

## **Лабораторная работа 7**

# **Изучение дислокационной субструктуры металлов и сплавов. Классификация ДСС.**

Томск – 2013

## Рекомендуемая литература

- 1. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. – М.: Metallurgy, 1973. – 584 с.
- 2. Фридель Ж. Дислокации. – М.: Мир, 1967. – 643 с.
- 3. Гольдштейн М.И., Фарбер Б.М. Дисперсионное упрочнение стали. - М.: Metallurgy, 1979. – 208 с.
- 4. Григорович В.К., Шефтель Е.Н. Дисперсионное упрочнение тугоплавких металлов. – М.: Наука, 1980. – 304 с.

# Цель работы

Ознакомление с дислокационной субструктурой, формирующейся в металлах и сплавах

## **Задачи работы**

1. Ознакомиться с дефектами кристаллической структуры металлов и сплавов;
2. Ознакомиться с типами дислокационных субструктур, формирующихся в металлах и сплавах.

## **Вид отчетности:**

Сдать реферат и отчет на тему:

**Изучение дислокационной субструктуры металлов и сплавов. Классификация ДСС.**

## Дефекты строения кристаллов

Современные методы исследования строения кристалла позволили установить, что в строении реального кристалла металла имеются дефекты. Дефекты или несовершенства внутреннего кристаллического строения реальных металлов принято делить на **точечные**, **линейные** и **поверхностные**. Точечные дефекты малы во всех измерениях. Линейные дефекты охватывают в длину многие ряды атомов, однако их протяженность в двух других направлениях, поперек линии распространения дефектов, очень мала. Поверхностные дефекты малы лишь в одном измерении.

**Точечные дефекты** бывают нескольких типов.

а) свободные места в узлах кристаллической решетки - вакансии (дефекты Шоттки);

б) атомы, сместившиеся из узлов кристаллической решетки в межузельные промежутки — дислоцированные атомы (дефекты Френкеля);

в) атомы других элементов, находящиеся как в узлах, так и в междоузлиях кристаллической решетки — примесные атомы.

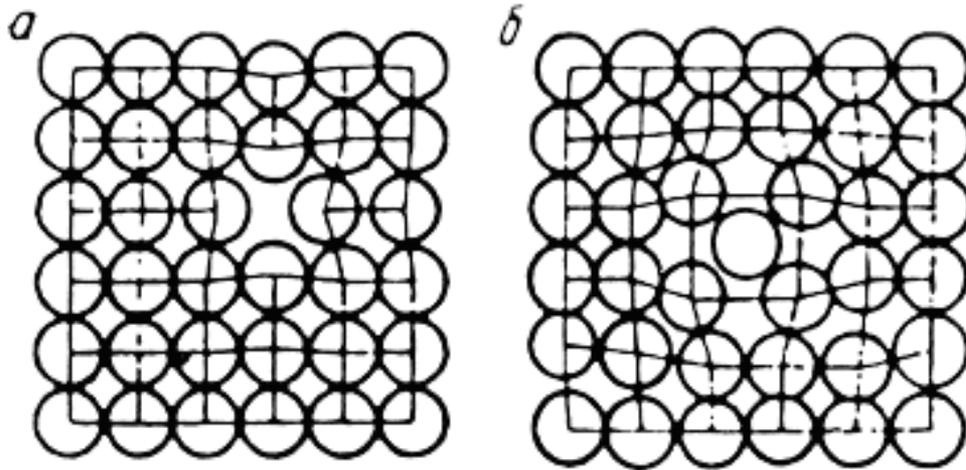


Рис.1. Точечные дефекты в кристаллической решетке:

а) вакансия; б) дислоцированный атом (примесные атомы). <sup>6</sup>

Точечные дефекты (рис. 1) характеризуются малыми размерами во всех трех измерениях. Величина их не превышает нескольких атомных диаметров.

Точечные дефекты приводят к локальным изменениям межатомных расстояний и, следовательно, к искажениям кристаллической решетки. При этом увеличивается сопротивление решетки дальнейшему смещению атомов, что способствует некоторому упрочнению кристаллов и повышает их электросопротивление.

Вакансии, дислоцированные атомы и другие точечные дефекты обнаружены при исследовании металлов с помощью **автоионного микроскопа**, дающего увеличение свыше  $10^6$  раз.

**Линейные дефекты** строения кристаллической решетки, искажающие правильное расположение атомных (кристаллографических) плоскостей, называются дислокациями. Дислокации бывают нескольких типов:

- краевые,
- винтовые,
- смешанные,
- частичные и т. д.

Наиболее часто в металлах присутствуют два типа дислокации: краевая и винтовая.

Если одна из атомных плоскостей обрывается внутри кристалла, возникает краевая дислокация, край «лишней» полуплоскости является ее осью (рис. 2). Простейшая наглядная модель краевой дислокации — книга, у которой от одной из внутренних страниц оторвана часть. Тогда, если страницы книги уподобить атомным плоскостям, то край оторванной части страницы моделирует линию краевой дислокации.

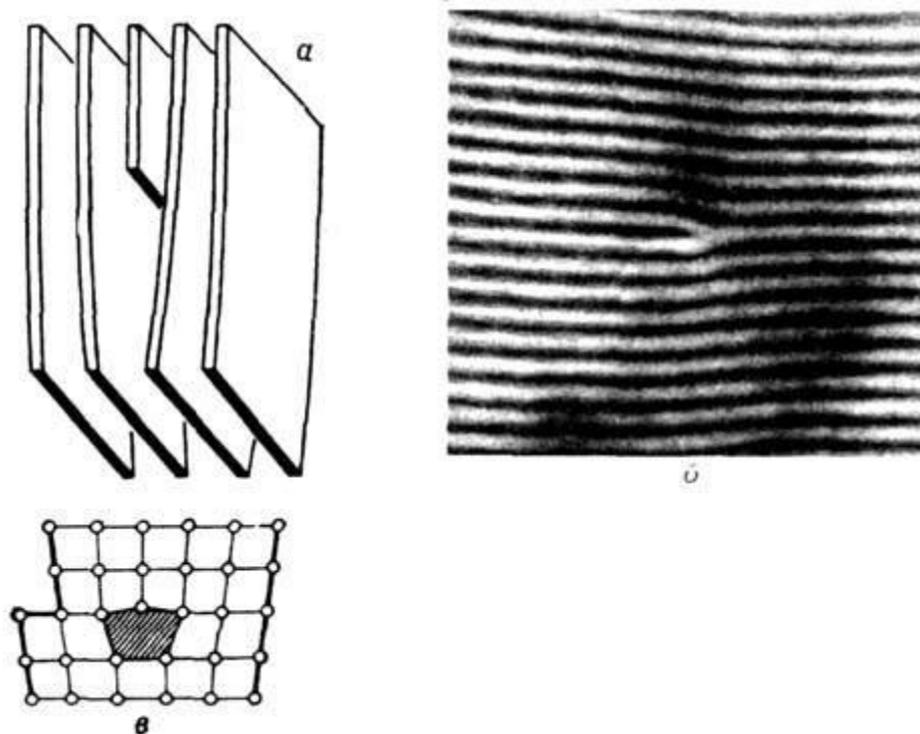
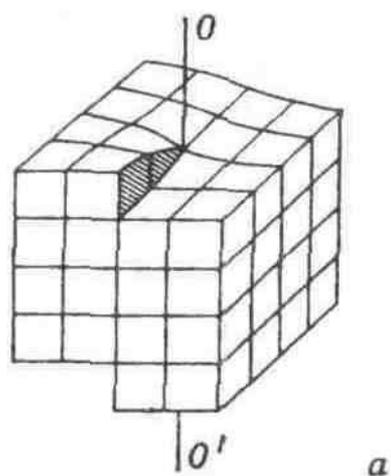
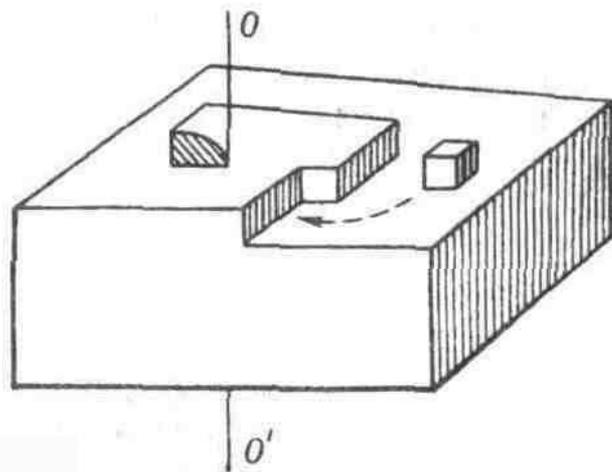


Рис. 2. Краевая дислокация: *a* - обрыв атомной плоскости; *б* - электронно-микроскопическое изображение дислокации в кристалле; *в* - схема расположения атомов в ядре дислокации.

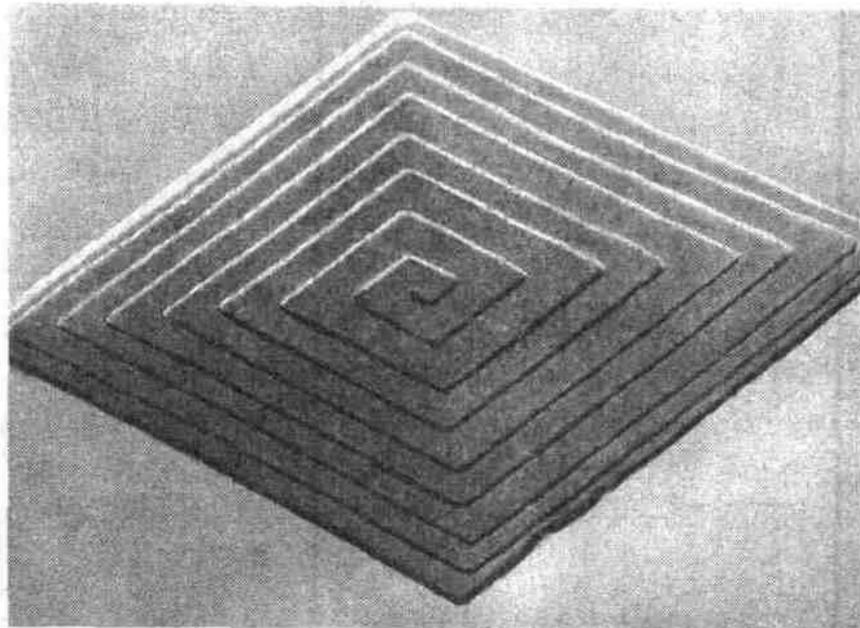
Винтовая дислокация — результат смещения на период решетки одной части кристалла относительно другой вдоль некоторой полуплоскости параллельно ее краю, играющему роль оси дислокации. Винтовая дислокация возникает при сдвиге на период решетки одной части кристалла относительно другой вдоль некоторой полуплоскости параллельно ее краю, играющему роль оси дислокации. Она параллельна напряжениям сдвига, образовавшим дислокацию. У краевой дислокации напряжения сдвига, образовавшие ее, были перпендикулярны экстраплоскости. Дислокация, изображенная на рис. 3, называется винтовой потому, что, перемещаясь по стрелке, можно обойти все атомные плоскости кристалла по винтовой линии. Дислокации образуются в металле при его кристаллизации, при закалке, пластической деформации и т. д.



*a*



*б*



*в*

Рис. 3. Винтовая дислокация, *a* - схема расположения атомов (кубик) в кристалле с дислокацией; *б* - поверхность кристалла с выходом винтовой дислокации; *в* - спираль роста в кристалле парафина, возникшая на выходе винтовой дислокации.

Создание теории дислокаций позволило объяснить многие явления, происходящие в металлах. Например, теоретическая прочность железа равна примерно  $14 \text{ Гн/м}^2$  ( $1400 \text{ кГ/мм}^2$ ). Однако реальная прочность чистого железа достигает всего  $0,20\text{—}0,22 \text{ Гн/м}^2$  ( $20\text{—}22 \text{ кГ/мм}^2$ ), т. е. в 70 раз меньше. Это расхождение удалось объяснить только на основании теории дислокаций. В лабораторных условиях получают монокристаллы железа почти свободные от дислокаций и имеющие прочность при растяжении около  $13 \text{ Гн/м}^2$  ( $1300 \text{ кГ/мм}^2$ ). Если бы удалось в промышленном масштабе получать железо с такой высокой прочностью при растяжении, то экономия при расходе металла оказалась бы колоссальной. Для сравнения отметим, что очень распространенная сталь 20 имеет предел прочности  $0,44\text{—}0,54 \text{ Гн/м}^2$  ( $44\text{—}54 \text{ кГ/мм}^2$ ), а более прочная сталь ЭИ723 —  $1,1 \text{ Гн/м}^2$  ( $110 \text{ кГ/мм}^2$ ).

Дислокации всегда присутствуют в реальных кристаллах. Плотность дислокаций колеблется от  $10^2$ - $10^3$  см<sup>-2</sup> в наиболее совершенных монокристаллах до  $10^{11}$ -  $10^{12}$  см<sup>-2</sup> в сильно искажённых (холоднообработанных) металлах.

Методы наблюдения дислокаций: избирательное химическое травление, анализ фотоупругости, рентгеноструктурный анализ и **электронная микроскопия**.

В результате электронно-микроскопических исследований, проведенных во многих работах на различных металлах и сплавах, было установлено, что все наблюдавшиеся типы дислокационных субструктур (ДСС) можно разделить на два больших класса:

- I) класс неразориентированных субструктур;
- II) класс разориентированных субструктур.

В первых - разориентировки могут быть, но они не превышают  $0,5^\circ$ .

Среди незориентированных дислокационных субструктур выделяют (рис. 4):  $a(1)$  - хаотическое распределение почти невзаимодействующих дислокаций,  $b(2)$  - скопления дислокаций,  $v(3)$  - однородная сетчатая субструктура,  $z(4)$  - дислокационные клубки,  $d(5)$  - незориентированные ячейки,  $e(7)$  - ячеисто-сетчатая незориентированная субструктура.

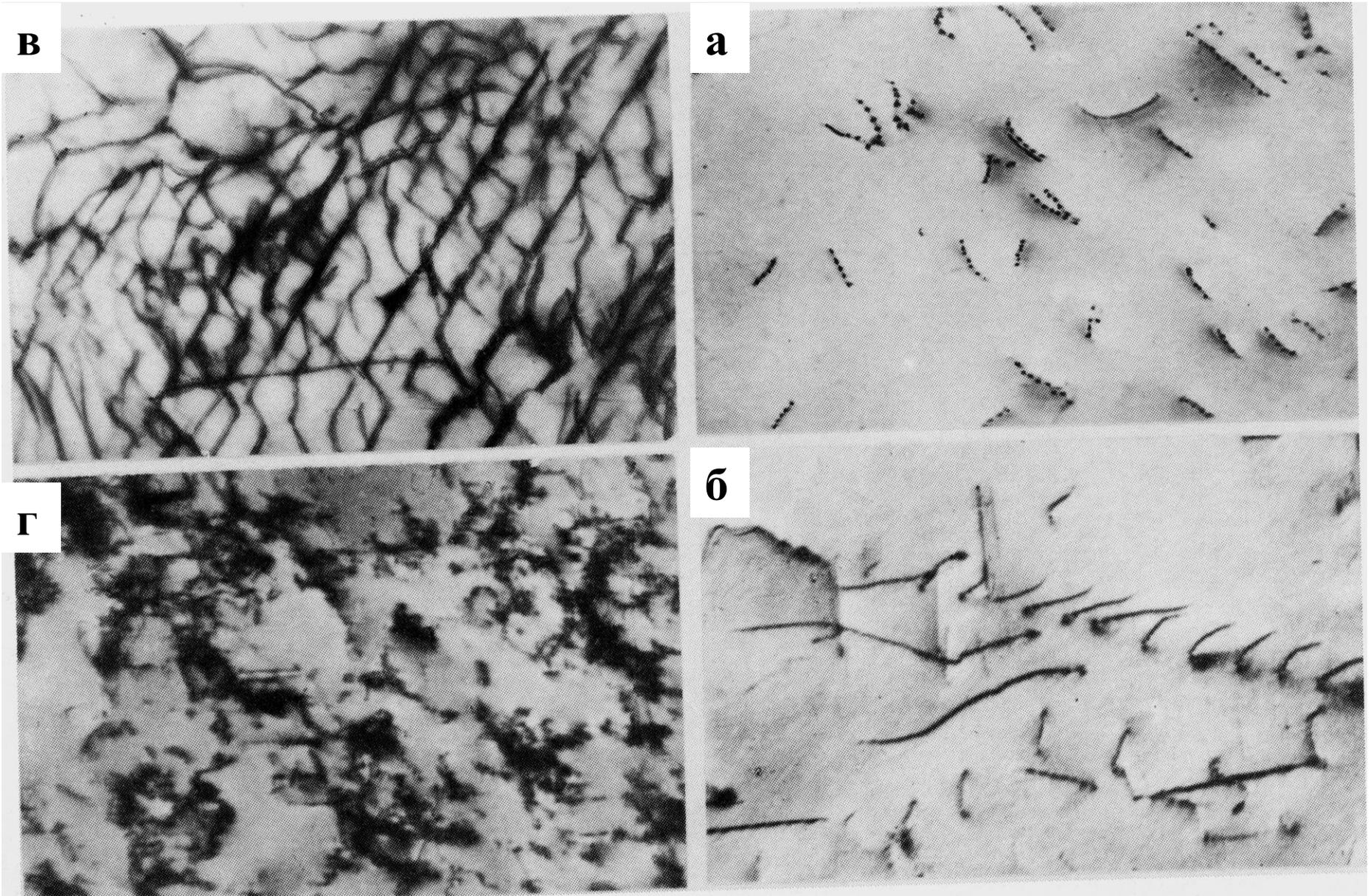


Рис.4. Электронно-микроскопические изображения  
незориентированных дислокационных субструктур

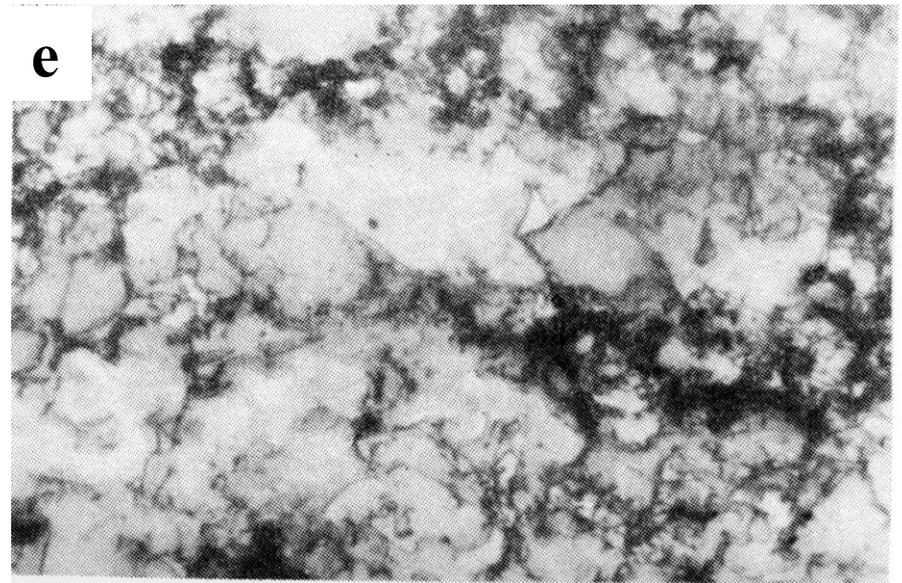
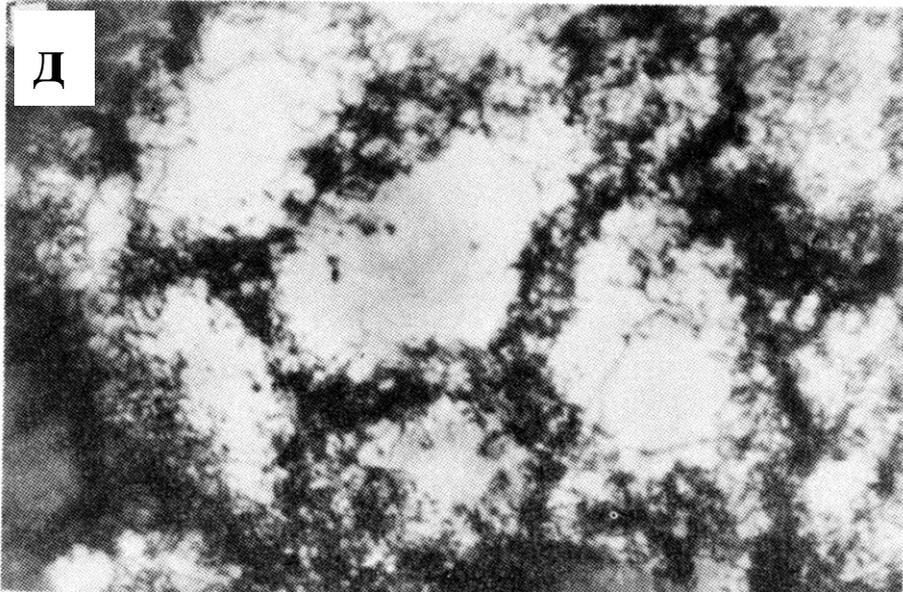


Рис.4.  $d(5)$  - незориентированные ячейки,  $e(7)$  - ячеисто-сетчатая незориентированная субструктура.

К разориентированным субструктурам (разориентировки превышают  $0,5^\circ$ ) относятся (рис. 5):  $a(6)$ — ячеистая с разориентировкой;  $б(8)$ — ячеисто-сетчатая дислокационная структура с плавными разориентировками;  $в(9)$  — полосовая субструктура;  $г(10)$  — субструктура с многомерными дискретными и плавными разориентировками;  $д(11)$  — фрагментированная субструктура.

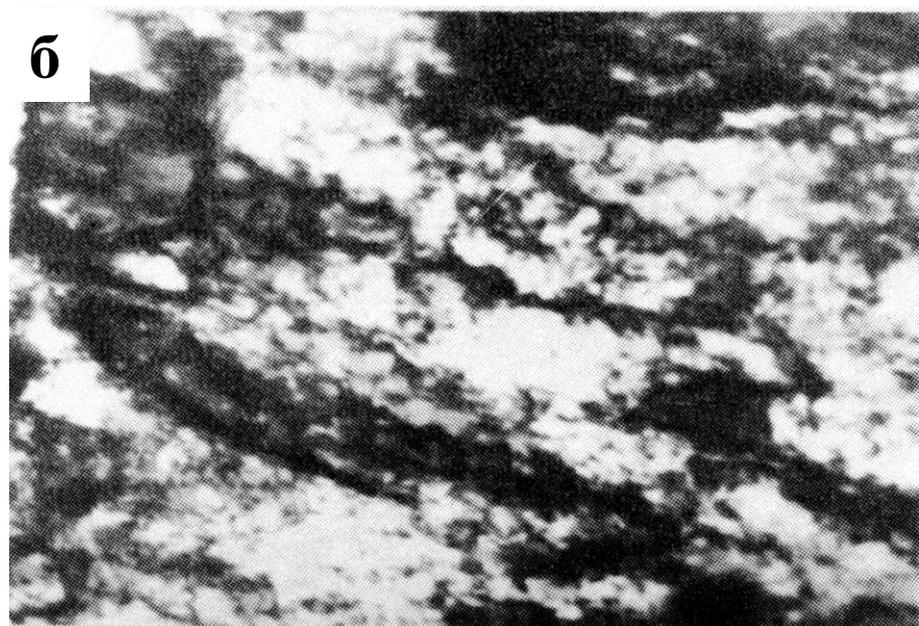
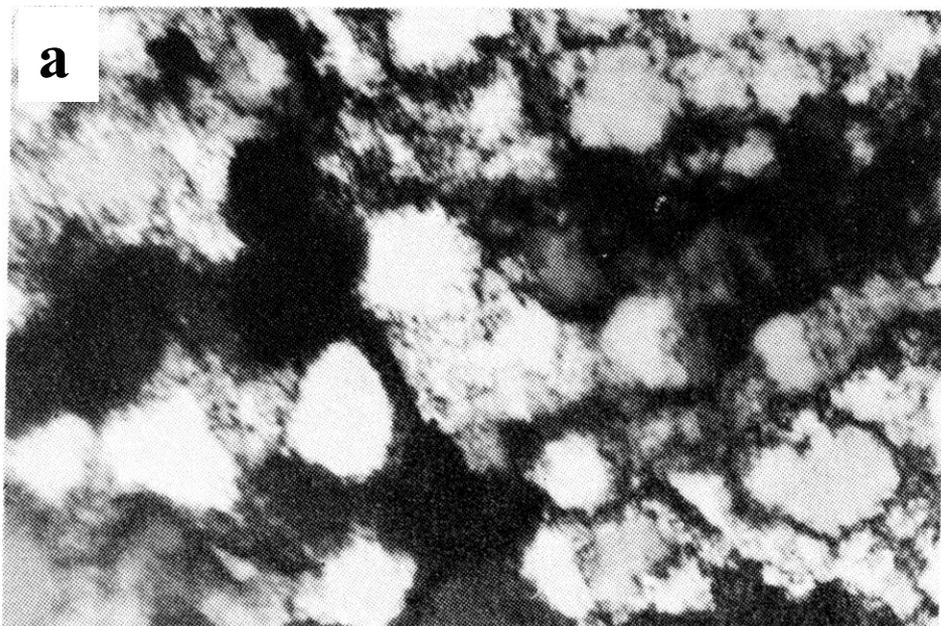


Рис.5. Разориентированные дислокационные субструктуры:  
*а(б)*— ячеистая с разориентировкой; *б(8)*— ячеисто-сетчатая  
дислокационная структура с плавными разориентировками.

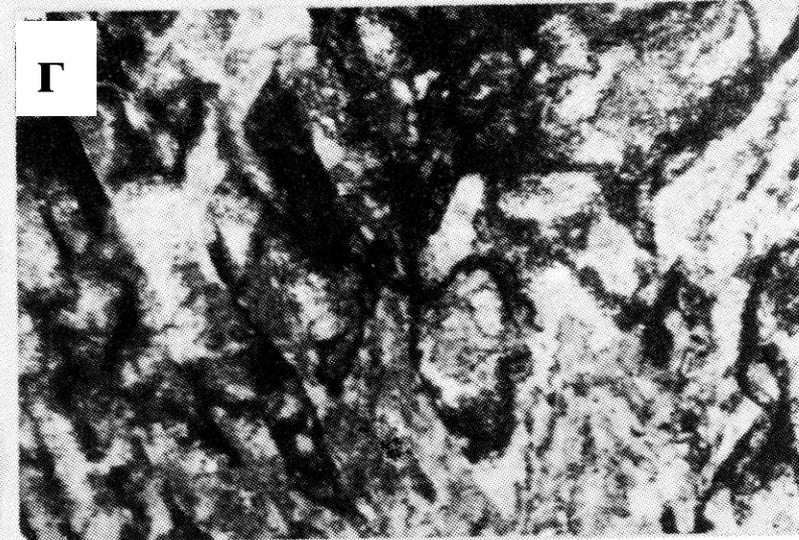
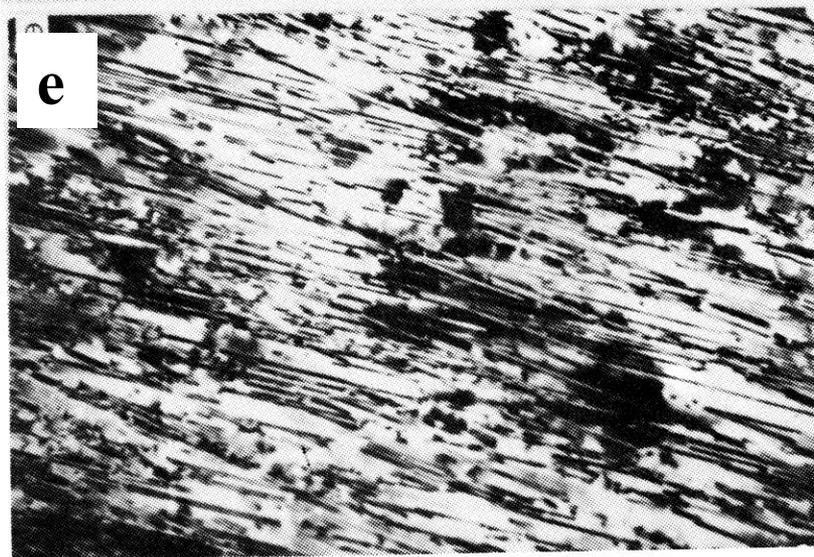


Рис.5. Разориентированные субструктуры: *в* (9) — полосовая субструктура; *г*(10) — субструктура с многомерными дискретными и плавными разориентировками; *д*(11) — фрагментированная субструктура; *е*(12) — расщепленные дислокации.

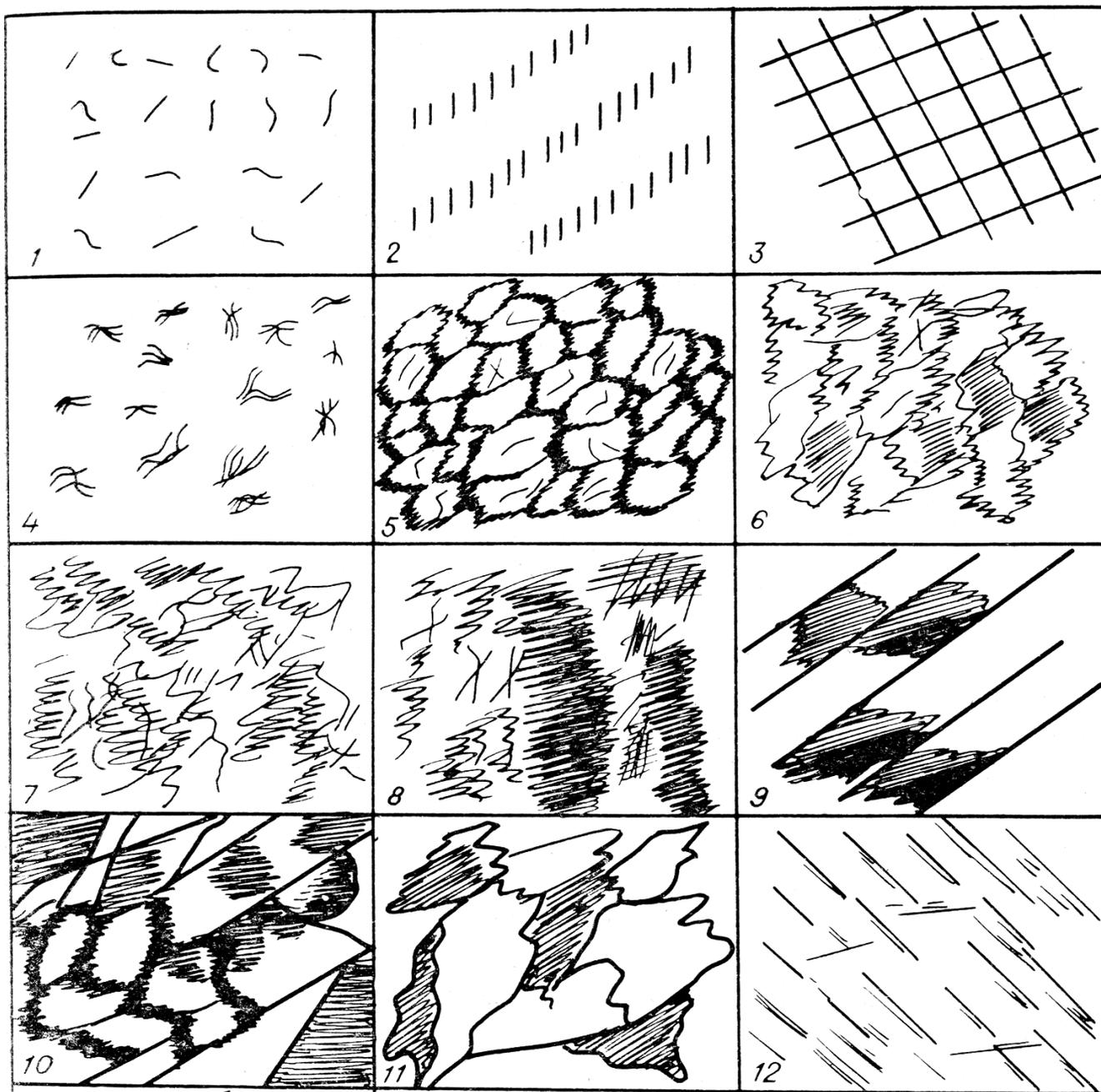


Рис. 6. Схематическое изображение дислокационных субструктур

# Классификация дислокационных субструктур

Неразориентированные		Разориентированные (неоднородные)		
Однородные	Неоднородные			
Дислокационные		Дислокационные	Дислокационно-дисклинационные (субграничные)	Бездислокационные (субграничные)
1. Хаотическая 2. Скопления 3. Сетчатая	4. Клубковая 5. Ячеистая неразориентированная 7. Ячеисто-сетчатая неразориентированная	6. Ячеистая разориентированная 8. Ячеисто-сетчатая разориентированная	9. Полосовая (одно- и двумерная) 10. Субструктура с многомерными непрерывными и дискретными разориентировками	11. Фрагментированная (субзеренная)

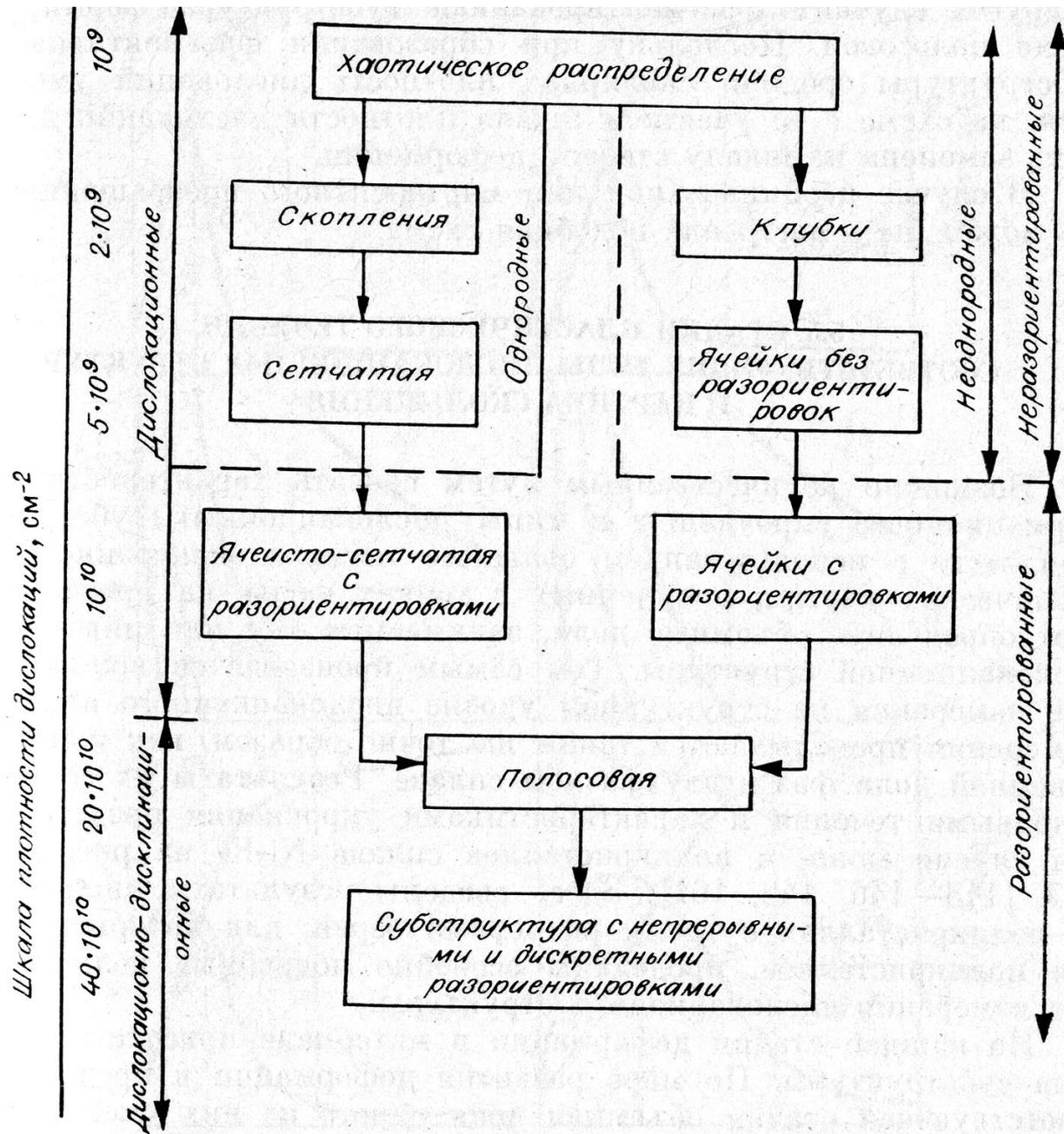


Рис. 7. Схема путей эволюции дислокационных субструктур

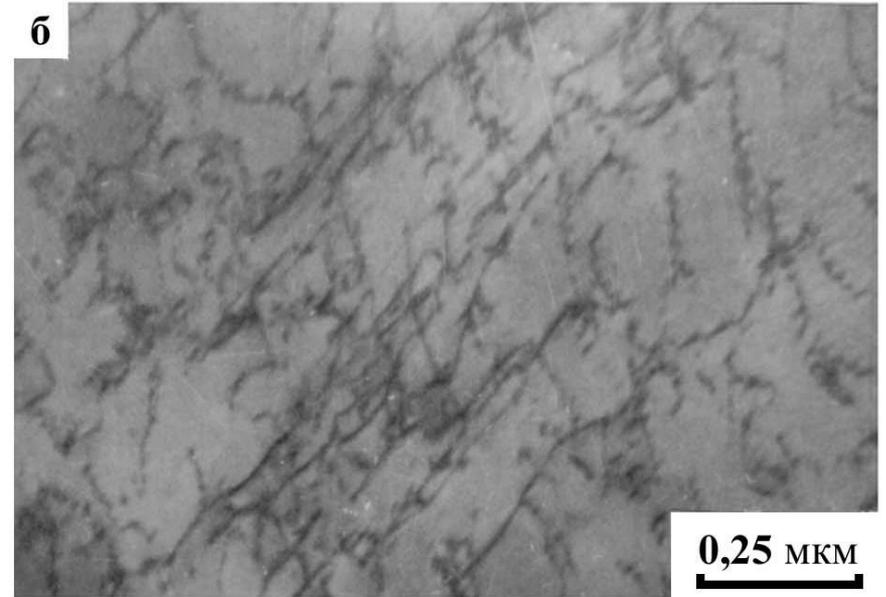
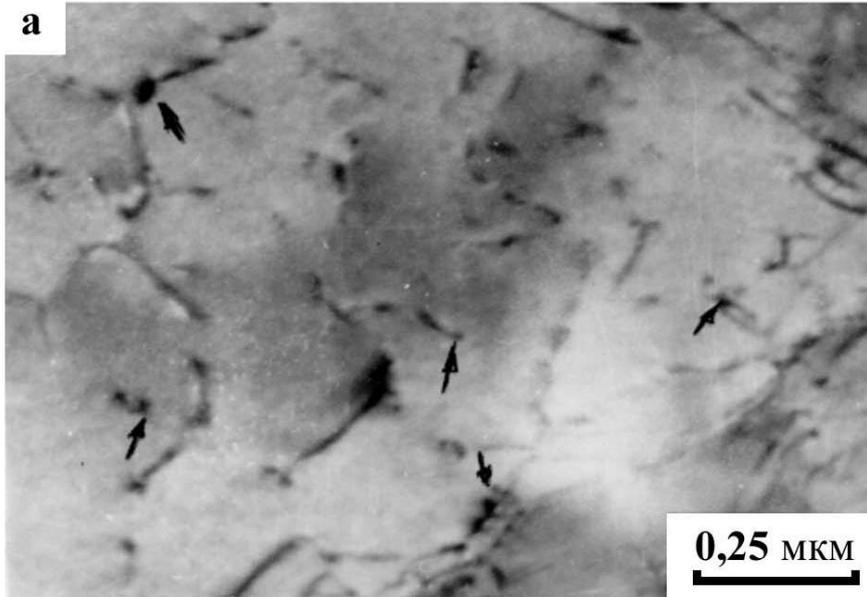
## **Практическая работа**

**Используя изображения дислокационных субструктур:**

- Определить тип дислокационной субструктуры;
- Нарисовать схематическое изображение дислокационной субструктуры.

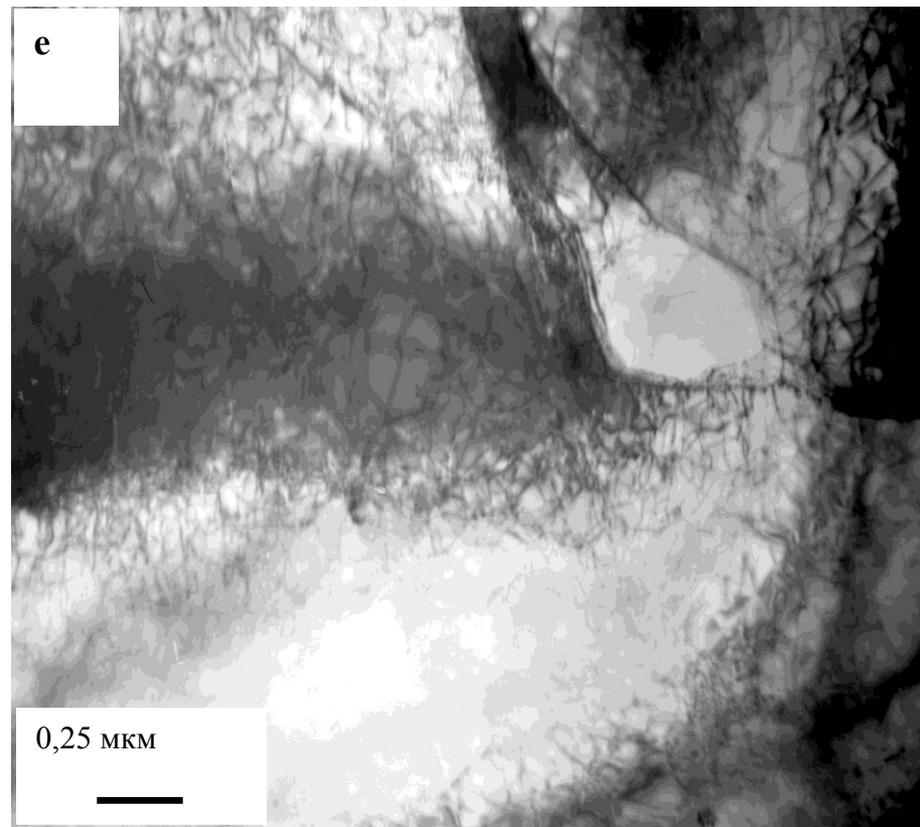
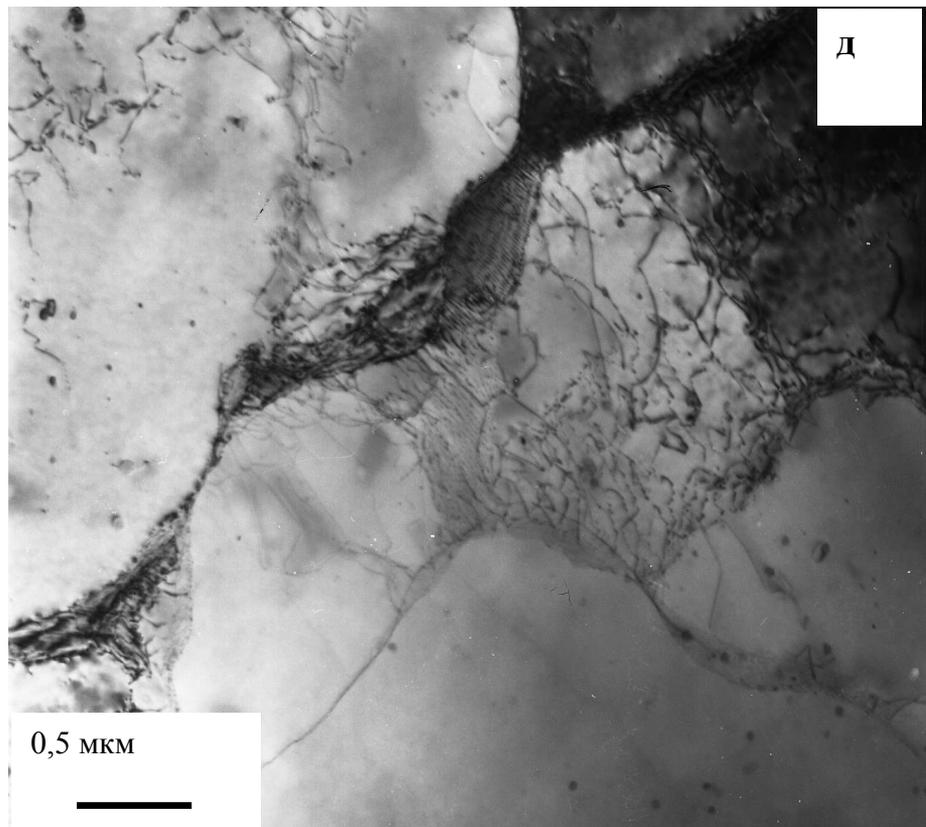
# Практическая работа

1



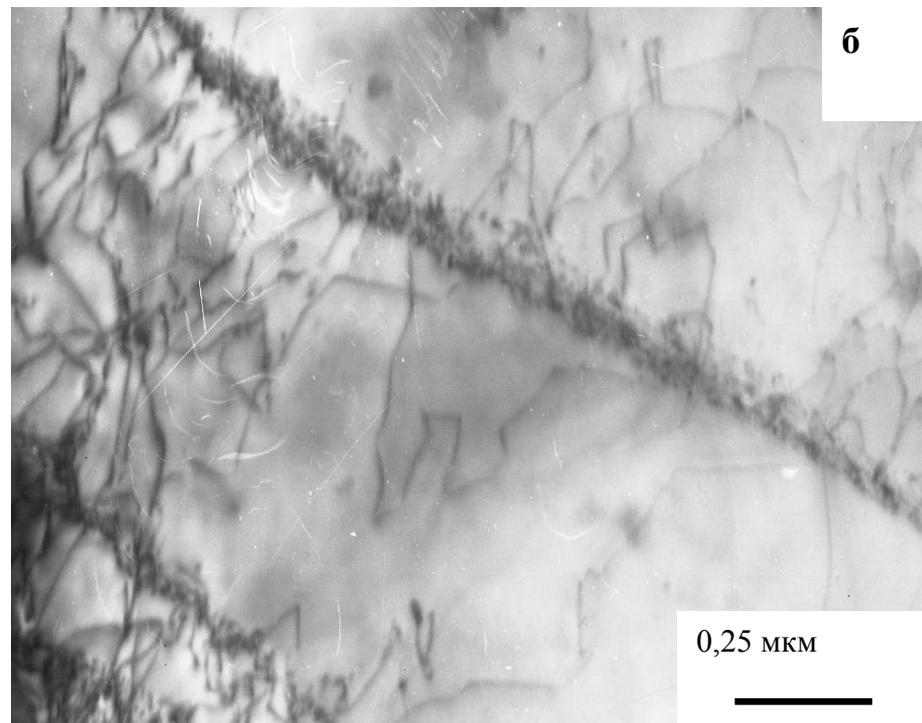
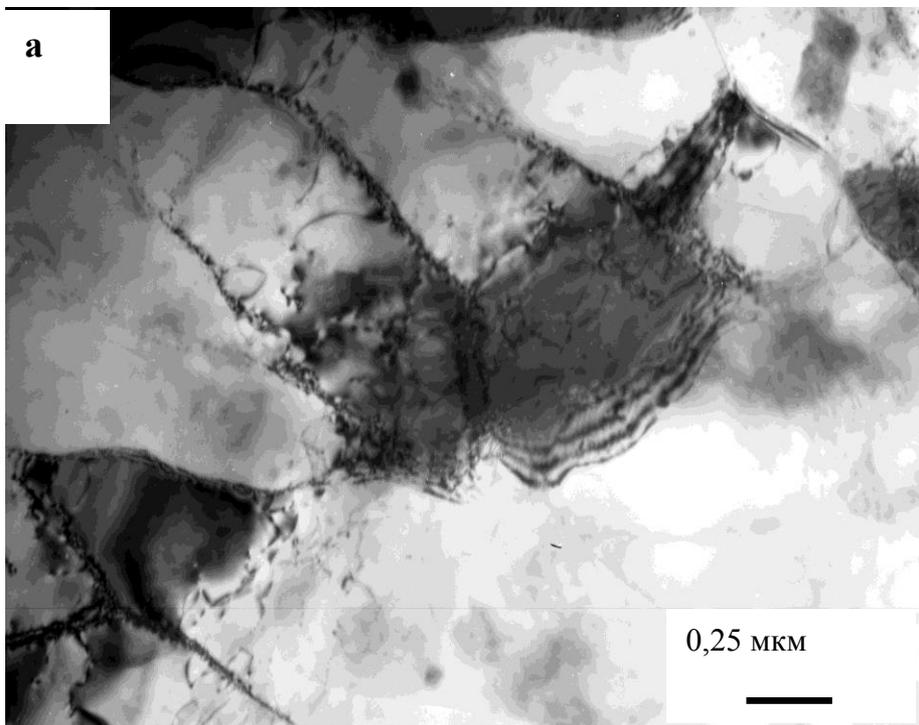
# Практическая работа

2



# Практическая работа

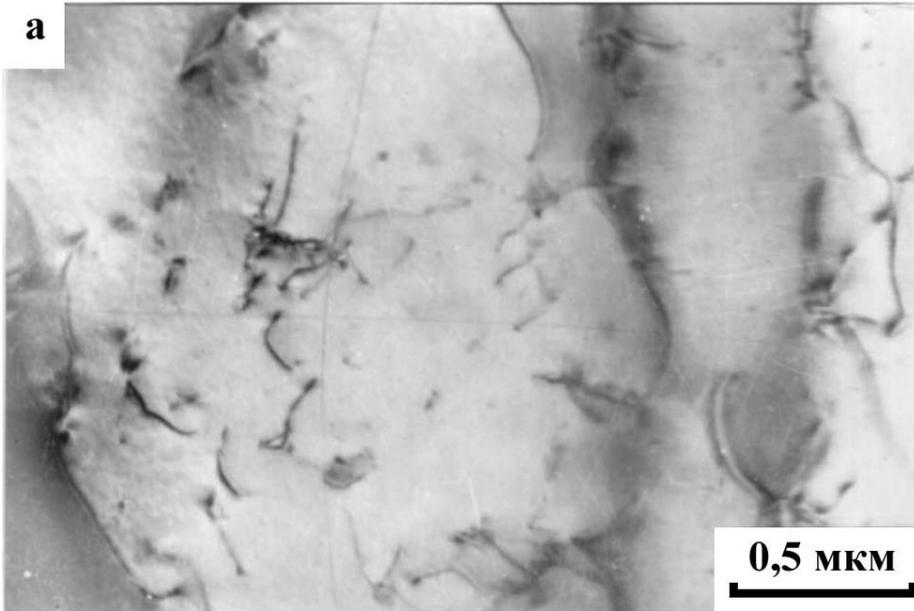
3



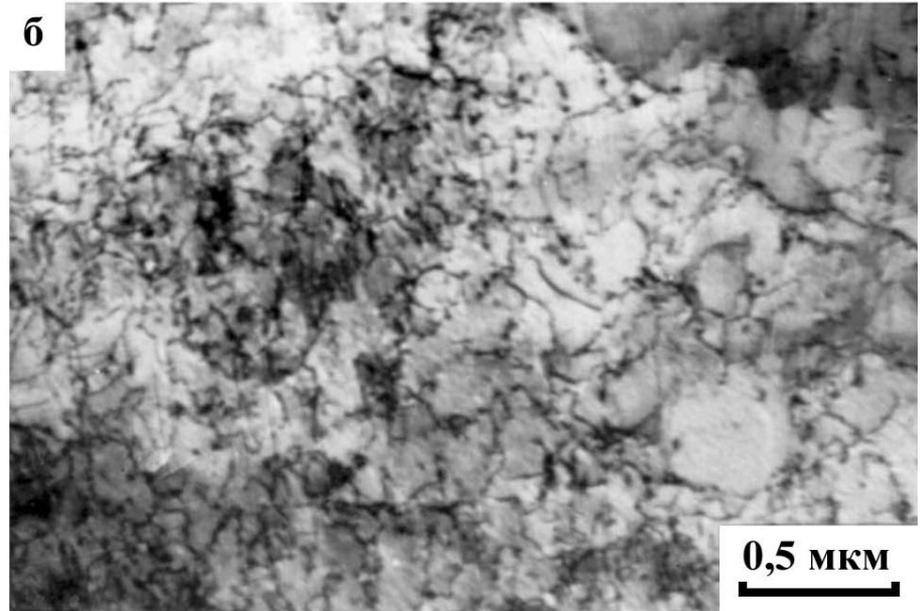
# Практическая работа

4

а

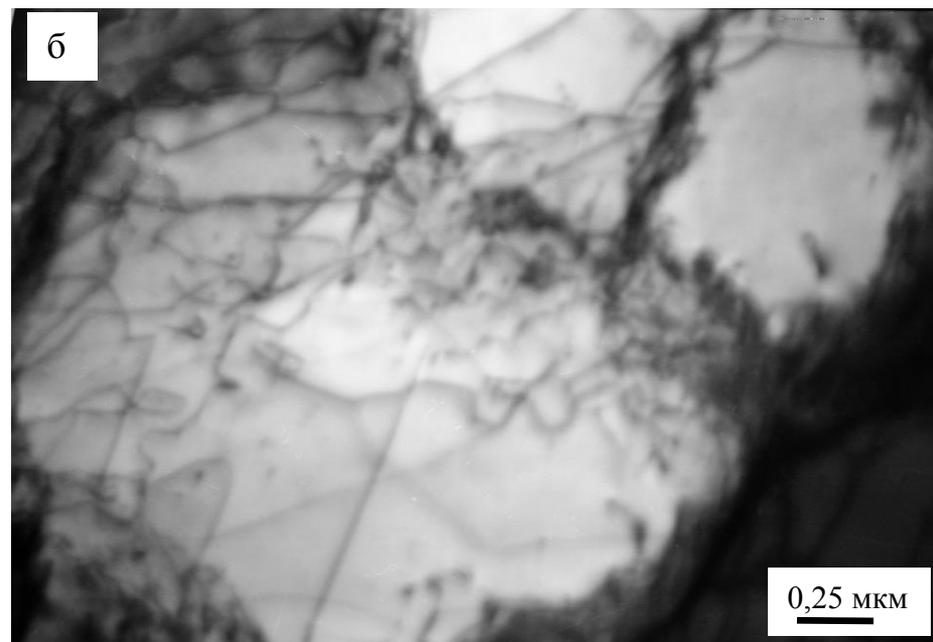
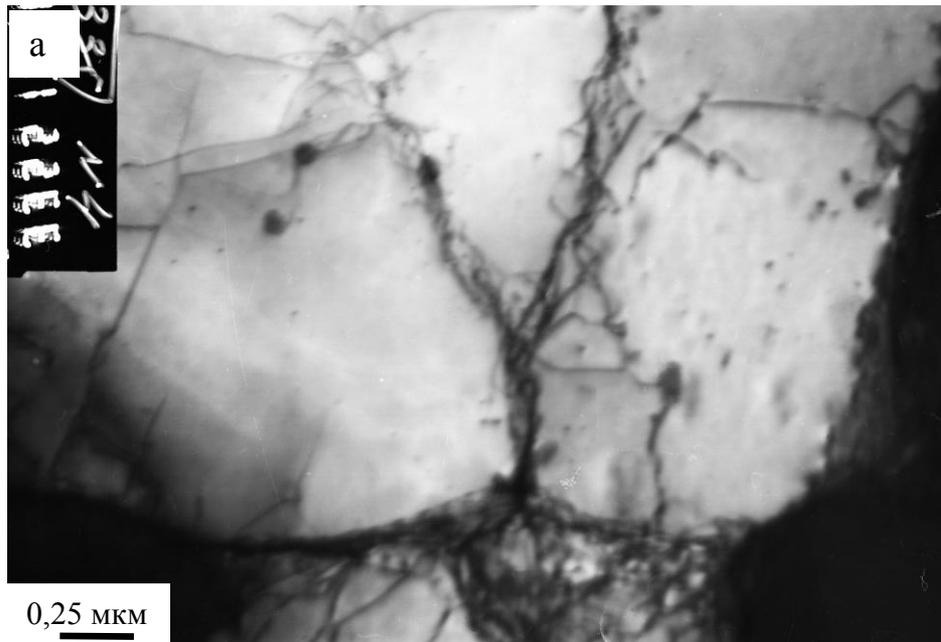


б



# Практическая работа

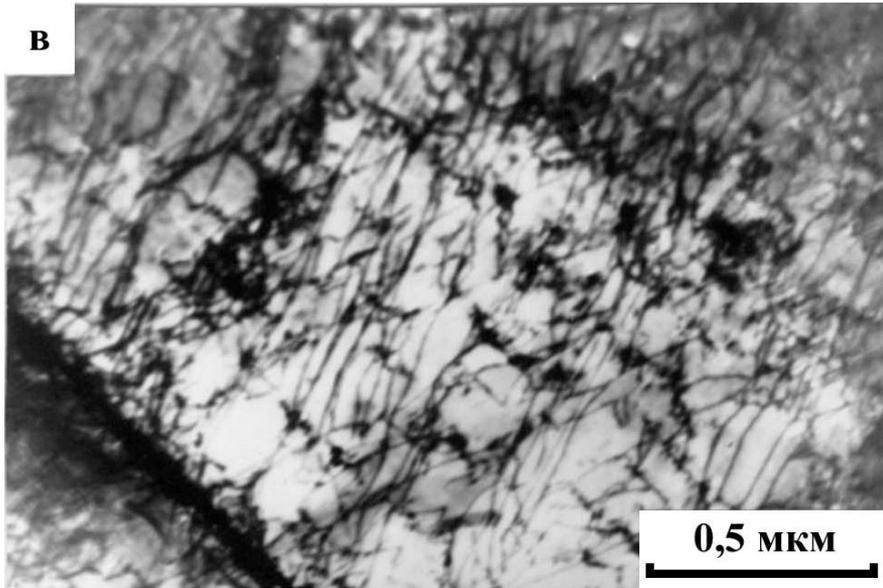
5



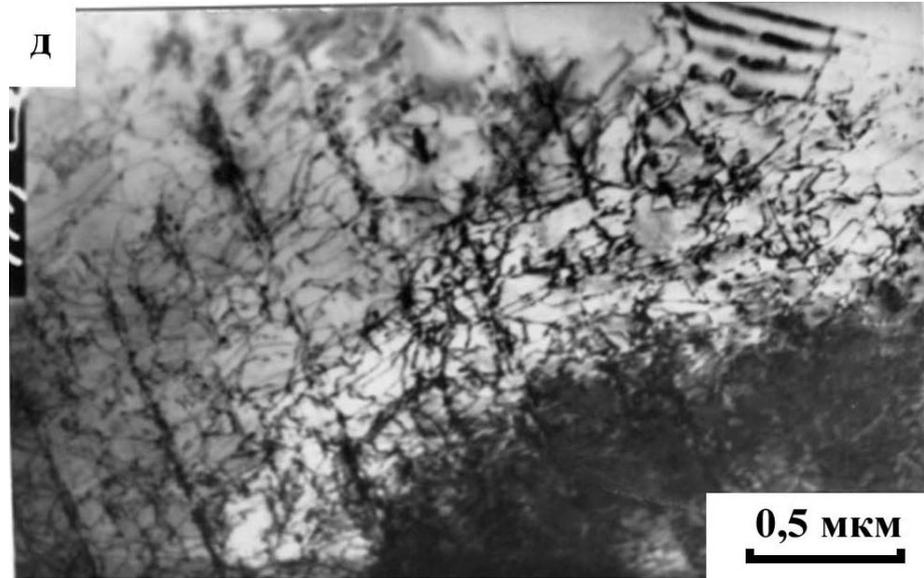
# Практическая работа

6

В

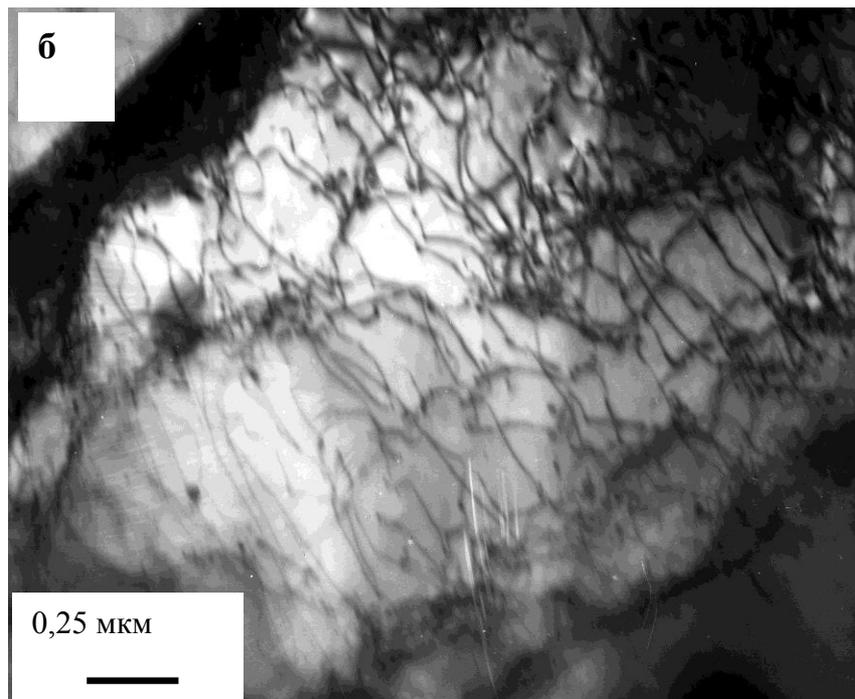
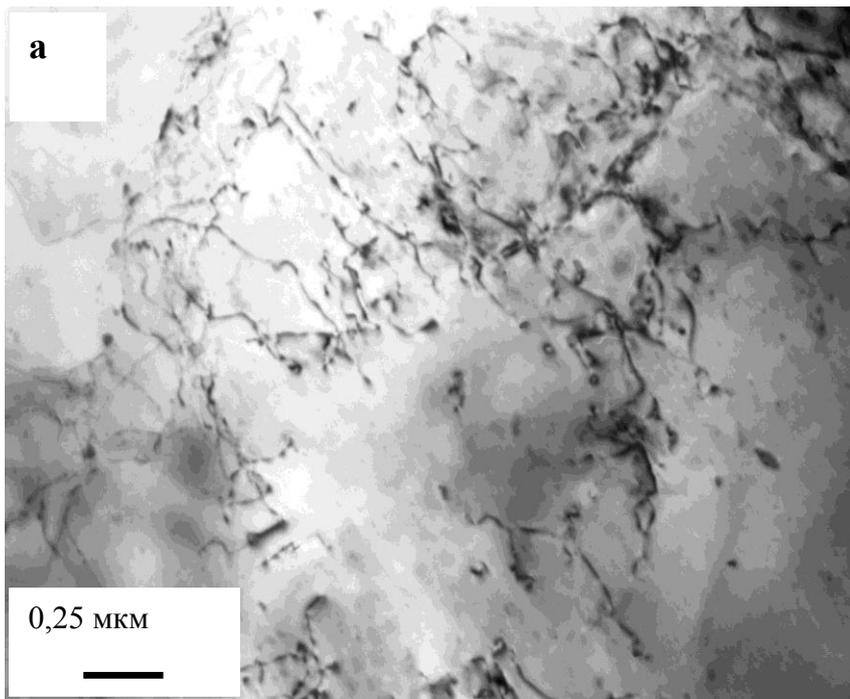


Д



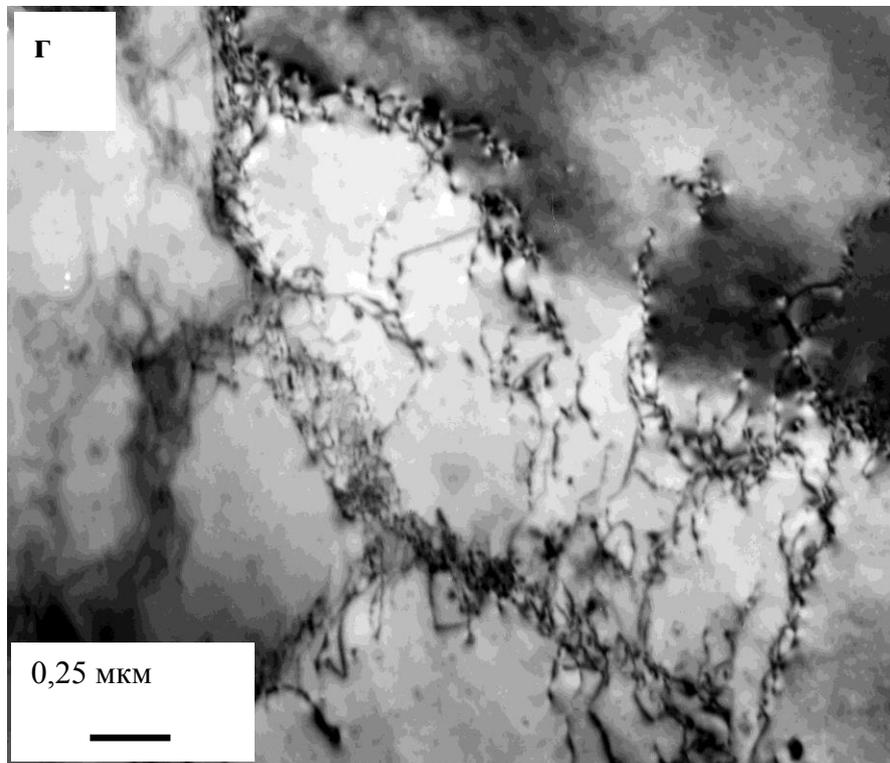
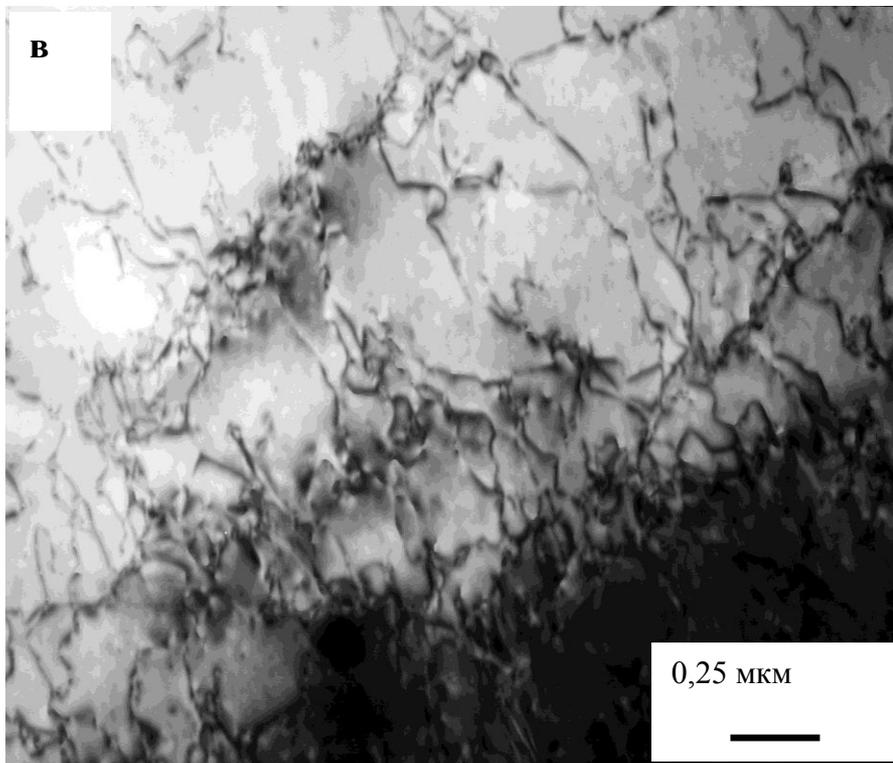
# Практическая работа

7



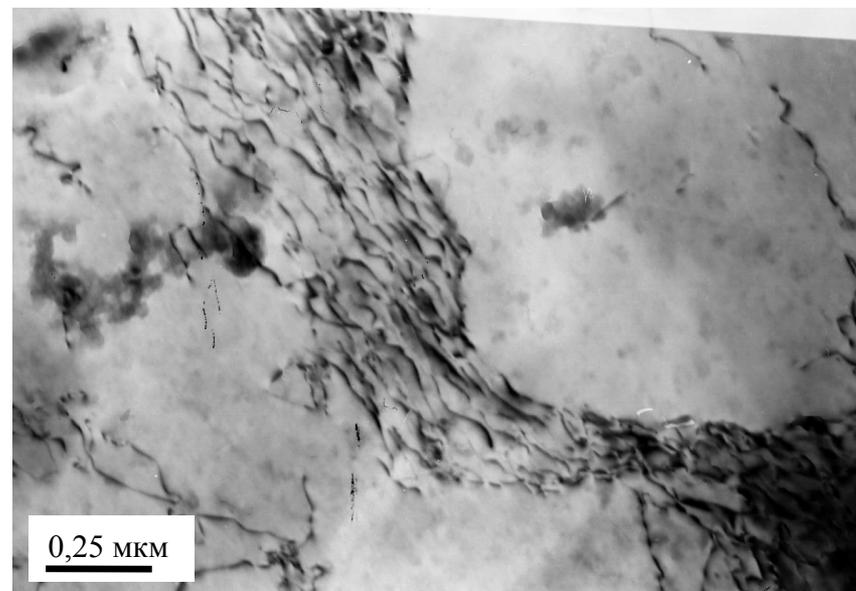
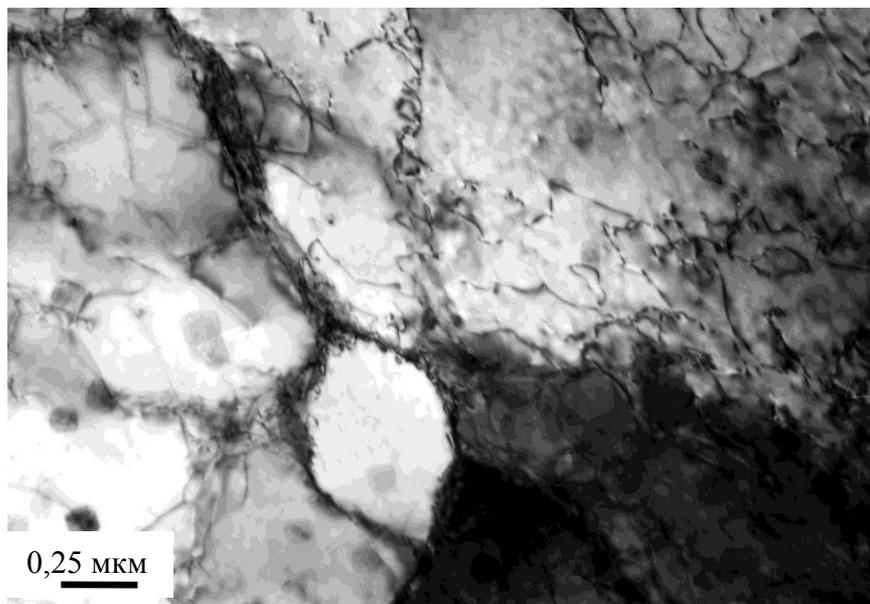
# Практическая работа

8



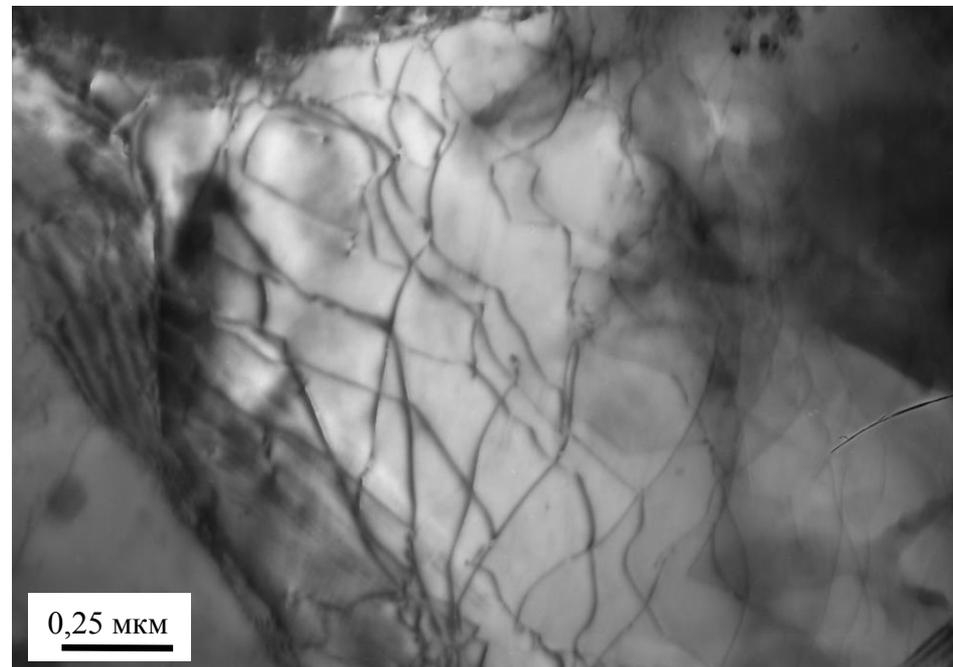
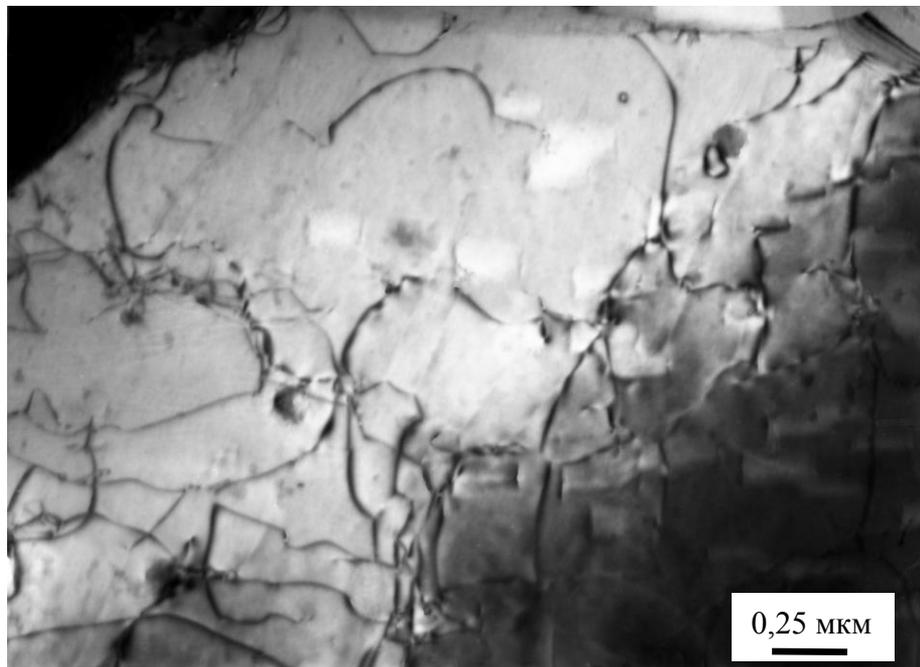
# Практическая работа

9



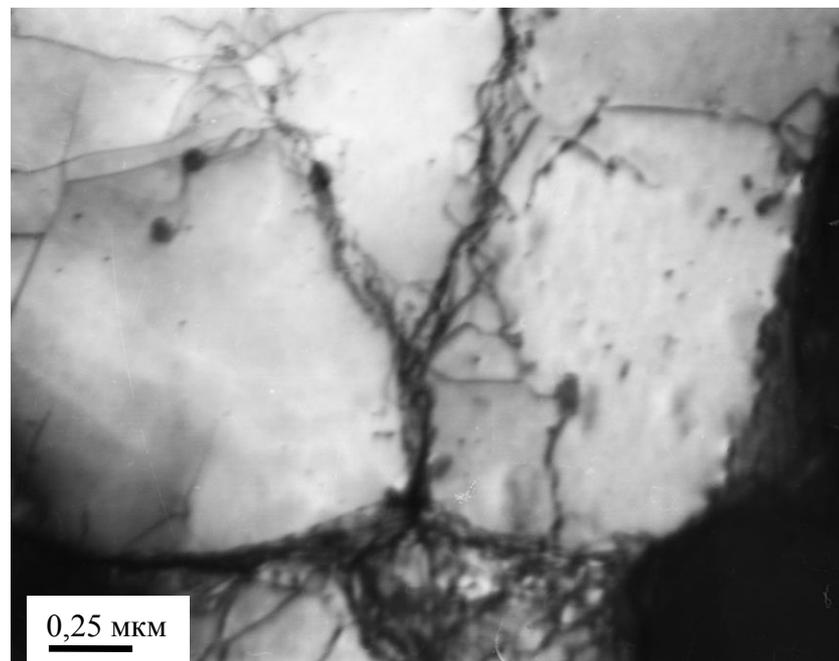
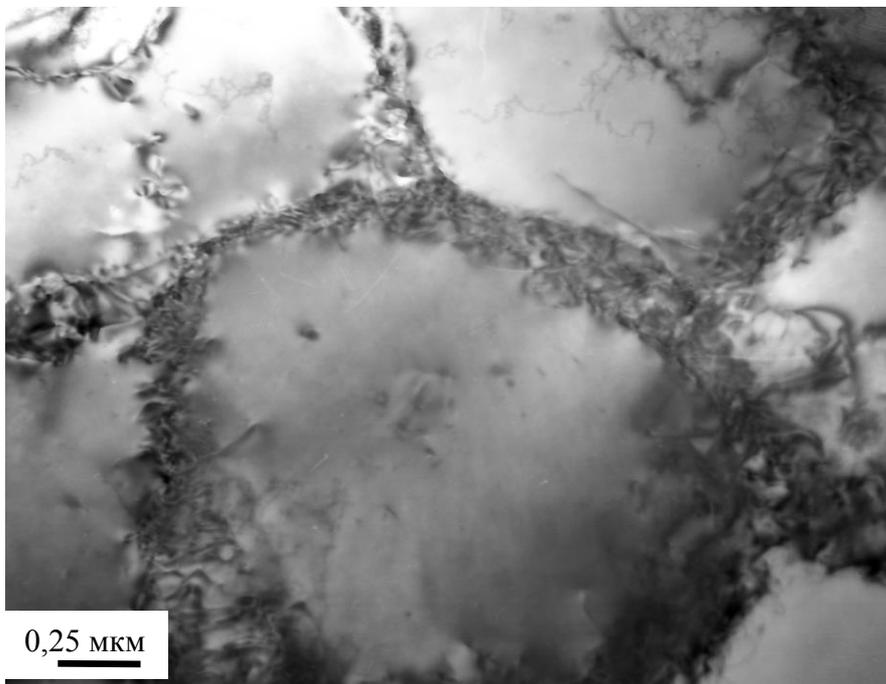
# Практическая работа

10



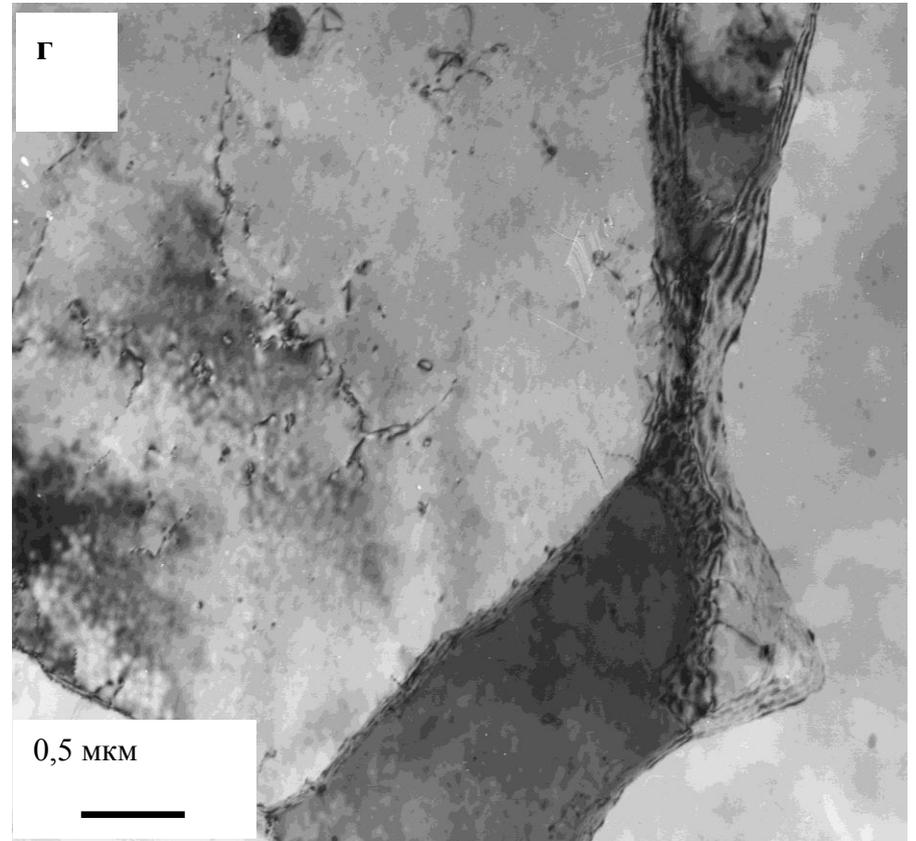
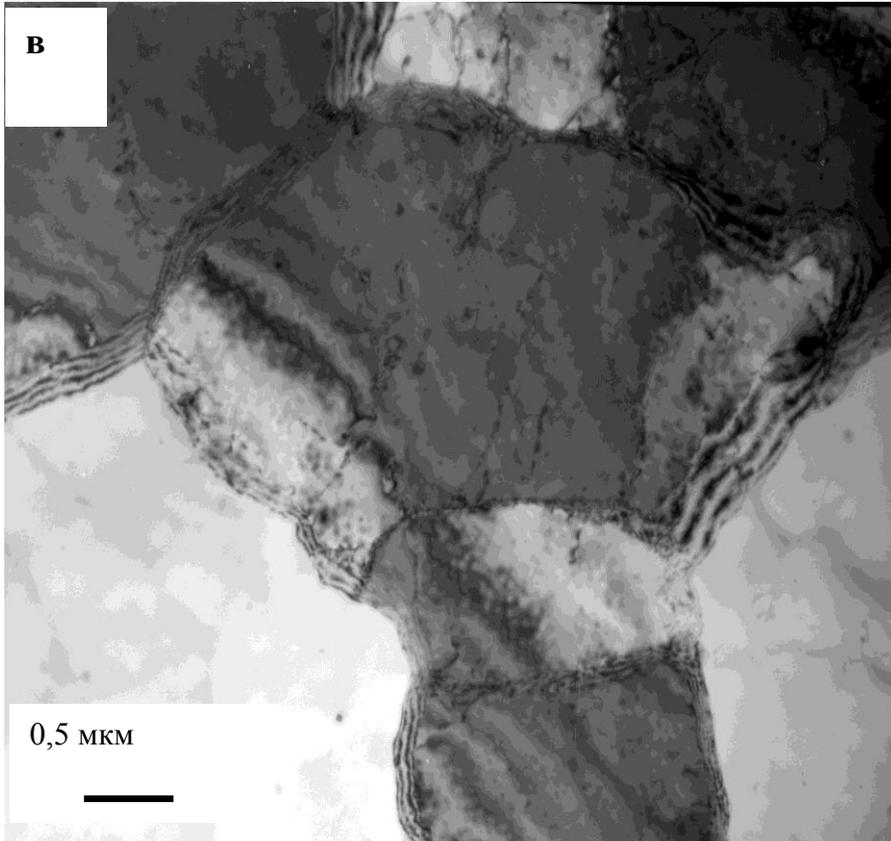
# Практическая работа

11



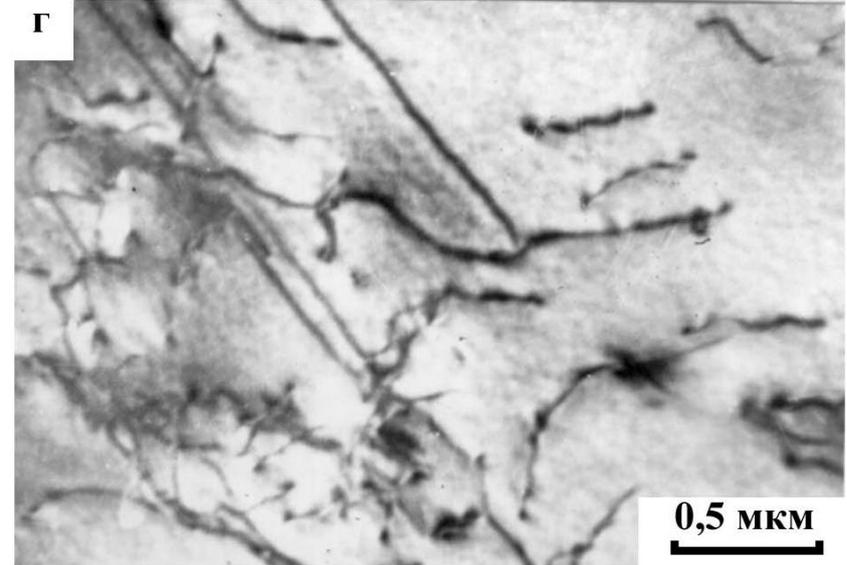
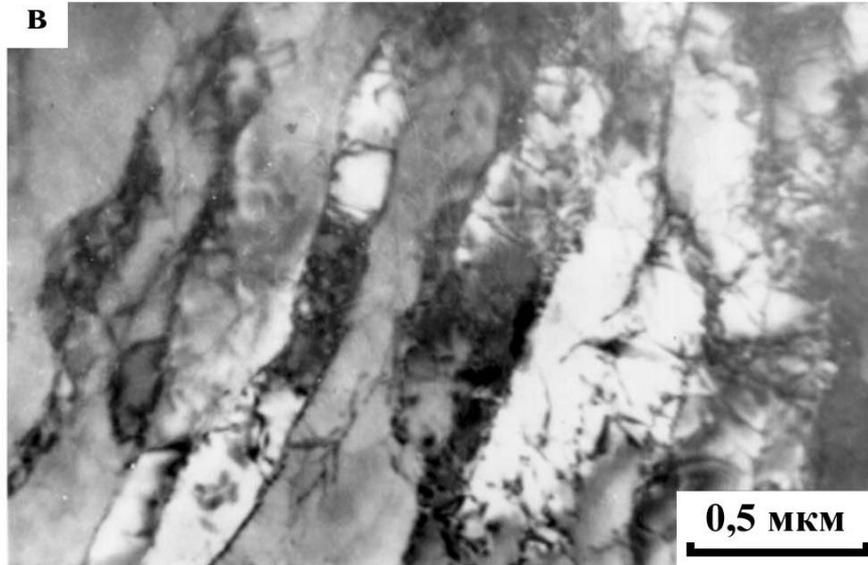
# Практическая работа

12



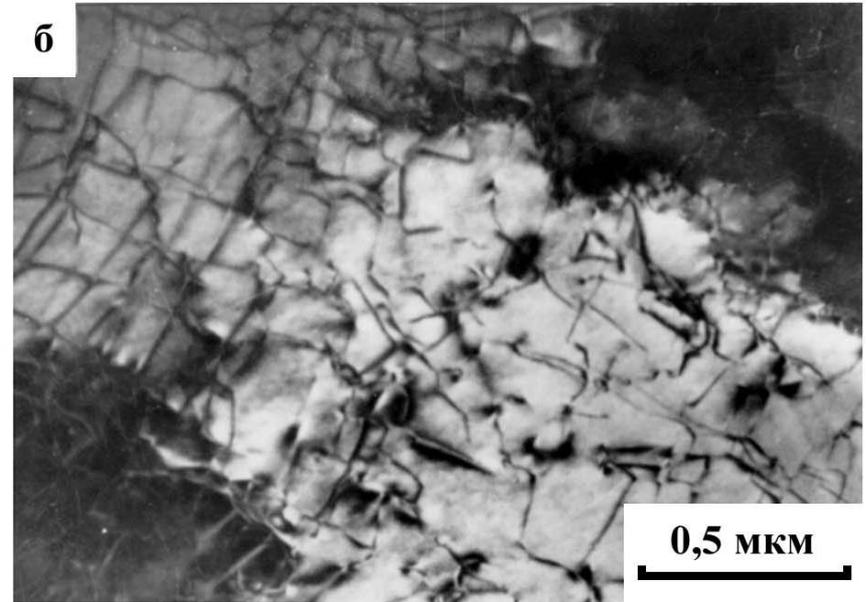
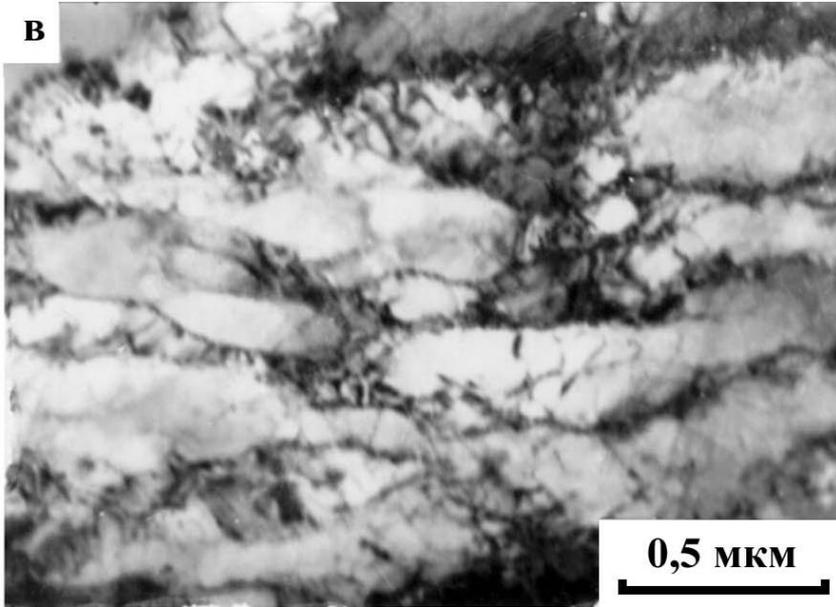
# Практическая работа

13



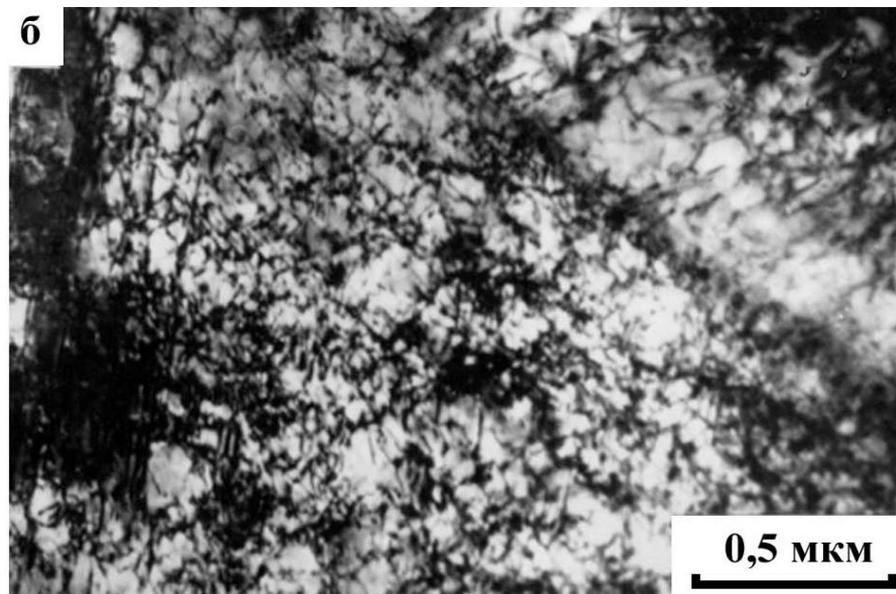
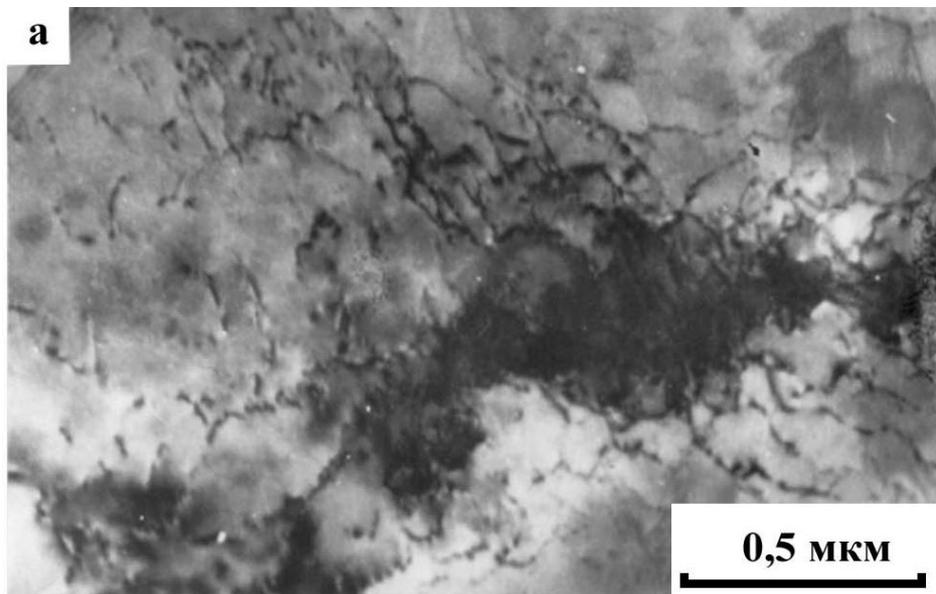
# Практическая работа

14



# Практическая работа

15



## Контрольные вопросы

1. Дефекты или несовершенства внутреннего кристаллического строения реальных металлов принято делить на .....Почему они так называются???????
2. Перечислить типы точечных дефектов.
3. К чему приводит появление точных дефектов в кристаллическом теле???
4. Каким методом наиболее часто определяют присутствие в материале точечных дефектов???
5. Что такое дислокации???
6. Перечислить типы дислокаций.
6. Дайте определение краевой дислокации.
7. Дайте определение винтовой дислокации.
8. Какие особенности поведения металлов позволило объяснить создание теории дислокаций???
9. В каких пределах колеблется плотность дислокаций в кристаллическом теле???
10. Перечислить методы наблюдения дислокаций.
11. Перечислить классы дислокационных субструктур. Чем они различаются???
12. Привести примеры неразориентированных дислокационных субструктур.
13. Привести примеры разориентированных дислокационных субструктур.<sup>41</sup>