

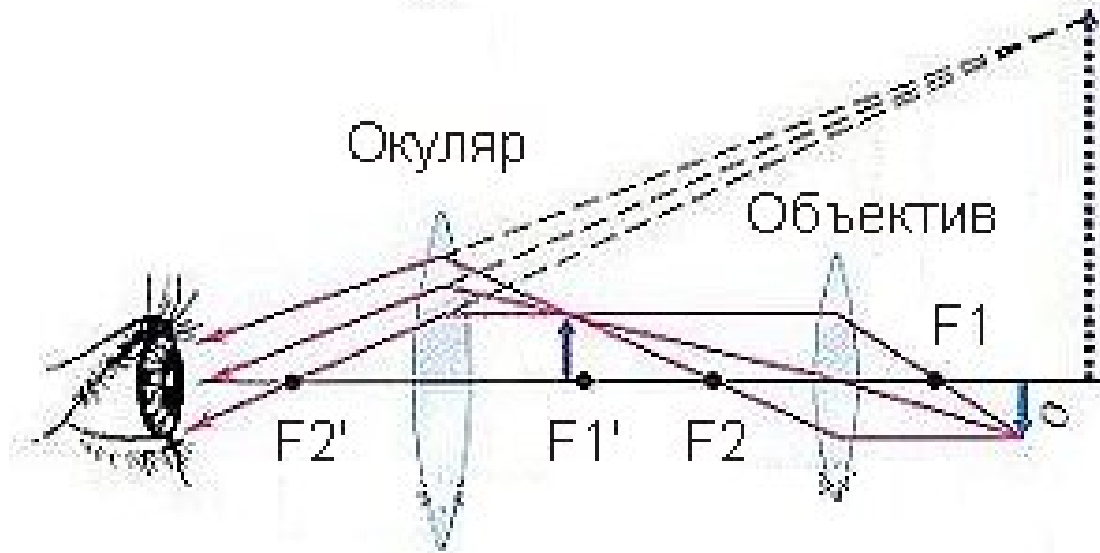
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ИССЛЕДОВАНИИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

МОДУЛЬ 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Лекция 10.

Оптическая микроскопия. Оптическая профилометрия. Металлографические исследования. Определение ориентации кристаллов. Аттестация зеренной структуры.

Оптический микроскоп состоит из двух собирающих линз - короткофокусного **объектива** и длиннофокусного **окуляра**, помещенных на концах трубы (тубуса), расстояние между которыми можно изменять при настройке на резкость.



Принцип формирования изображения

Рассматриваемый **объект** помещается перед объективом на расстоянии, немного большем фокусного расстояния объектива, то есть вблизи его фокуса F_1 .

Концентрированные при помощи конденсора лучи света попадают на объект и отражаясь от него, преломляются линзой объектива, создавая

перевернутое увеличенное **действительное изображение** объекта.

Тубус микроскопа делают такой длины, чтобы **изображение** оказалось вблизи фокуса окуляра F_1' (на расстоянии от окуляра, немного меньшем его фокусного расстояния).

Вследствие этого окуляр дает **мнимое** увеличенное изображение предмета.

Основные элементы оптического микроскопа



Окуляр

Окуляр - это обращённая к глазу часть микроскопа, предназначенная для рассматривания с некоторым увеличением оптического изображения, даваемого объективом микроскопа. Типовые увеличения окуляров для микроскопов от 5 до 25 единиц.



Характеристики окуляра

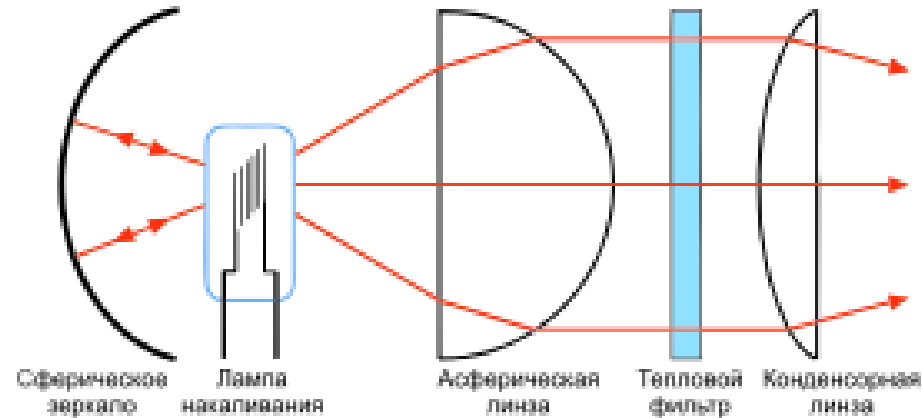
Вынос зрачка — расстояние от окуляра до глаза. Как правило лежит в диапазоне 5..20 мм. Если оператор носит очки то пользоваться окуляром с выносом 5 мм фактически невозможно. Наиболее комфортным считается расстояние 10..20 мм: с очками побольше без очков меньше. Излишне большой вынос зрачка также неудобен.

Поле зрения окуляра — угловой размер изображения, видимого через окуляр. Считается что широкое поле зрения (большой угловой размер изображения) удобнее для работы чем узкое.

Увеличение оптического микроскопа без дополнительных линз между объективом и окуляром равно произведению их увеличений.

Конденсор

Кондѐнсор (лат. *condenso* — уплотняю) — линзовая, зеркальная или зеркально-линзовая оптическая система, собирающая лучи от источника света и направляющая их на рассматриваемый или проецируемый предмет.



Назначение конденсора — направить как можно больше светового потока источника света, прошедшего через проецируемый предмет в объектив проецирующей оптической системы.



Апертура

характеристика оптического прибора, описывающая его способность собирать свет и противостоять дифракционному размытию деталей изображения.

Числовая апертура — равна произведению показателя преломления среды между предметом и объективом на синус апертурного угла.

$$A = n \cdot \sin \alpha$$

Апертура объектива — диаметр D светового пучка на входе в объектив и целиком проходящего через его апертурную диафрагму.



Большая (а) и маленькая (б) апертура

Разрешающая способность микроскопа

Линейный предел разрешения микроскопа, то есть минимальное расстояние между точками предмета, которые изображаются как отдельные:

$$\sigma = \frac{\lambda}{2A}$$

Длины волны $\lambda = 0.5 \text{ мкм}$,

Максимальное значение числовой апертуры микроскопа $A = n \cdot \sin \alpha = 1 \cdot 1$

Соответственно, предельно достижимая разрешающая способность микроскопа: **0,25 мкм**.

Повысить разрешающую способность микроскопа можно либо увеличивая апертуру объектива, либо уменьшая длину волны света, освещающего объект.

Иммерсия

Чтобы увеличить апертуру объектива, пространство между рассматриваемым предметом и объективом можно заполнить **иммерсионной жидкостью** – прозрачным веществом с показателем преломления больше единицы.

В качестве такой жидкости используют **воду** ($n = 1.33$), **кедровое масло** ($n = 1.52$), раствор **глицерина** и другие вещества.

Апертуры иммерсионных объективов большого увеличения достигают величины $A = 1.5$, в результате предельно достижимая разрешающая способность иммерсионного оптического микроскопа составит .

$$\sigma = \frac{\lambda}{2A} = \frac{0.5}{2 \cdot 1.5} = 0.15 \text{ мкм}$$

Применение ультрафиолетовых лучей

Для увеличения разрешающей способности микроскопа применяются **ультрафиолетовые лучи**, длина волны которых меньше, чем у видимых лучей.

При длине волны

$$\lambda = 0.2 \text{ мкм}$$

разрешающая способность микроскопа составляет

$$\sigma = \frac{\lambda}{2A} = \frac{0.2}{2 \cdot 1} = 0.1 \text{ мкм}$$

Поскольку человеческий глаз не воспринимает ультрафиолетовое излучение, **необходимо** либо прибегнуть к средствам, преобразующим невидимое ультрафиолетовое изображение в видимое, либо фотографировать изображение в ультрафиолетовых лучах

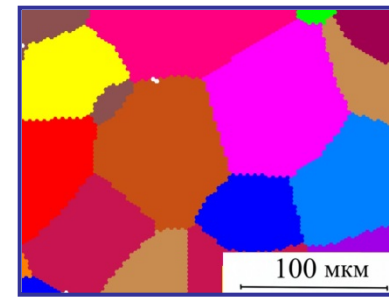


В зависимости от строения оптической системы различают следующие виды микроскопов:

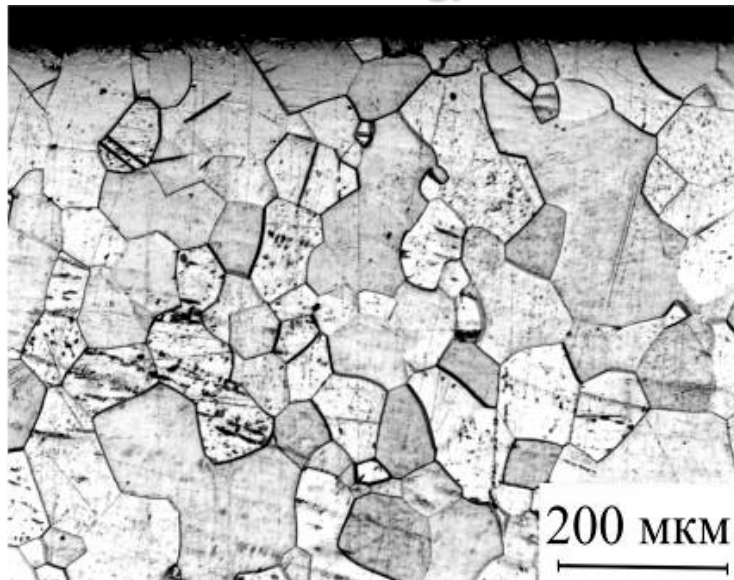
- **прямые** микроскопы (объективы, насадка, окуляры располагаются над объектом),
- **инвертированные** микроскопы (вся оптическая система располагается под объектом),



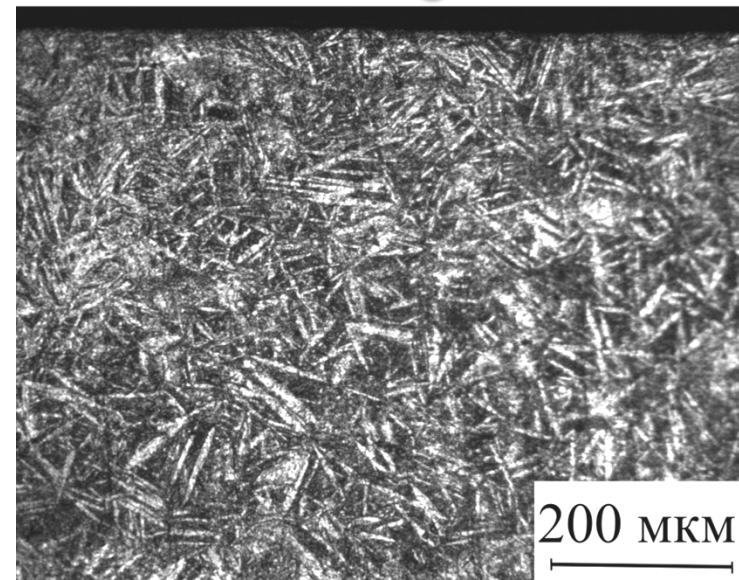
Металлография



а

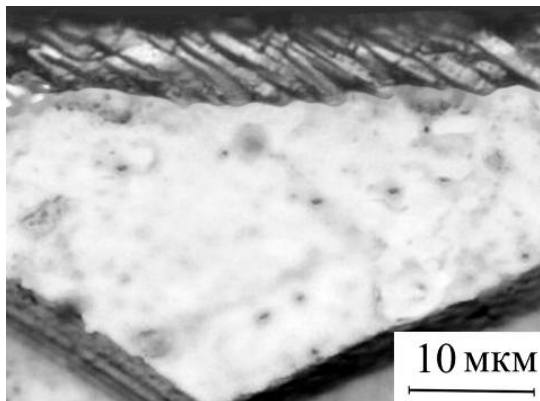


б

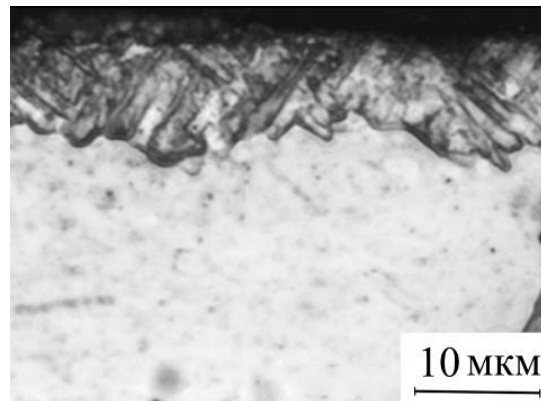


Микроструктура боковой поверхности образцов титана ВТ1-0, находящихся в исходном рекристаллизованном состоянии (а) и подвергнутых последующему наводораживанию в течение 15 минут (б)

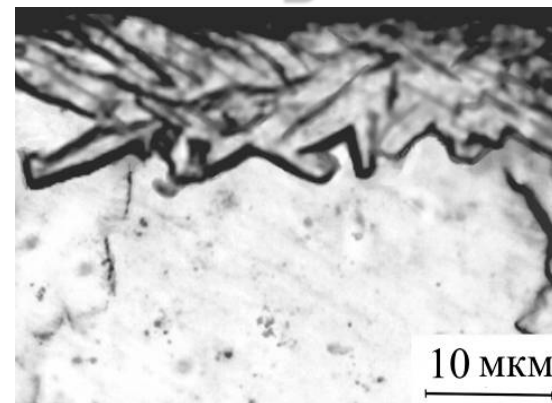
а



б

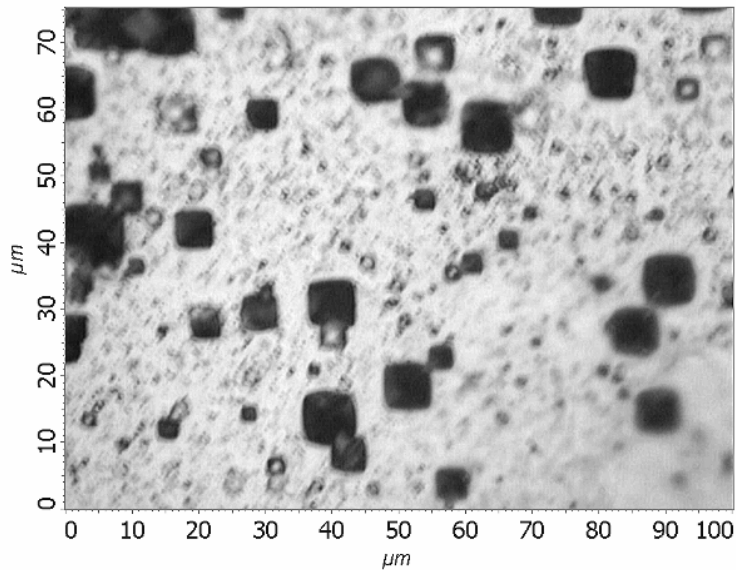


в

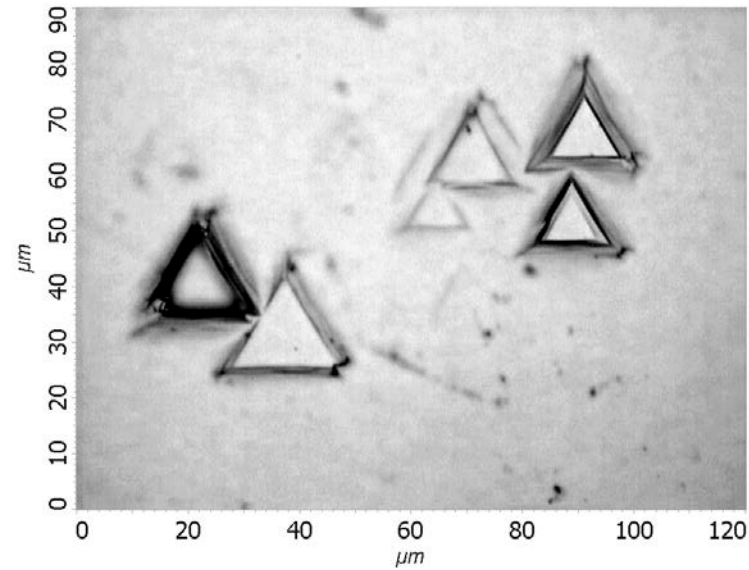


Оптические изображения микроструктуры поперечных шлифов образцов титана ВТ1-0 после обработки электронным пучком с плотностью энергии 12 (а), 18 (б), 24 Дж/см² (в)

Ориентация кристаллов



а



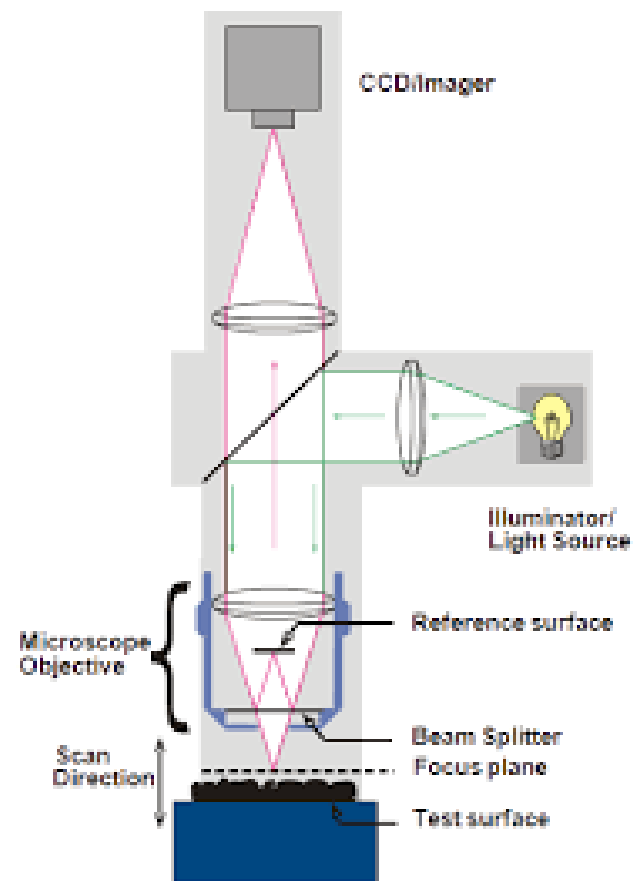
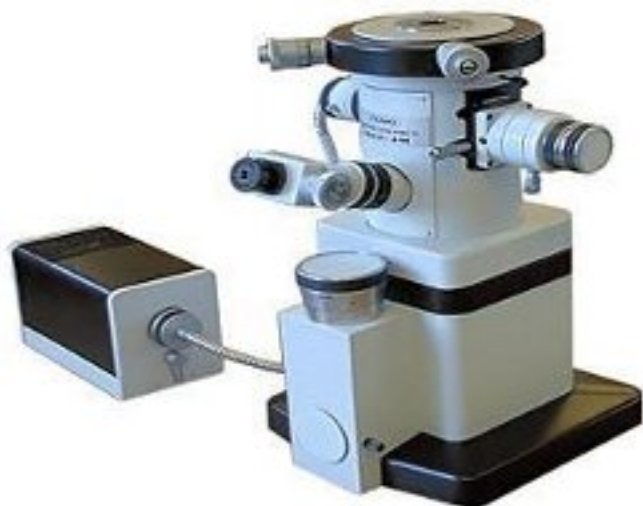
б

Оптические изображения ямок травления на поверхности подложек Si (100) (а) и Si (111) (б)

Травитель растворяет грань кристалла неравномерно из-за анизотропии₃ скоростей растворения.

Интерференционный микроскоп

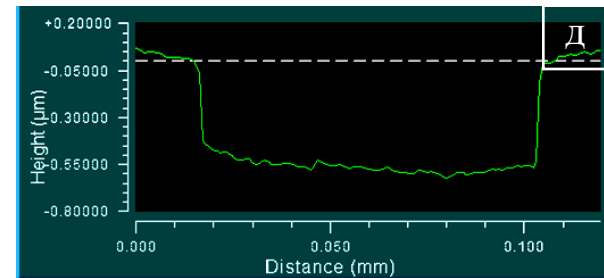
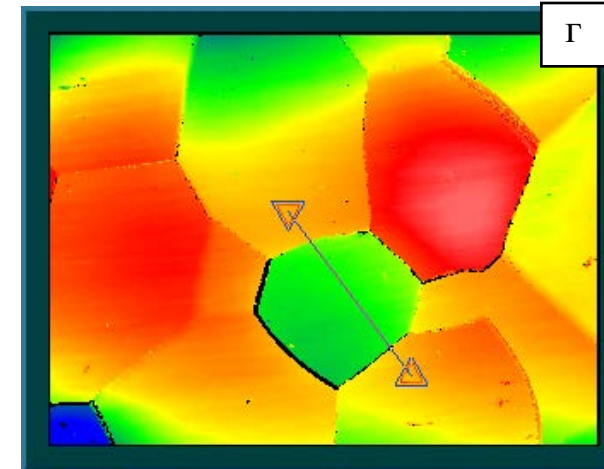
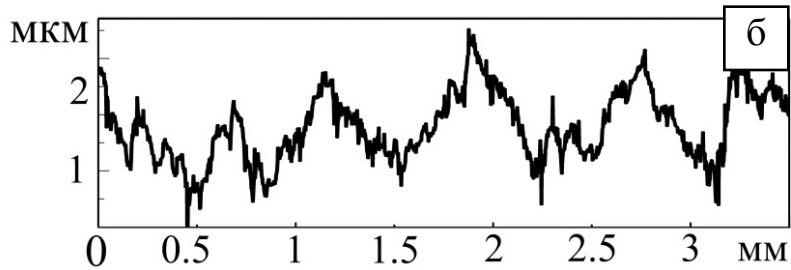
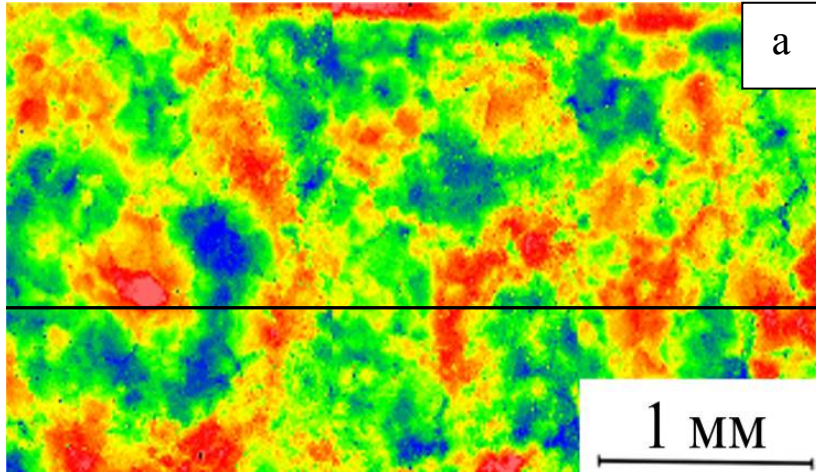
Принцип действия интерферометра (оптического профилометра) заключается в том, что свет, излучаемый с источника, отражаясь от исследуемой и опорной поверхностей, образует интерференционную картину, которая затем регистрируется видеокамерой. Затем данные обрабатываются и набор интерференционных картин преобразуется в карту уровней поверхности высокого разрешения.



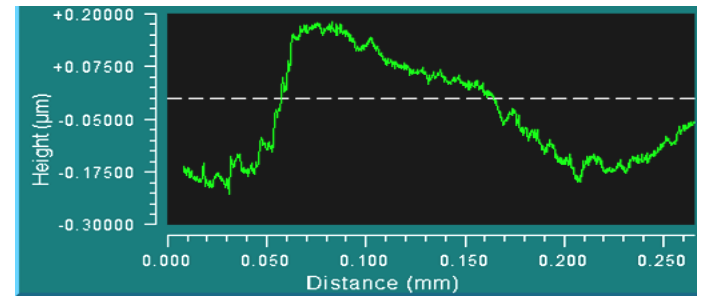
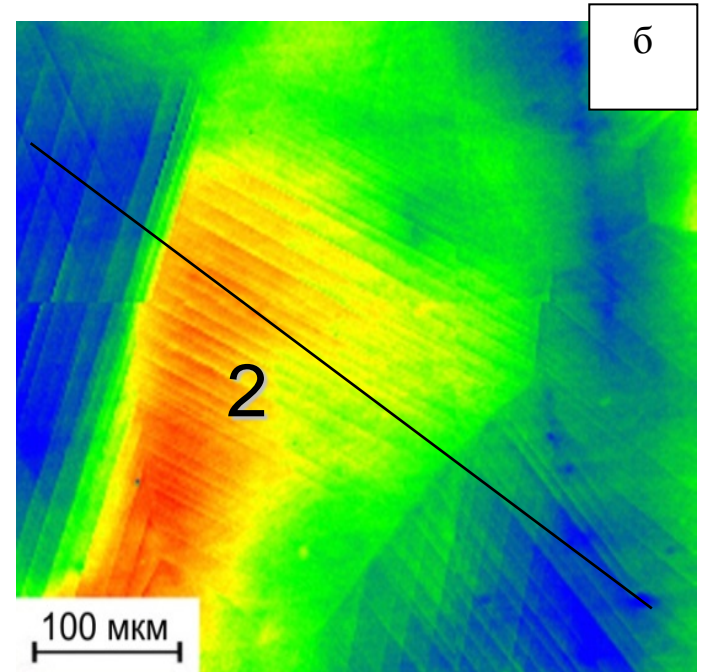
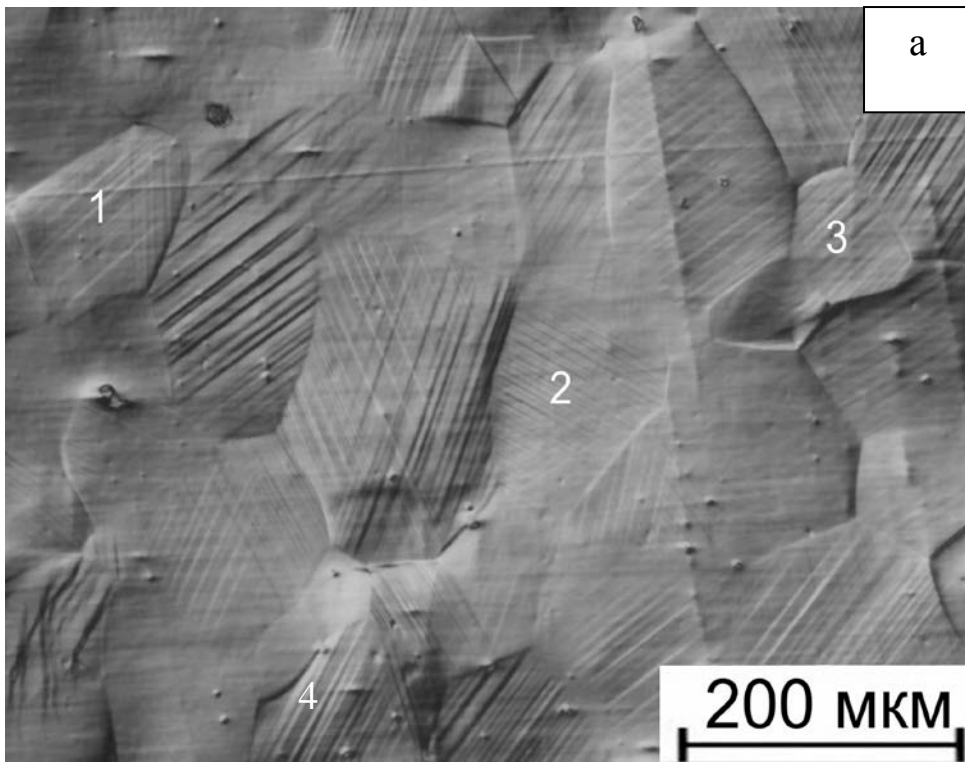
Оптический профилометр



Оптический профилометр

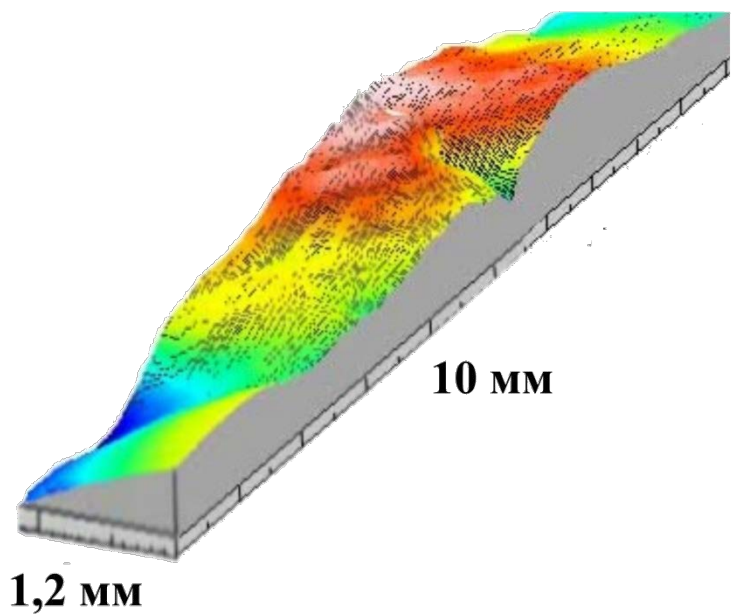


Изображения (а, в г) и соответствующие профили (б, д) поверхности образца титана ВТ1-0 после испытаний на растяжение; $\epsilon=5\%$; оптическая профилометрия



Изображение поверхности образца титана ВТ1-0 после испытаний на растяжение; $\epsilon=5\%$; оптическая микроскопия (а) и оптическая профилометрия (б)

•Трехмерный бесконтактный профилометр (Micro Measure 3D Station)



Диафрагмы это непрозрачные экраны с отверстиями или оправы. Чем меньше отверстие в диафрагме, тем лучшего качества будет изображение (если, конечно, размер отверстия не настолько мал, чтобы проявила себя дифракция). Но при этом уменьшается и освещенность изображения.

В оптических системах применяются три вида диафрагм

апертурная диафрагма - ограничивает световой пучок от предмета. Этой диафрагмой определяется световой поток и освещенность изображения (на рис. 3.5 это диафрагма В-В);

входной зрачок - отверстие (или его изображение), которое в наибольшей степени ограничивает световой пучок на входе в систему (на рис. 3.5 это отверстие В1-В1);

выходной зрачок - отверстие (или его изображение), которое ограничивает световой пучок на выходе из системы (на рис. 3.5 это отверстие В2-В2);

