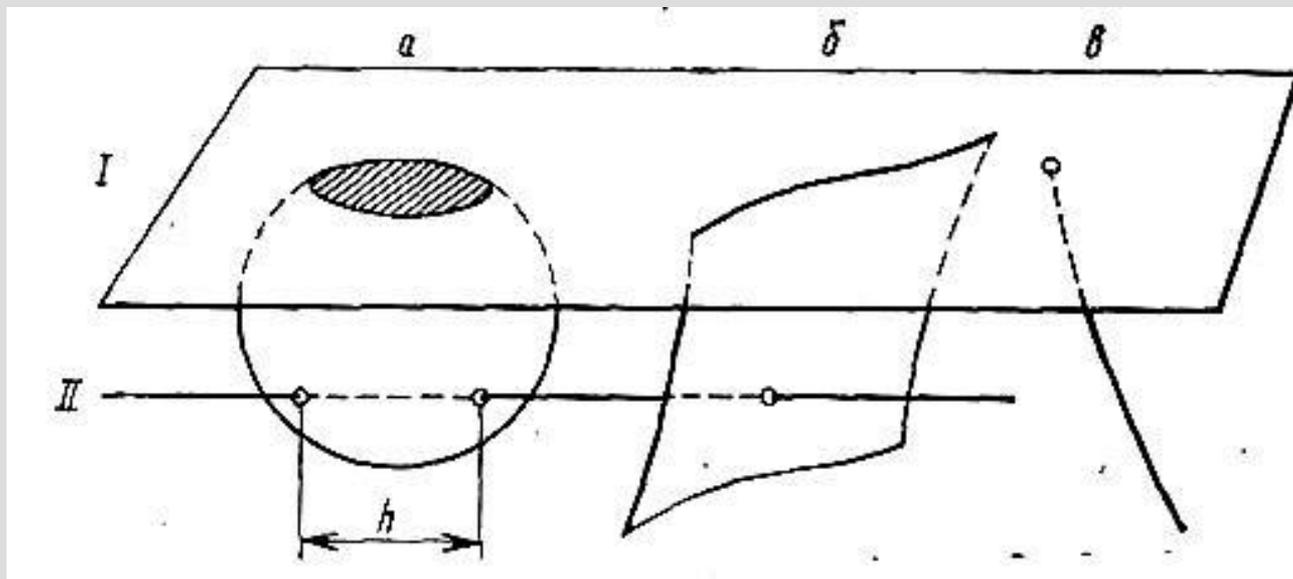
Геометрические параметры трехмерной, двумерной и одномерной структур

Источником информации о параметрах трехмерной структуры служит двумерная (плоскостная) структура сечения сплава, наблюдаемая на плоскости шлифа. **На плоскости шлифа элементы пространственной структуры представлены их следами:** микрочастица — ее сечением, поверхность микрочастицы — периметром ее сечения, линейный элемент пространственной структуры (ребро полиэдра, дислокационные линии) — точкой его выхода на плоскость шлифа, двугранный угол — его плоским сечением.

Исходными данными для количественного определения параметров пространственного строения служат параметры перечисленных выше и других элементов двумерной структуры, которые измеряют или подсчитывают на плоскости шлифа.

Соотношения между параметрами трехмерных, двумерных и одномерных структур

Поскольку металлические сплавы непрозрачны, можно проникнуть внутрь их пространственной структуры, пересекая ее плоскостью или линией. Это позволяет наблюдать двумерную структуру на плоскости шлифа и одномерную структуру на секущей линии (проведенной на том же шлифе).



Трехмерный (а), двумерный (б), и одномерный (в) элементы пространственной структуры и их следы на секущей плоскости (I) и на секущей линии (II)

Количественные соотношения между параметрами трехмерной, двумерной и одномерной структур

Геометрические параметры двумерной и одномерной структур могут быть измерены или подсчитаны на шлифе с необходимой точностью.

Эти параметры определяются параметрами трехмерной структуры и между ними должны существовать количественные соотношения.

*Для того чтобы рассчитать действительные параметры трехмерной структуры по измеренным параметрам двумерной и одномерной структур, следует найти **математически строгие зависимости** между параметрами трехмерной, двумерной и одномерной структур.*

Какие соотношения будут наиболее предпочтительными?

*При измерении геометрических параметров, имеющих различную размерность, экспериментально **наиболее сложно и трудоемко измерение объемов.***

Проще измерять площади плоских фигур, а еще проще — длины отрезков.

Наиболее просто подсчитать какие-либо элементы наблюдаемой структуры (точки отрезки, плоские фигуры) на определенной площади шлифа или длине секущей линии.

Поэтому предпочтительнее те математически строгие соотношения, связывающие параметр пространственной структуры с такими параметрами двумерной и одномерной структур, которые находят либо путем подсчета, либо измерением длин отрезков на секущей плоскости или на секущей линии.

В настоящее время известны семь основных математически строгих стереометрических соотношений, связывающих параметры трехмерной, двумерной и одномерной структур.

На этих соотношениях основывается большинство методов стереометрической металлографии и стереологии. Все эти соотношения являются статистическими – они связывают средние значения параметров или суммарные величины, отнесенные к единице объема сплава, к единице площади шлифа или к единице длины секущей линии.

Какое увеличение выбирать при съемке структуры?

Основные стереометрические соотношения выводятся на основании закономерностей геометрических вероятностей. При этом принимают, что структура однородна, т. е. ее параметры статистически постоянны в объемах, на секущих плоскостях и линиях, превышающих соответствующие единицы гомогенности микроструктуры.

Единица гомогенности микроструктуры - тот минимальный объем структуры, площадь шлифа или длину линий, который содержит представительный образец микроструктуры, дающей качественно и количественно правильное представление о микроструктуре в целом.

Некоторые стереометрические соотношения, наиболее часто используемые для анализа микроструктур в металловедении

Доля фазы в объеме сплава ($\sum V_\alpha$), на площади шлифа ($\sum F_\alpha$), на секущей линии ($\sum h_\alpha$) и доля случайных точек (z_α/z), попавших на фазу, равны друг другу:

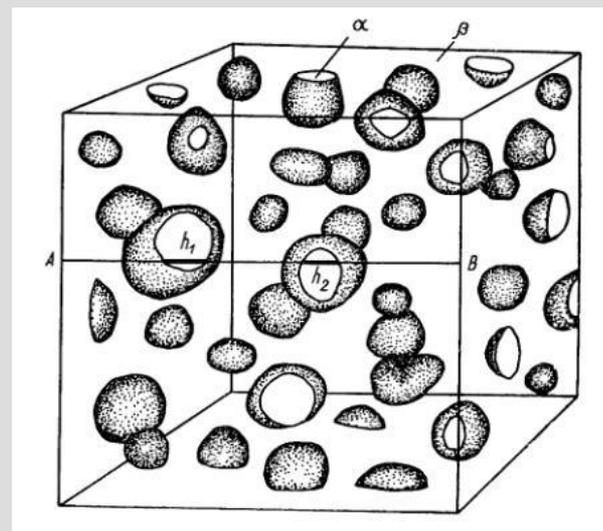
$$\sum V_\alpha = \sum F_\alpha = \sum h_\alpha = z_\alpha / z, \quad (1)$$

Глаголев А. А. 1931

Соотношение (1) выведено математически строго.

Оно показывает, что измерение относительного объема фазы (или структурной составляющей) в сплаве можно заменить измерением и суммированием площадей на единице площади шлифа, длин отрезков на единице длины секущей линии или подсчетом числа случайных точек на шлифе.

Определение объемной доли фаз сплава можно выполнять по одному из этих трех вариантов, независимо от общего числа фаз или структурных составляющих сплава.



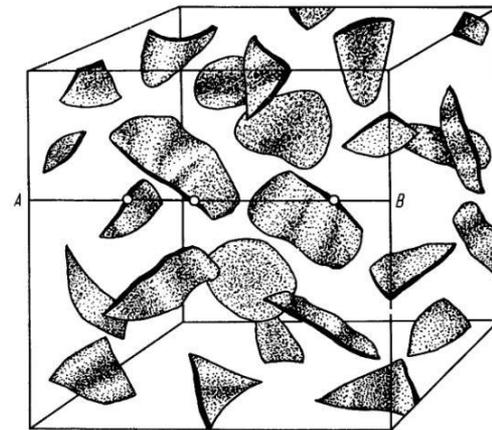
Некоторые стереометрические соотношения, наиболее часто используемые для анализа микроструктур в металловедении

$$\sum L = 2M \text{ мм/мм}^3 \quad (2)$$

где M – среднее число точек выхода линий на поверхность на единицу площади шлифа, мм^{-2}

$\sum L$ – суммарная длина линейных элементов пространственной структуры в единице ее объема или плотность линейных элементов в объеме сплава

Данное соотношение связывает суммарную длину линий в единице объема и среднее число следов этих линий (точек) на единицу площади случайной секущей плоскости (С. А. Салтыков 1946). Это соотношение позволяет определять суммарную длину линий в единице объема или плотность линейных элементов в объеме путем простого подсчета числа точек следов этих линий на единице площади шлифа.



Некоторые стереометрические соотношения, наиболее часто используемые для анализа микроструктур в металловедении

$$N = \frac{2}{\pi} (\overline{1/d}) n \text{ мм}^{-3}, \quad (3)$$

где N – число частиц в единице объема,

n – среднее число сечений на единицу площади шлифа,

d – средний диаметр сечения частицы

Это соотношение можно непосредственно использовать для определения числа шаровидных частиц, так как оба параметра правой части выражения (3) можно определить по шлифу путем измерений и подсчетов

Соотношение между средними величинами двугранных углов

в пространстве $\overline{\Phi}$ и их сечений случайной плоскостью $\overline{\varphi}$:

$$\overline{\varphi} = \overline{\Phi} \quad (4)$$

Это соотношение показывает, что средняя величина плоских углов, получаемых при пересечении плоскостью случайно ориентированных в пространстве двугранных углов, равна средней величине этих двугранных углов.

С какой стороны полуфабриката и сколько делать шлифов?

Основные стереометрические соотношения между параметрами трехмерных, двумерных и одномерных структур, рассматриваемые ниже, **действительны для любых структур** независимо от числа фаз, формы, размеров, числа и расположения микрочастиц, наличия или отсутствия ориентации и т. п., **при одном обязательном условии**: сечения пространственной структуры плоскостями или линиями, на которых выполняется измерение или подсчет величин параметров, должны быть расположены **случайно** (беспорядочно) или ориентированы в пространстве относительно структуры, так что **любое их положение или ориентации равновероятны**.

Это требование удовлетворяется при **изометрической структуре**, когда величины параметров не зависят от направления. В этом случае измерения или подсчет параметров двумерной и одномерной структур могут быть выполнены на **одном единственном шлифе**.

Если же структура **ориентирована в пространстве**, правильные значения параметров двумерной и одномерной структур можно получить, выполнив их измерение или подсчет **на многих шлифах**, плоскости которых **равномерно** ориентированы во многих направлениях пространственной структуры.

Поскольку это затруднительно, при анализе ориентированных структур используют **минимально необходимое число особым образом направленных шлифов** с соответствующей коррекцией соотношений между параметрами трехмерной, двумерной и одномерной структур, основываясь на наличии определенной симметрии таких структур.

Неоднородность структуры и плоскость выбора шлифа

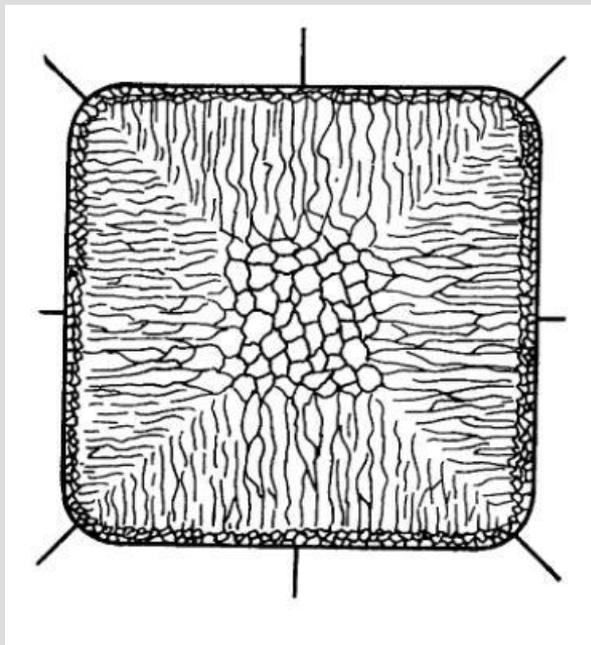
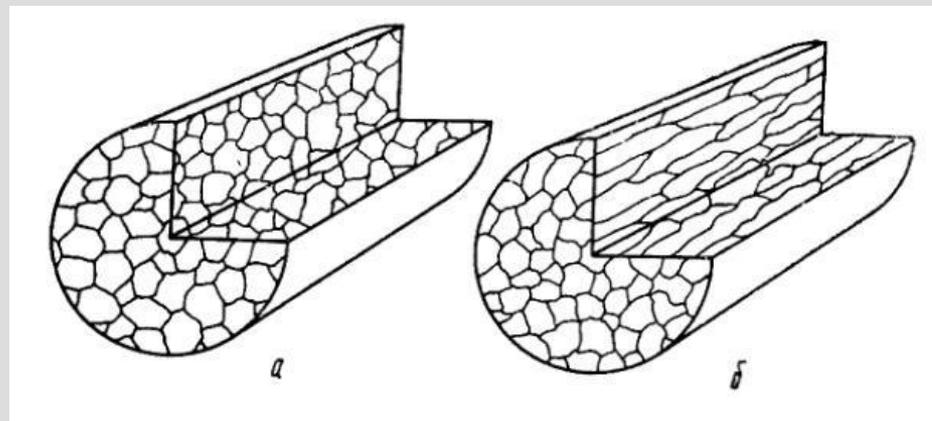


Схема структуры поперечного сечения стального слитка

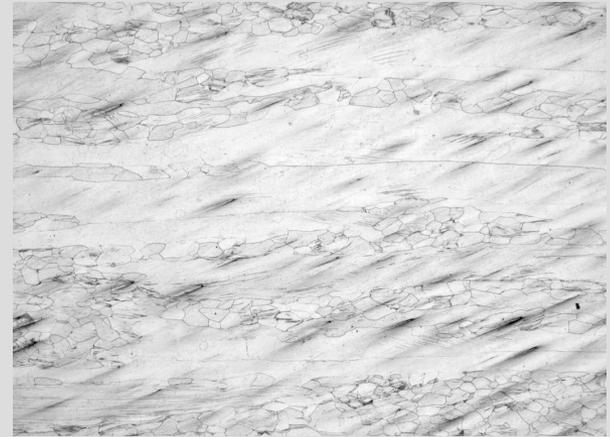


Схема, показывающая, что при одинаковой структуре поперечного шлифа пространственная структура может быть различной

Плоскость шлифа должна быть перпендикулярна к оси симметрии структуры!

Качество шлифа для стереометрического микроанализа

При выводе основных стереометрических соотношений принималось, что пространственная структура пересекается геометрической плоскостью. Поэтому основным требованием к качеству металлографического шлифа является минимальная рельефность его поверхности. Чем рельефнее поверхность шлифа, чем дисперснее структура, тем ниже точность определения параметров структуры.



Особо качественными должны быть шлифы, предназначенные для автоматического микроанализа. Отдельные царапины, приемлемые при анализе шлифа наблюдателем, недопустимы при автоматическом микроанализе, поскольку они будут регистрироваться наравне с линиям границ зерен.



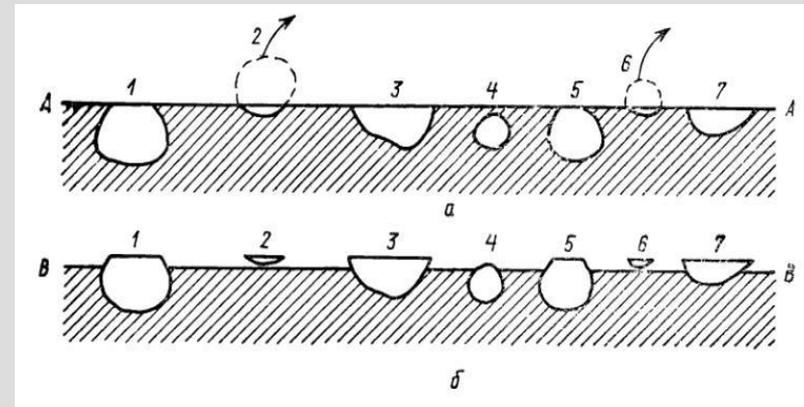
Влияние микрорельефа

Микрорельеф, получается в процессе полировки, что обусловлено различной твердостью структурных составляющих.

Для получения хорошего результата продолжительность полировки необходимо свести к минимальной, что требует тщательной предварительной подготовки поверхности шлифа путем шлифовки на абразивном круге и шкурках.

Увеличению микрорельефа способствуют переполіровки и глубокое травление.

Травление шлифа, необходимое для выявления элементов структуры, должно быть минимальным.



Влияние микрорельефа на различные параметры микроструктуры

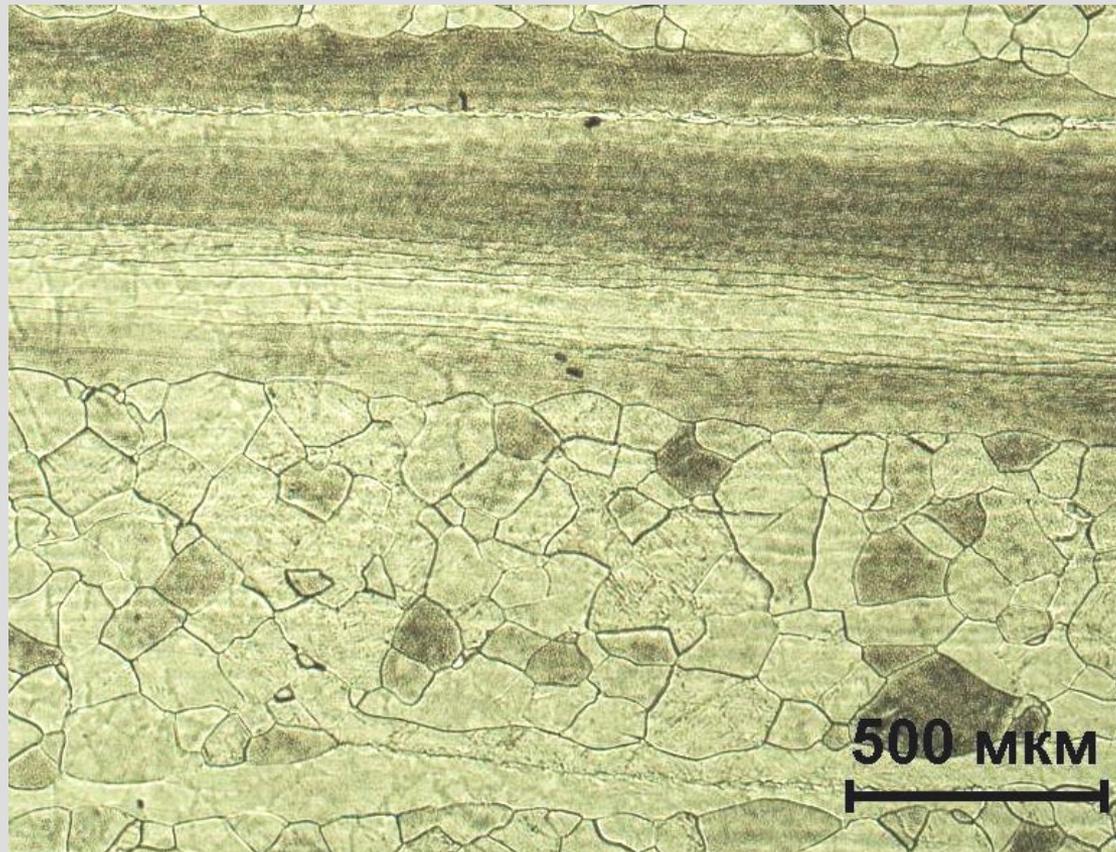
Микрорельеф по-разному влияет на точность определения различных параметров структуры.

Минимальный рельеф требуется при определении размеров и числа микрочастиц дисперсной фазы, а также объемной доли такой фазы.

Определение удельной поверхности зерен однофазных полиэдрических структур и не очень дисперсных фаз многофазных структур, менее чувствительно к величине микрорельефа.

Еще меньше влияние микрорельефа при определении суммарной длины линейных элементов пространственной структуры.

Пример неудачной электрополировки



Где здесь реальная структура?