

Лабораторная работа 8

Упрочнение материала при формировании дислокационной субструктуры

Томск – 2013

Рекомендуемая литература

- 1. Утевский Л.М. Дифракционная электронная микроскопия в металловедении. – М.: Металлургия, 1973. – 584 с.
- 2. Фридель Ж. Дислокации. – М.: Мир, 1967. – 643 с.
- 3. Гольдштейн М.И., Фарбер Б.М. Дисперсионное упрочнение стали. - М.: Металлургия, 1979. – 208 с.

Цель работы

Ознакомление с методами определения скалярной плотности дислокаций.

Оценки упрочнения материала при формировании дислокационной субструктуры.

Задачи работы

1. Ознакомиться с методами определения скалярной плотности дислокаций.
2. Провести оценки упрочнения материала при формировании дислокационной субструктуры.

Вид отчетности:

Сдать реферат и отчет на тему:

Упрочнение материала при формировании дислокационной субструктуры.

Дислокационная субструктура

Дислокации образуются уже при кристаллизации металлов, а также в ходе пластической деформации и фазовых превращений. Плотность дислокаций может достигать большой величины. Под плотностью дислокаций $\langle \rho \rangle$ обычно понимают суммарную длину дислокаций S_l , приходящуюся на единицу объема V кристалла: $\langle \rho \rangle = S_l/V$. Таким образом, размерность плотности дислокаций $\langle \rho \rangle$: $[\text{см}/\text{см}^3]$, или $[\text{см}^{-2}]$. Для отожженных металлов плотность дислокаций составляет величину 10^6 – 10^3 см^{-2} , после холодной деформации она увеличивается до 10^{11} – 10^{12} см^{-2} , что соответствует примерно 1 млн. километров дислокаций в 1 см^3 .

Использование теории дислокаций позволило объяснить большое расхождение между теоретической и фактической прочностью металлов. Теоретическая прочность должна быть пропорциональна произведению сил межатомной связи на число атомов в сечении кристалла.

Расчетное усилие для смещения одной части кристалла относительно другой оказалось на 2–3 порядка выше фактически затрачиваемого при пластической деформации металла. Так, теоретическая прочность железа составляет около 13 ГПа, а фактическая — всего 0,250 ГПа.

Такое расхождение теоретической и фактической прочности объясняется тем, что деформация происходит не путем одновременного смещения целых атомных плоскостей, а путем постепенного перемещения дислокаций. Влияние дислокаций на процесс пластической деформации на примере краевых дислокаций показано на рис. 1.

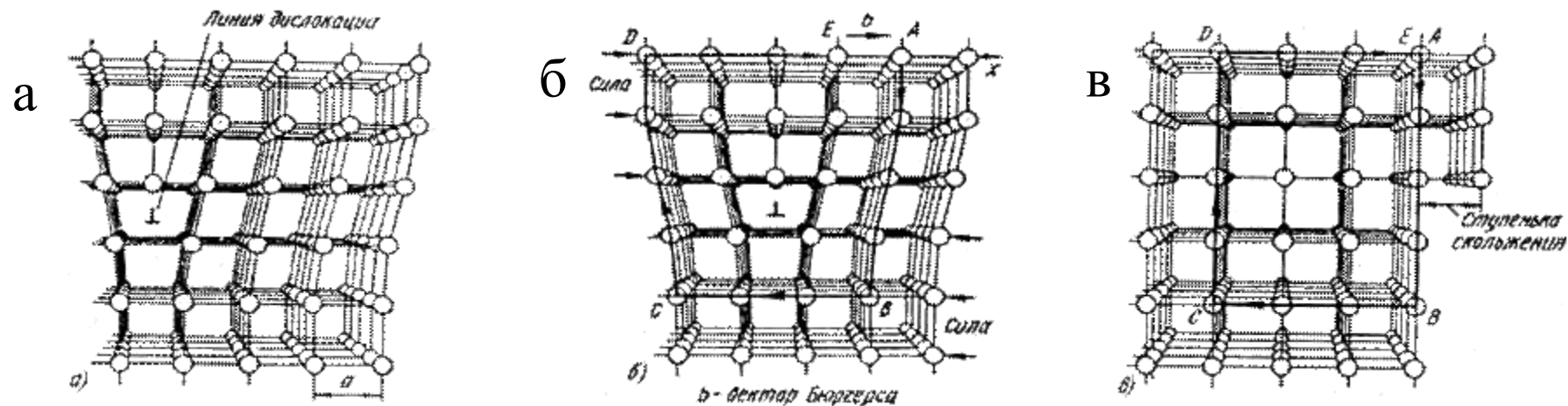


Рис. 1. Схема пластической деформации путем последовательного перемещения дислокации в простой кубической решетке:

а) исходное состояние краевой дислокации

б) перемещение дислокации;

в) состояние кристаллической решетки после выхода дислокации на поверхность

Пластический сдвиг является следствием постепенного перемещения дислокаций в плоскости сдвига. Распространение скольжения по плоскости скольжения происходит последовательно. Каждый элементарный акт перемещения дислокации из одного положения в другое совершается путем разрыва лишь одной вертикальной атомной плоскости.

Для перемещения дислокаций требуется значительно меньшее усилие, чем для жесткого смещения одной части кристалла относительно другой в плоскости сдвига. При движении дислокации вдоль направления сдвига через весь кристалл происходит смещение верхней и нижней его частей лишь на одно межатомное расстояние. В результате перемещения дислокация выходит на поверхность кристалла и исчезает. На поверхности остается ступенька скольжения.

Пластическая деформация кристаллических тел связана с количеством дислокаций, их шириной, подвижностью, степенью взаимодействия с дефектами решетки и т. д. Характер связи между атомами влияет на пластичность кристаллов. Так, в неметаллах с их жесткими направленными связями дислокации очень узкие, они требуют больших напряжений для старта — в 10^3 раз больших, чем для металлов. В результате хрупкое разрушение в неметаллах наступает раньше, чем сдвиг.

Таким образом, причиной низкой прочности реальных металлов является наличие в структуре материала дислокаций и других несовершенств кристаллического строения. Получение бездислокационных кристаллов приводит к резкому повышению прочности материалов (рис. 2).



Рис. 2. Влияние искажений кристаллической решетки на прочность кристаллов. Левая ветвь кривой соответствует созданию совершенных бездислокационных нитевидных кристаллов (так называемых «усов»), прочность которых близка к теоретической.

При ограниченной плотности дислокаций и других искажений кристаллической решетки процесс сдвига происходит тем легче, чем больше дислокаций находится в объеме металла.

С ростом напряжений возрастает число источников дислокаций в металле и их плотность увеличивается. Помимо параллельных дислокаций возникают дислокации в разных плоскостях и направлениях. Дислокации воздействуют друг на друга, мешают друг другу перемещаться, происходит их аннигиляция (взаимное уничтожение) и т. д. С повышением плотности дислокаций их движение становится все более затрудненным, что требует увеличения прилагаемой нагрузки для продолжения деформации. В результате металл упрочняется, что соответствует правой ветви кривой на рис. 2.

Таким образом, повышение прочности металлов и сплавов может быть достигнуто двумя путями:

- 1) получением металлов с близким к идеальному строением кристаллической решетки, т. е. металлов, в которых отсутствуют дефекты кристаллического строения или же их число крайне мало;
- 2) либо, наоборот, увеличением числа структурных несовершенств, препятствующих движению дислокаций.

Определение скалярной плотности дислокаций $\langle \rho \rangle$ осуществляется следующим образом.

1. На изображение структуры материала наносится сетка линий, расположенных на расстоянии 10 мм друг от друга.

2. Считают число пересечений дислокаций с линиями сетки:

N_1 – с горизонтальными линиями;

N_2 – с вертикальными линиями.

3. Рассчитывают скалярную плотность дислокаций по формуле:

$$\langle \rho \rangle = \frac{M}{t} \left(\frac{N_1}{L_1} + \frac{N_2}{L_2} \right), \quad (1)$$

где M – увеличение фотографии; $t = 200$ нм толщина фольги; L_1 и L_2 – суммарная длина горизонтальных и вертикальных линий сетки.

Напряжение, необходимое для поддержания пластической деформации, т. е. напряжение течения, σ связано с плотностью дислокаций следующим образом:

$$\sigma = \sigma_0 + k \sqrt{\langle \rho \rangle} \quad (2)$$

где σ_0 - напряжение течения недислокационного происхождения (т.е., обусловленное иными механизмами упрочнения); $\langle \rho \rangle$ - средняя (скалярная) плотность дислокаций; $k = m\alpha Gb$; m - ориентационный фактор Шмида; α - параметр, характеризующий величину междислокационных взаимодействий, равный 0,1...0,5; G - модуль сдвига альфа-железа; b - вектор Бюргерса дислокации. Для сталей с учетом ориентационного множителя m обычно принимают $m\alpha \approx 0,5$.

Как правило, скольжение через участки со средней плотностью дислокаций не идет, деформация осуществляется по "слабым" местам, т.е. в деформации участвует та часть распределения свободных дислокационных сегментов, которая соответствует их наибольшим длинам. Наблюдающаяся картина удовлетворяет критерию Кокса: для пластической деформации подвижными должны быть более 1/3 дислокационных отрезков. Таким образом, формулу (2) следует уточнить введением статистического коэффициента χ :

$$\sigma = \sigma_0 + \chi \cdot m \cdot \alpha \cdot G \cdot b \cdot \sqrt{\rho} \quad (3)$$

На основании экспериментальных данных показано, что значение χ хотя и зависит от деформации, но в среднем равно 0,85.

Практическая работа

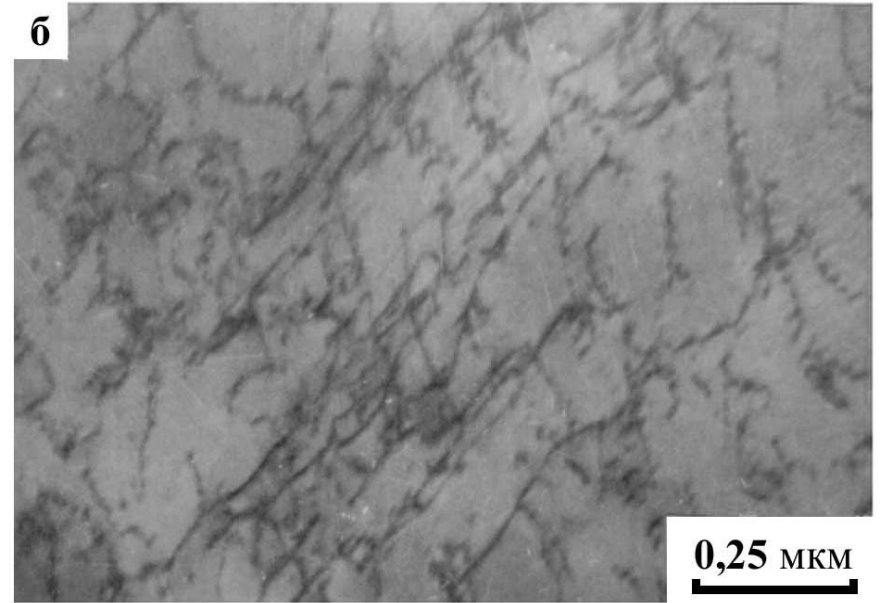
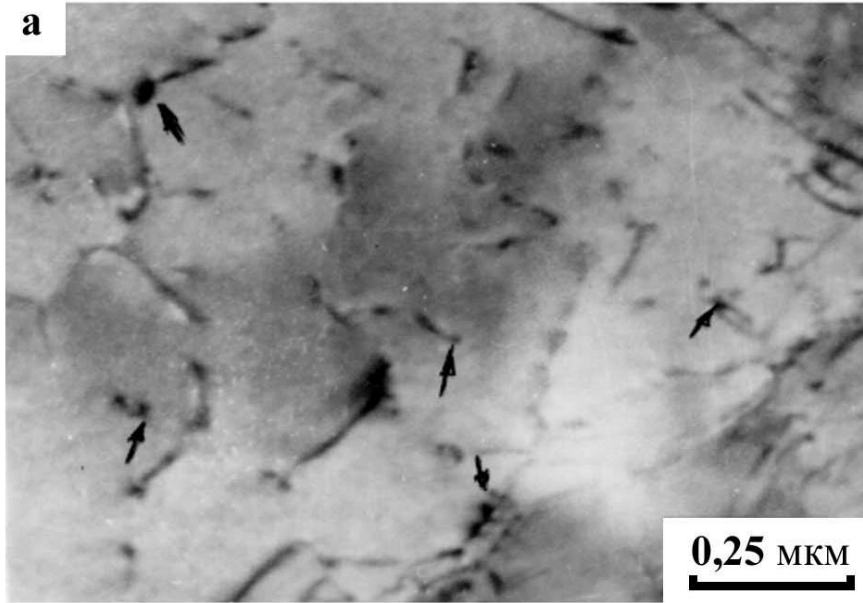
1. По имеющимся электронно-микроскопическим изображениям определить тип дислокационной субструктуры;
2. По имеющимся электронно-микроскопическим изображениям дислокационной субструктуры α -железа оценить скалярную плотность дислокаций, используя соотношение (1);
3. Зная величину скалярной плотности дислокаций, рассчитать вклад от дислокационной субструктуры в предел текучести α -железа, используя соотношение (3).

Контрольные вопросы

1. При каких процессах в материале зарождаются дислокации.
2. Дайте определение плотности дислокаций.
3. В каких единицах измеряется плотность дислокаций.
4. Объясните, почему расчетное усилие для смещения одной части кристалла относительно другой оказалось на 2–3 порядка выше фактически затрачиваемого при пластической деформации металла.
5. Каким образом, исходя из теории дислокаций, осуществляется деформация кристалла.
6. Что является причиной низкой прочности реальных металлов.
7. В результате каких процессов металл упрочняется при пластической деформации.
8. Каким образом может быть достигнуто повышение прочности металлов и сплавов?
9. Объяснить, каким образом определяется скалярная плотность дислокаций.
10. Какие процессы учитываются при введении статистического коэффициента χ в уравнение для расчета напряжения течения материала?

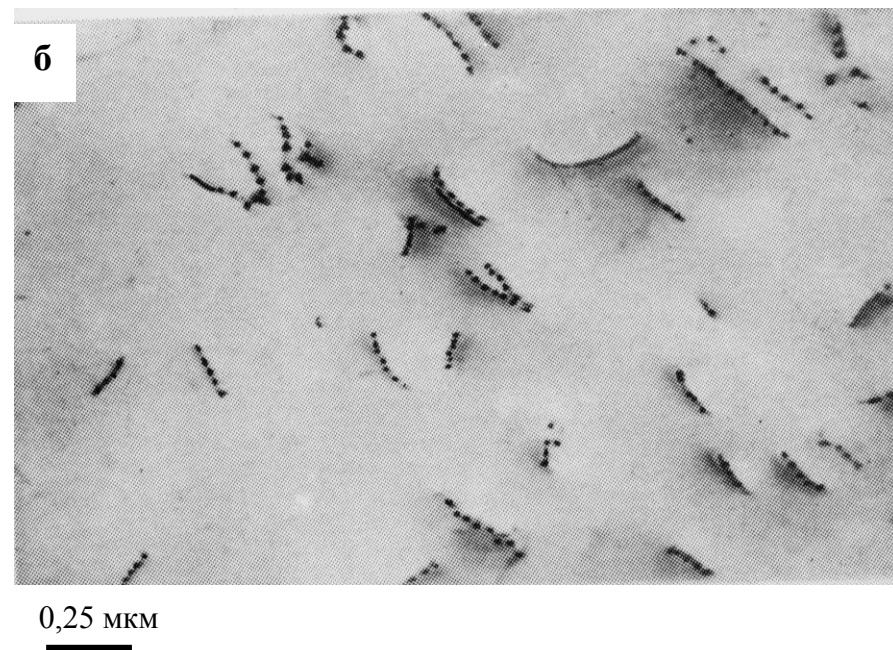
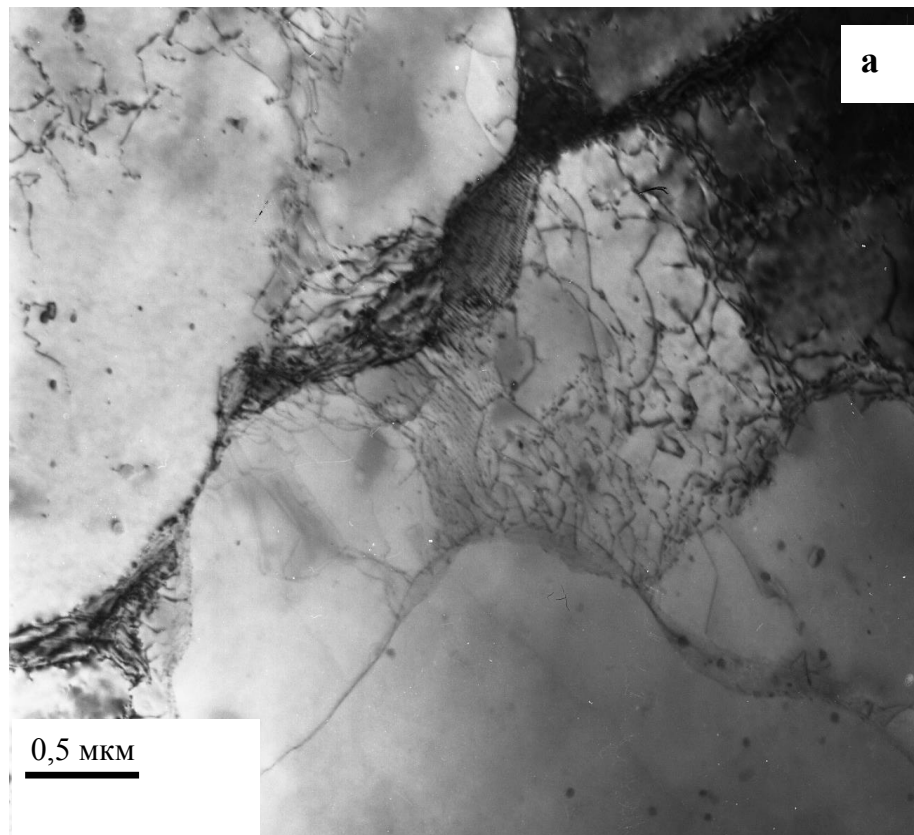
Практическая работа

1



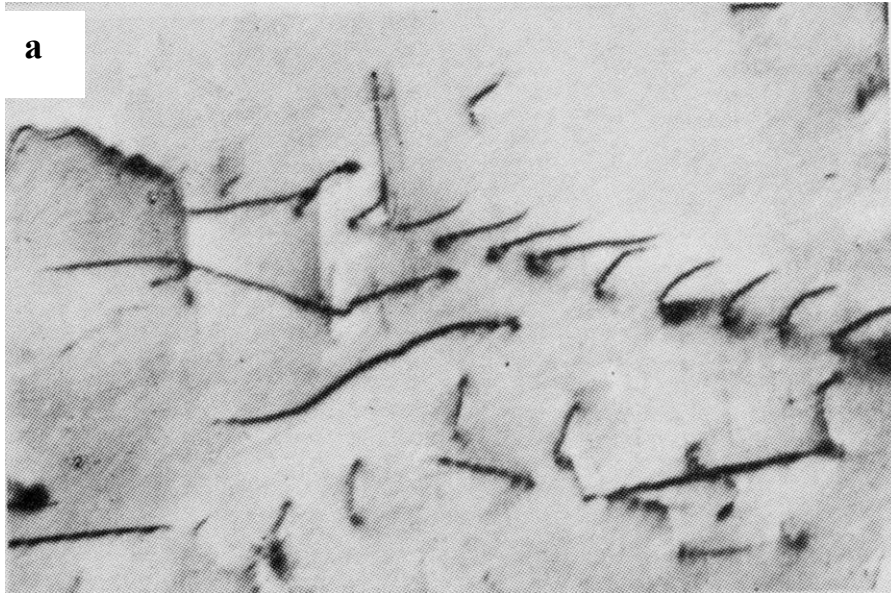
Практическая работа

2

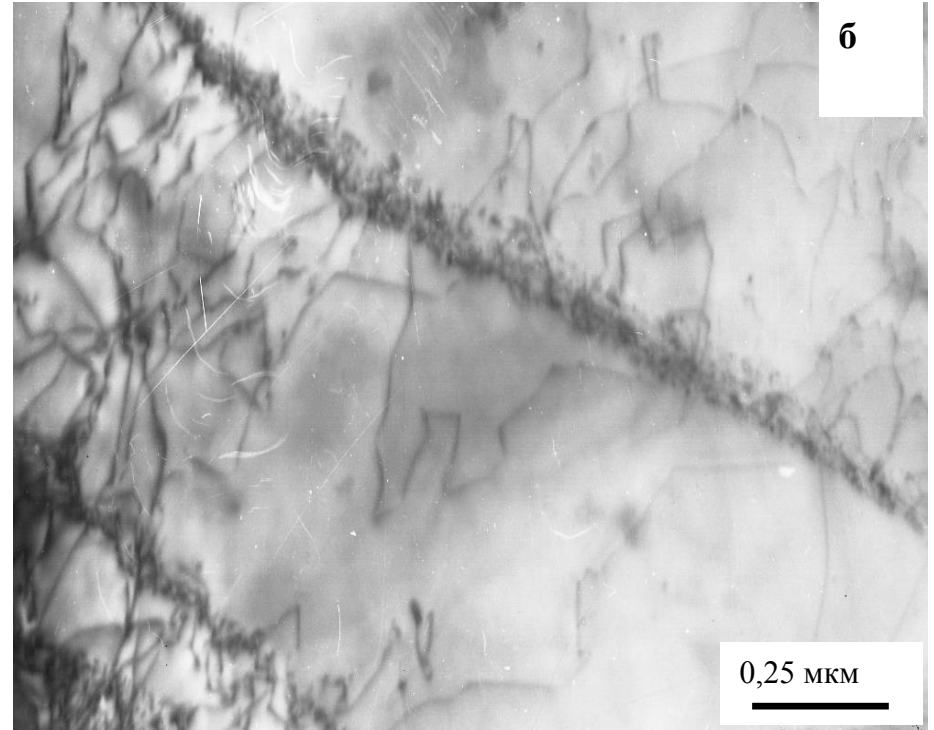


Практическая работа

3



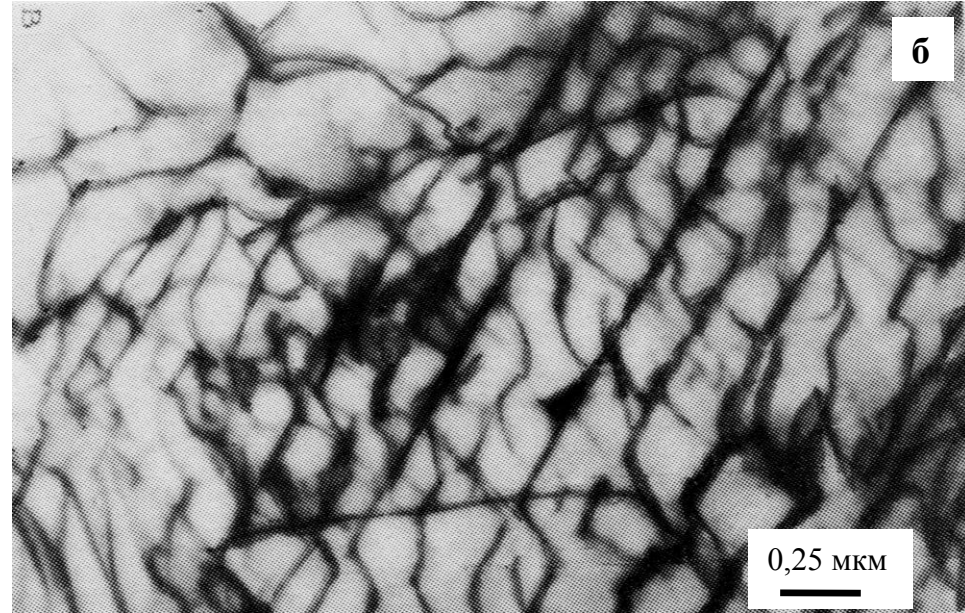
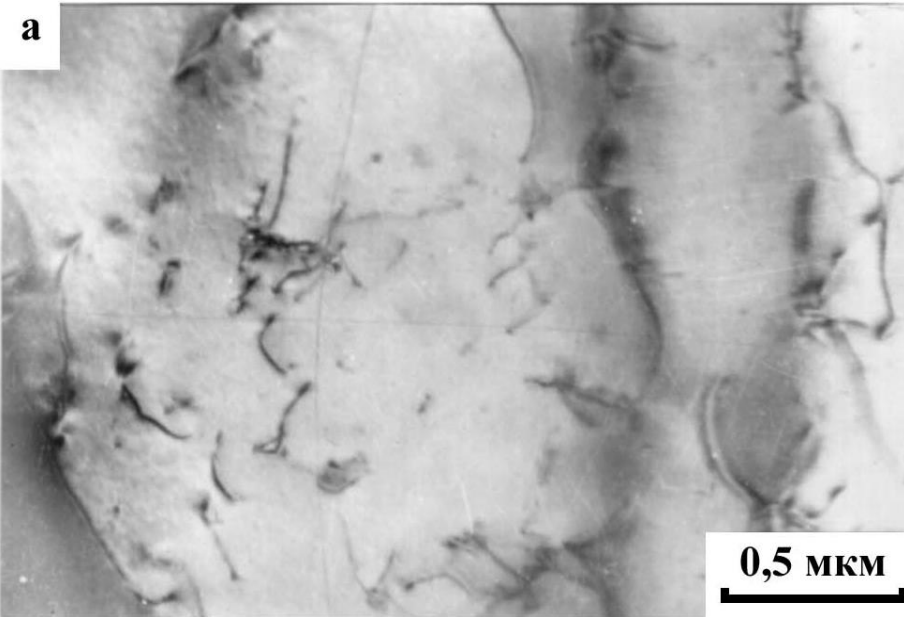
0,25 мкм



0,25 мкм

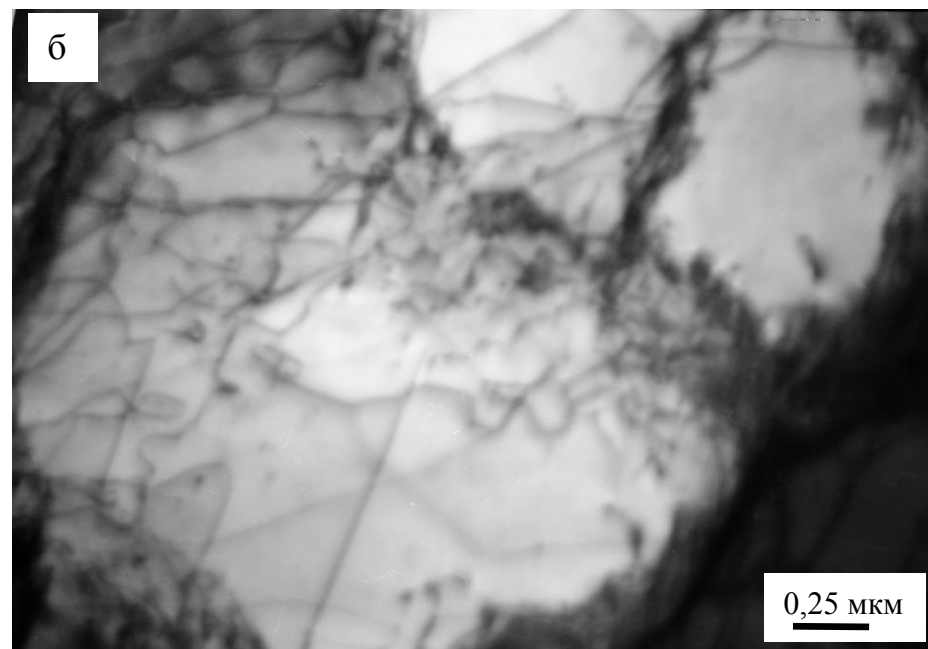
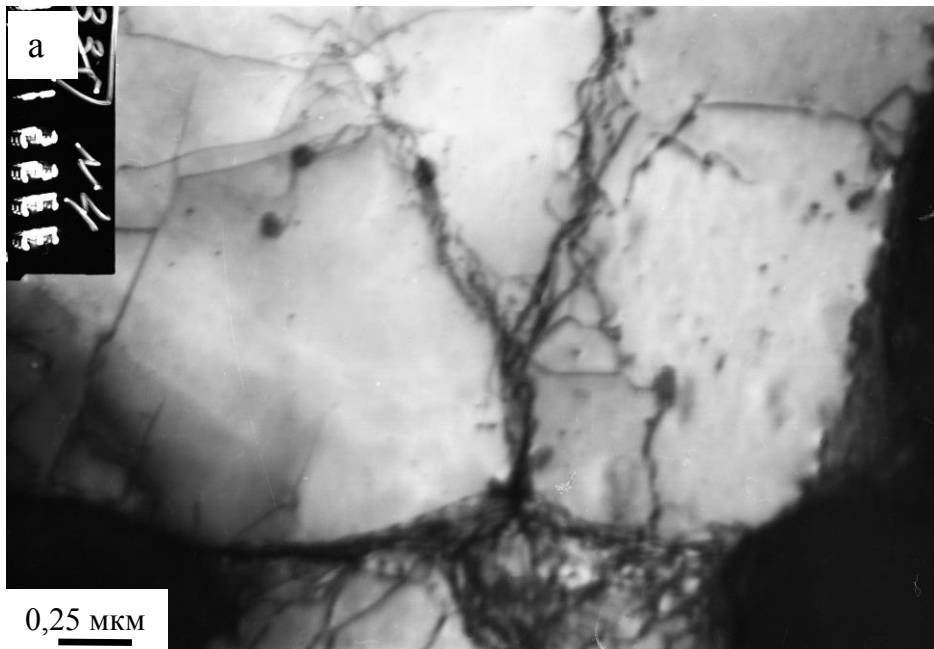
Практическая работа

4



Практическая работа

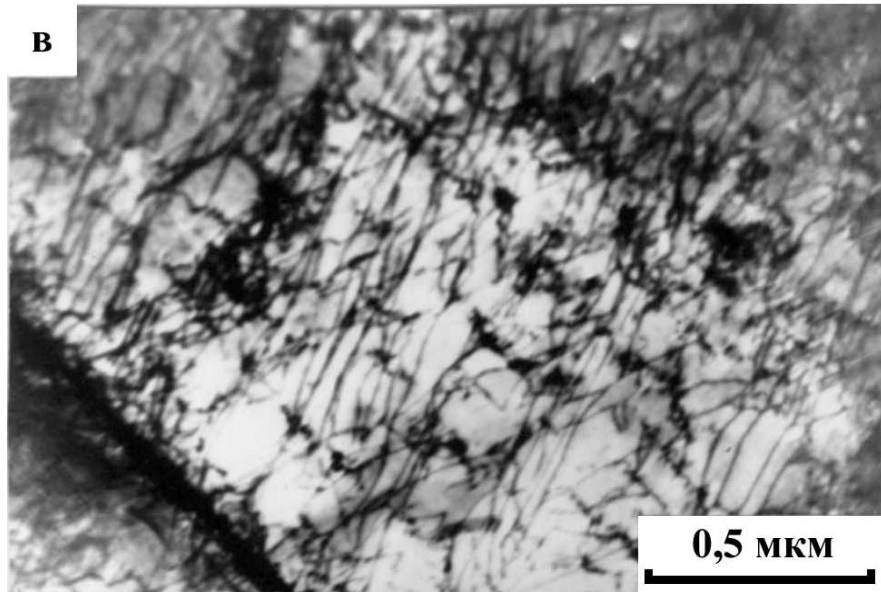
5



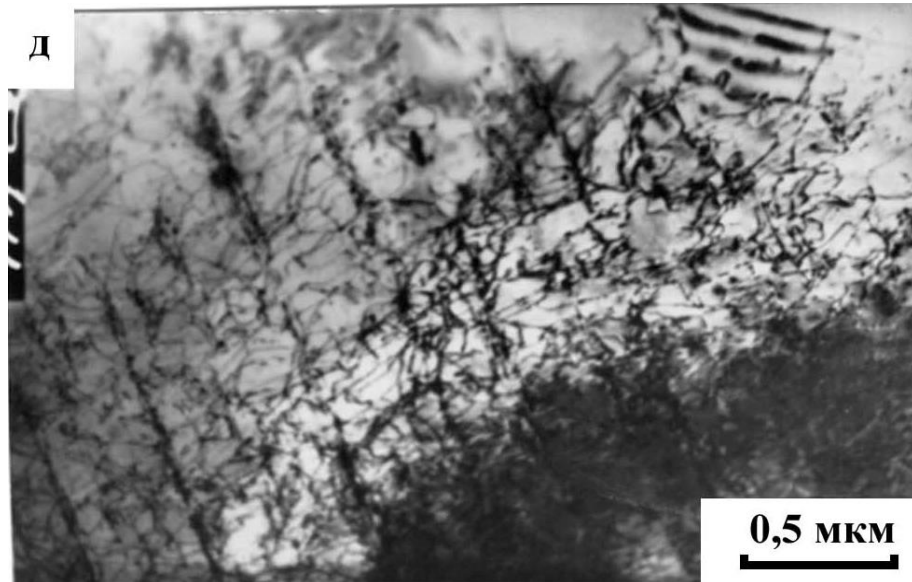
Практическая работа

6

В

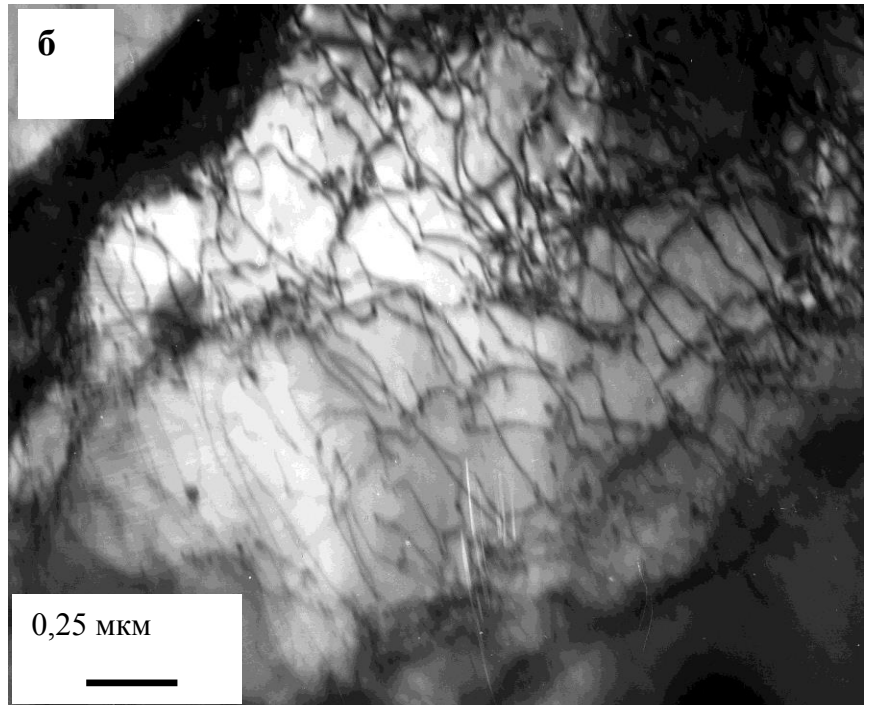
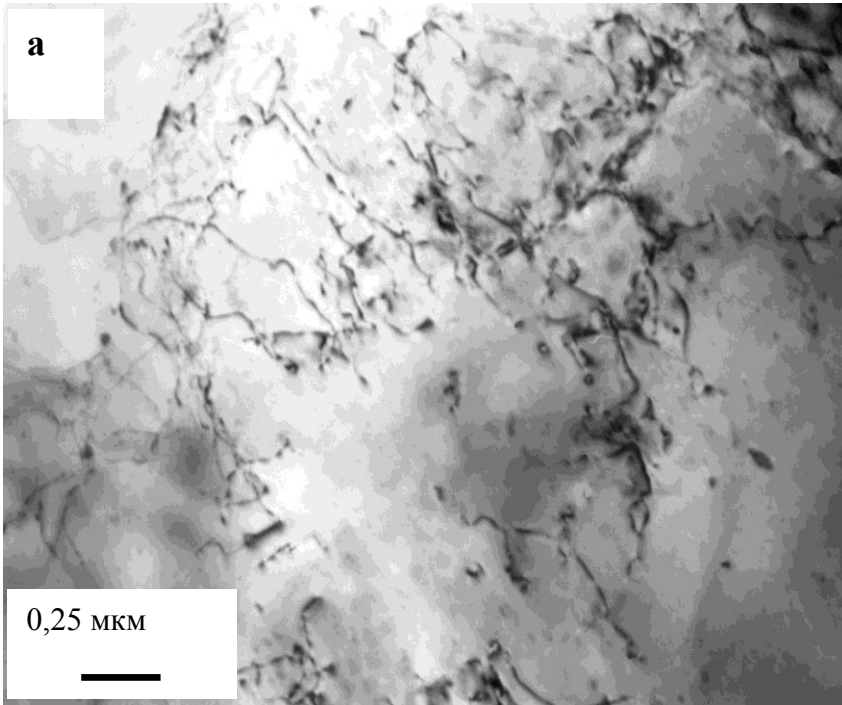


Д



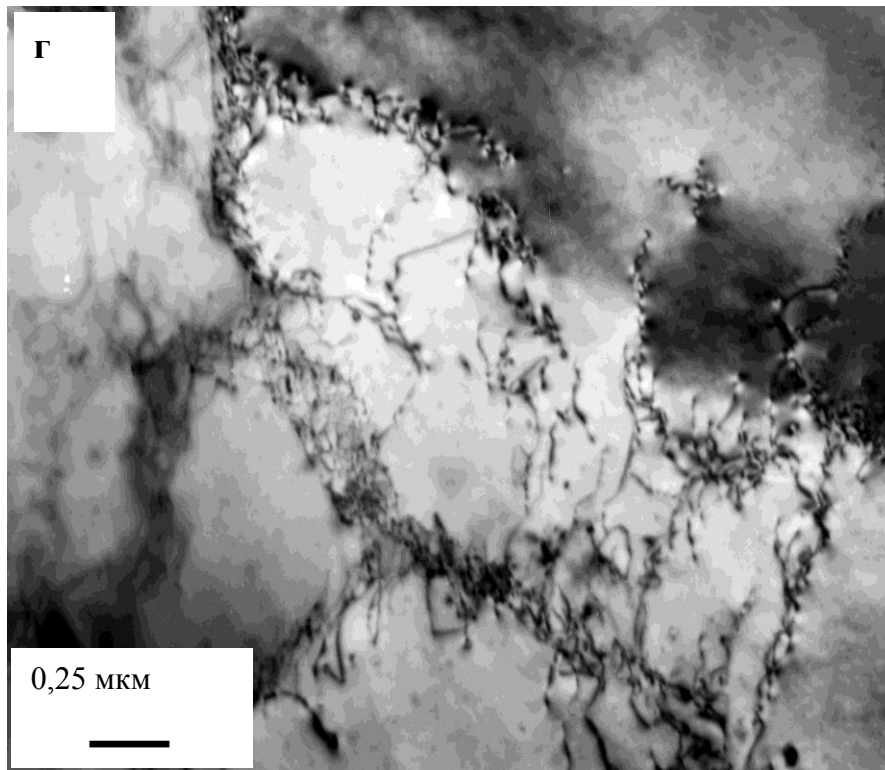
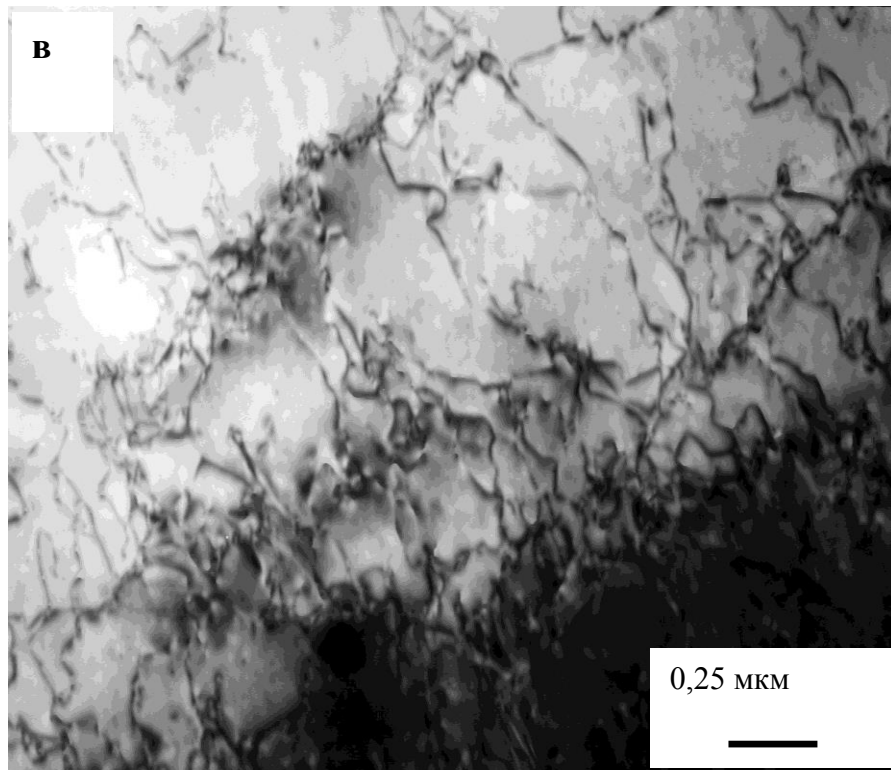
Практическая работа

7



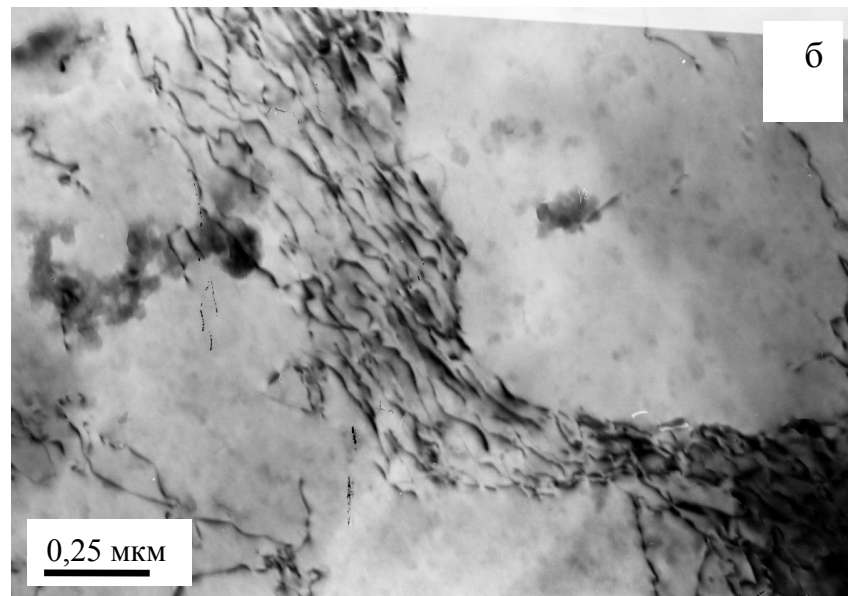
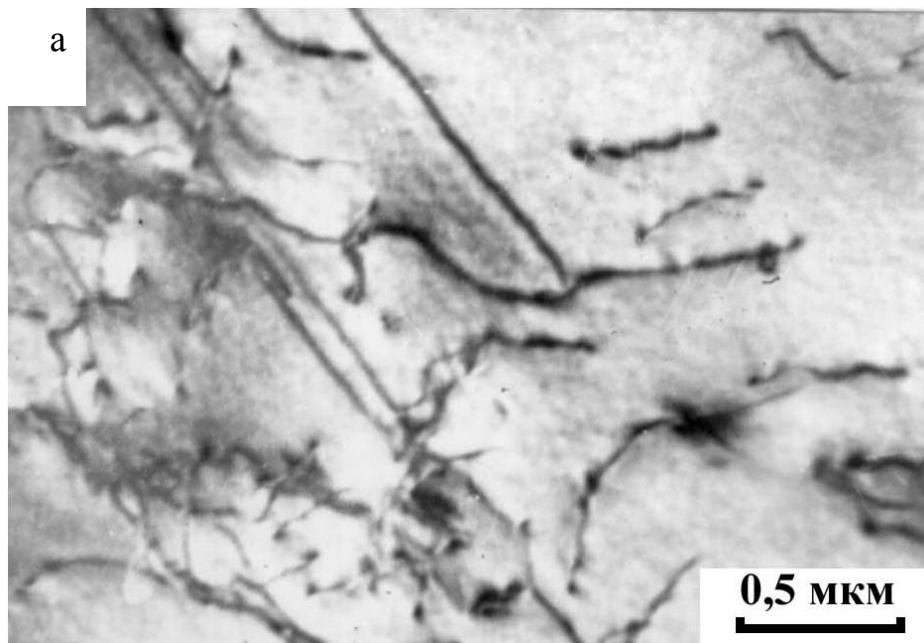
Практическая работа

8



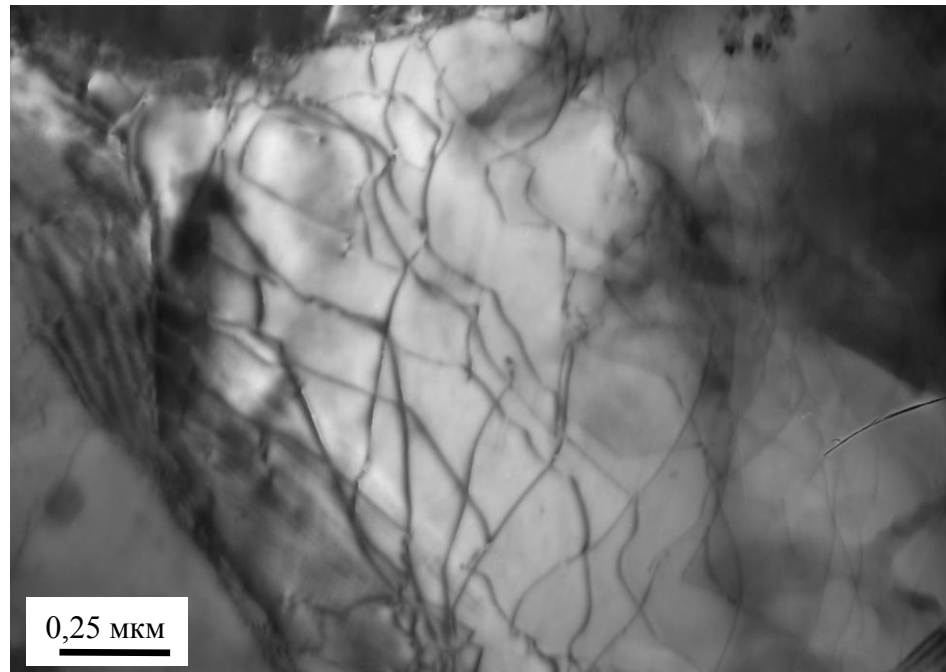
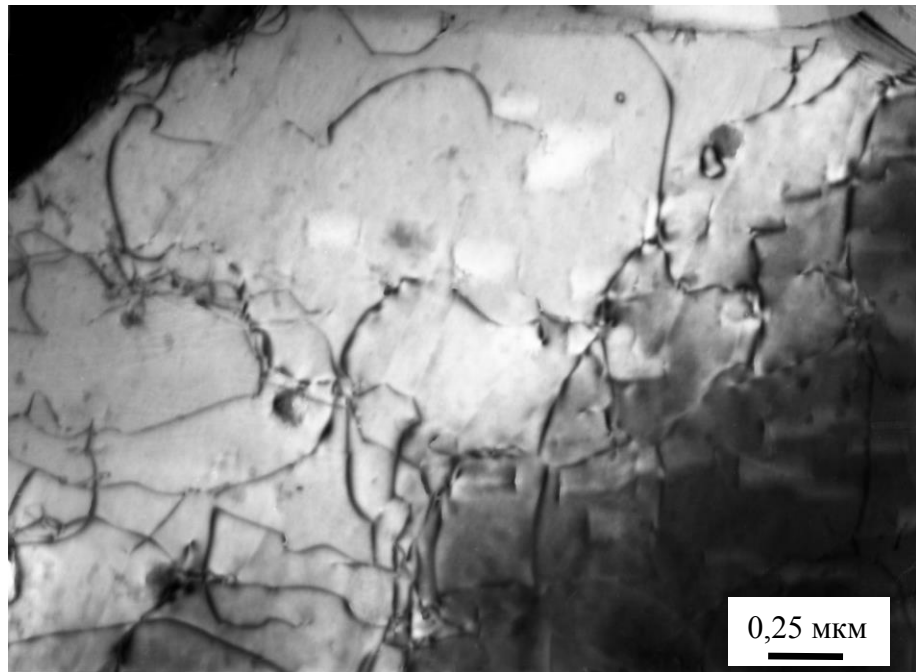
Практическая работа

9



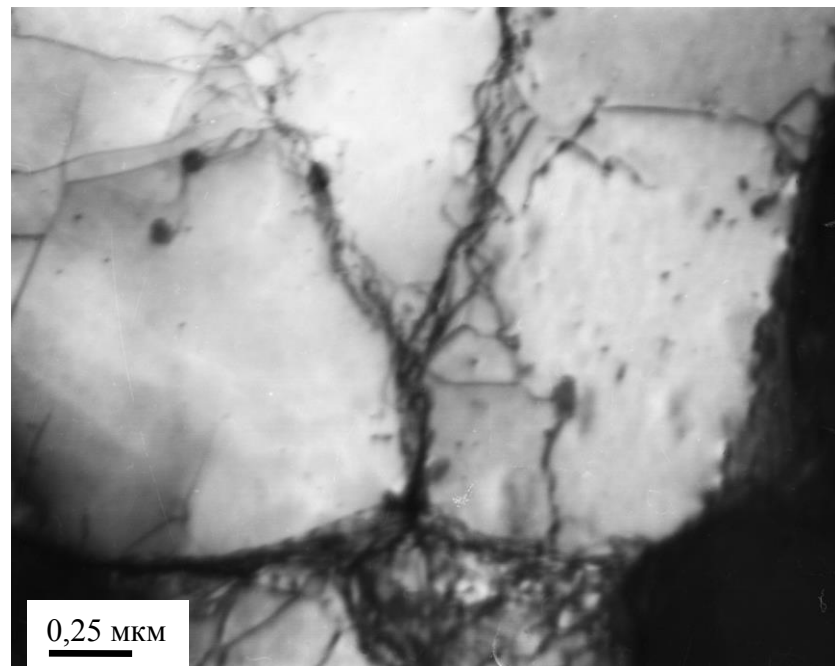
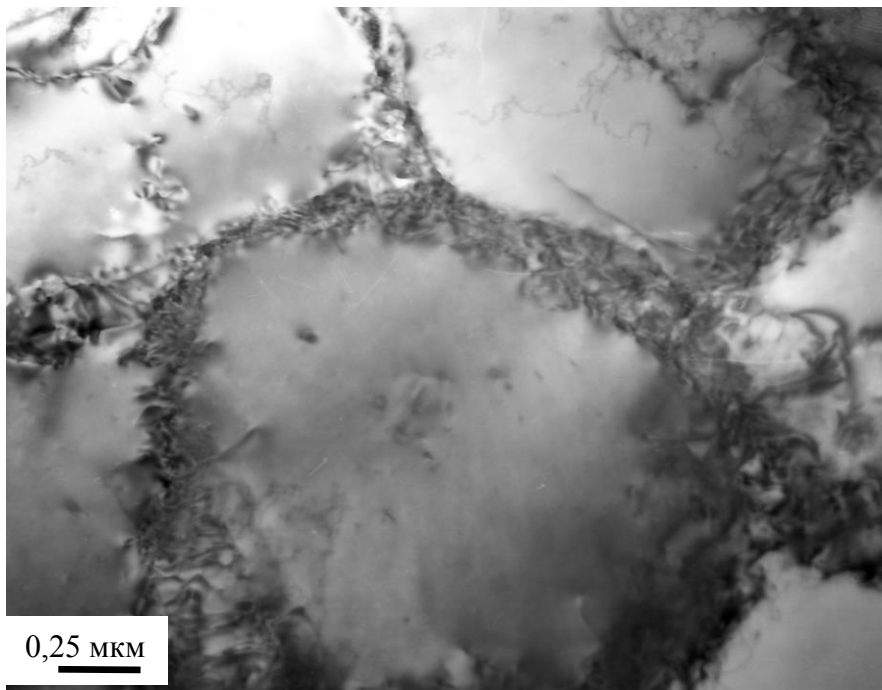
Практическая работа

10



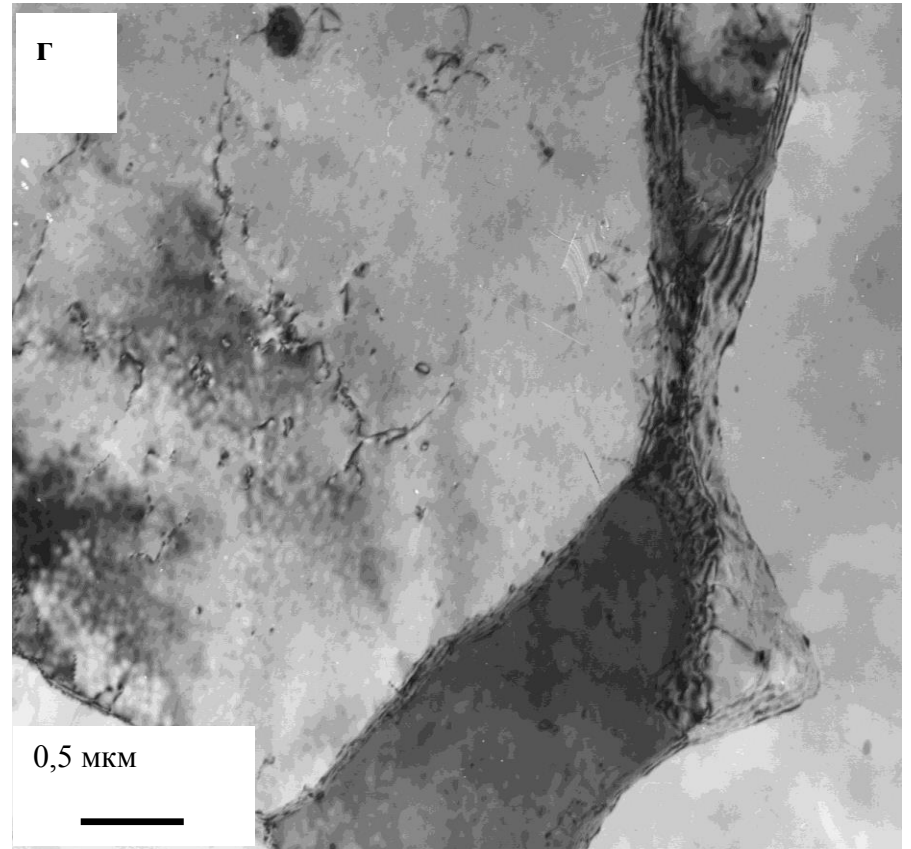
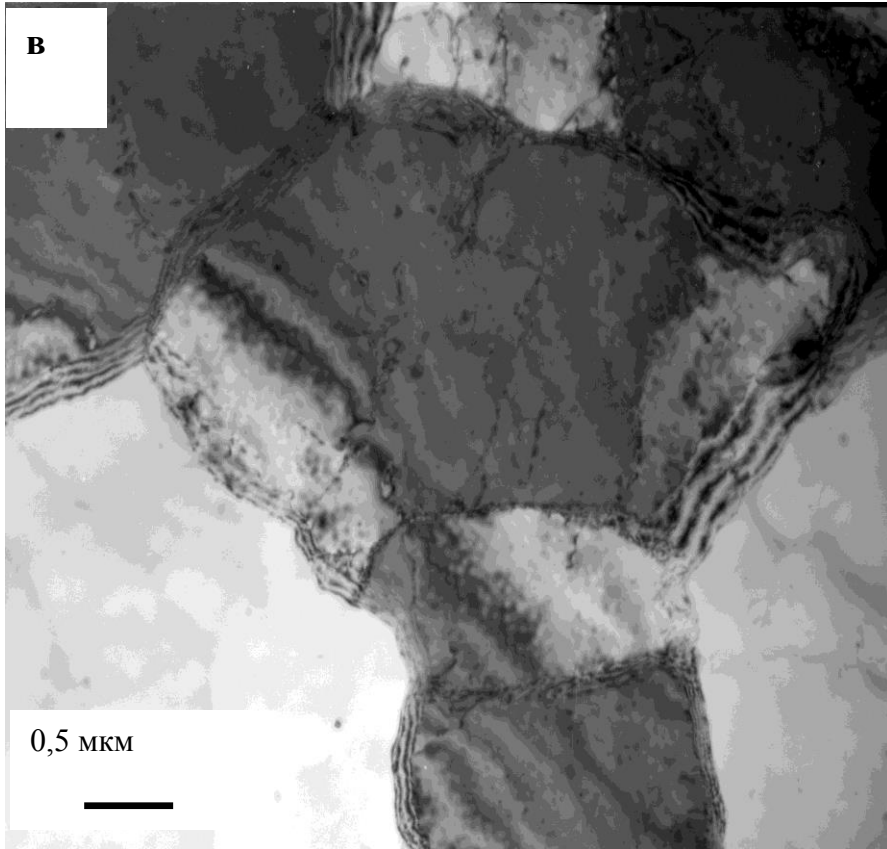
Практическая работа

11



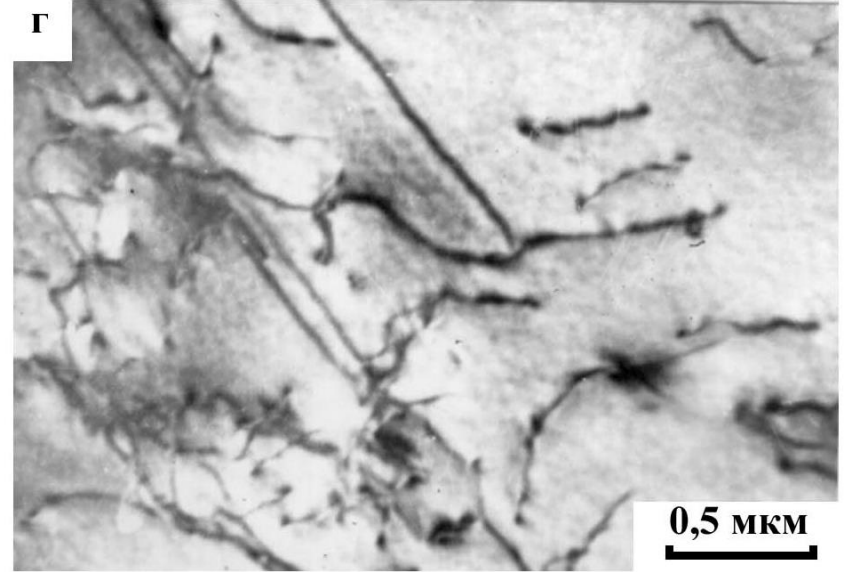
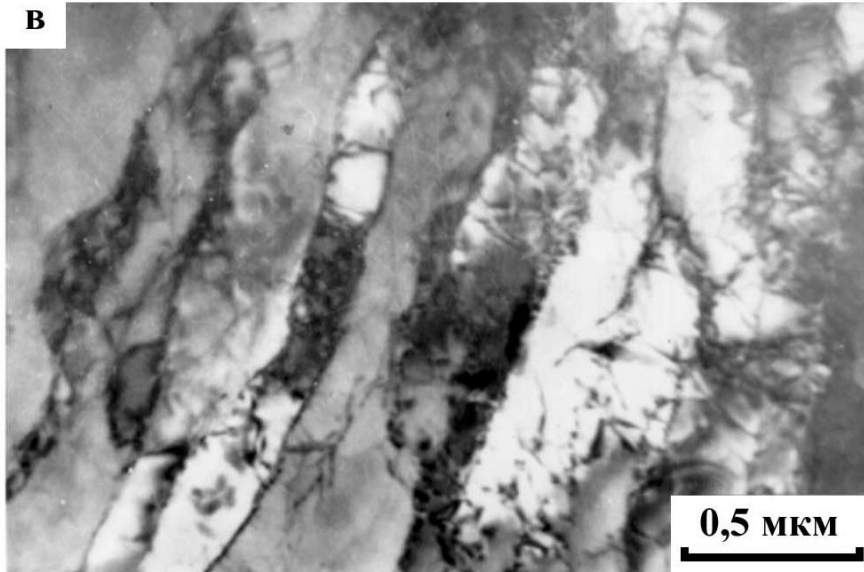
Практическая работа

12



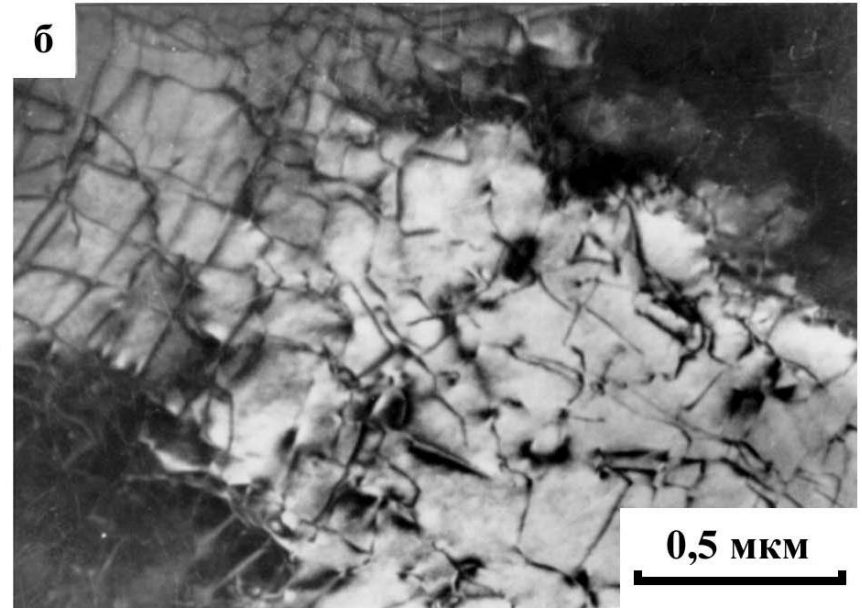
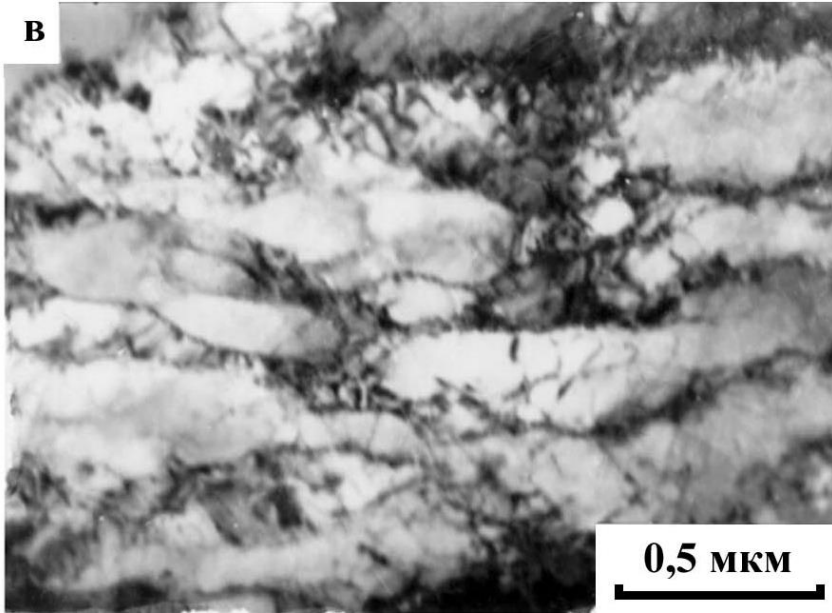
Практическая работа

13



Практическая работа

14



Практическая работа

15

