

Характеристики микроструктуры ВТО-стали X80

Д-р Роуз Янь и проф. Гарри Бхадешиа
Факультет материаловедения и металлургии

<http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/>

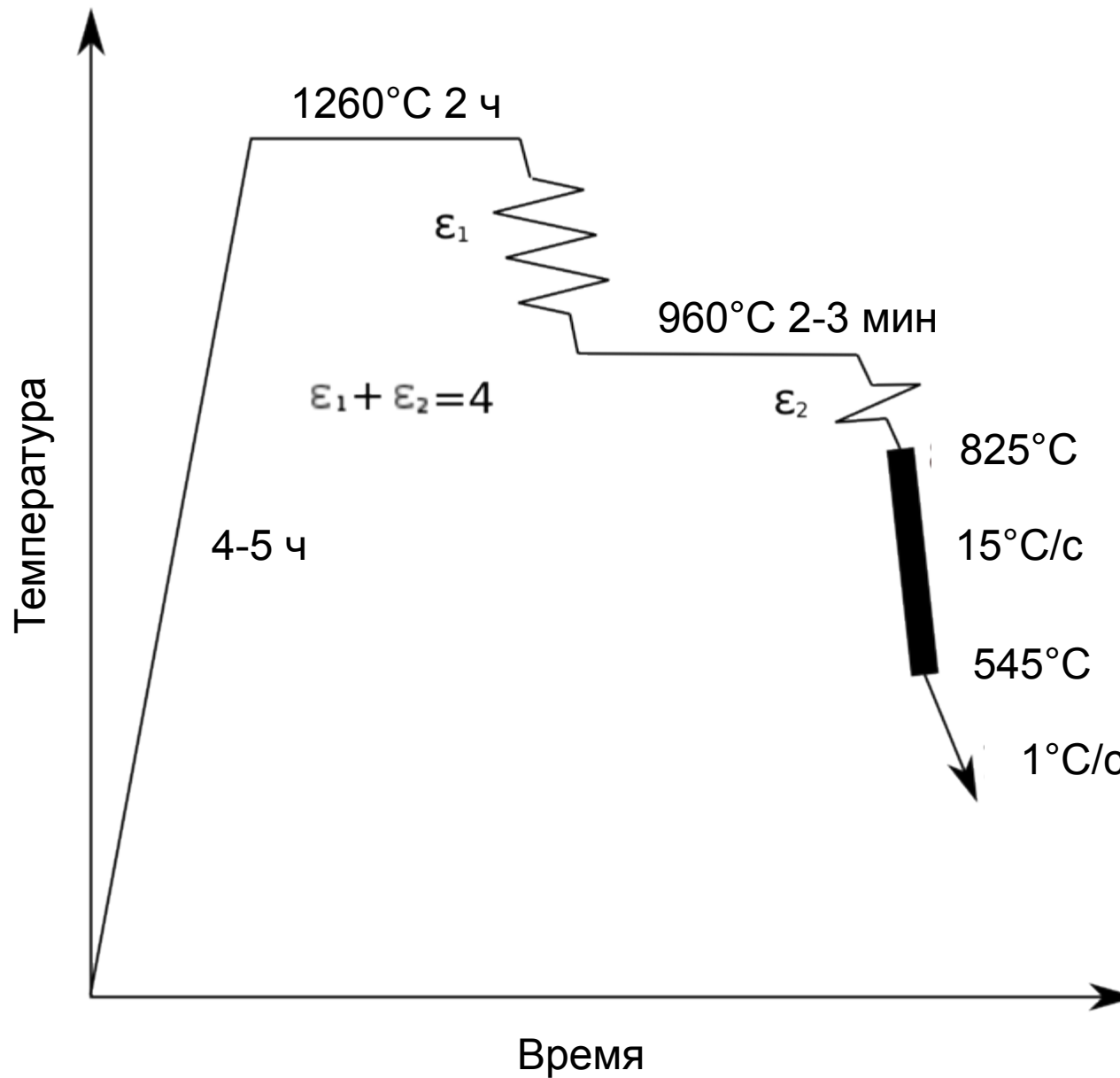
Трубопроводы «Шайенн-Плейнс»



Химический состав, масс.%

C	Mn	P	S	Si	Cu	Ni	Nb	Al	Cr	Ti	N	Ca
0.05	1.55	0.012	0.002	0.12	0.24	0.13	0.095	0.037	0.23	0.011	0.0033	0.0012

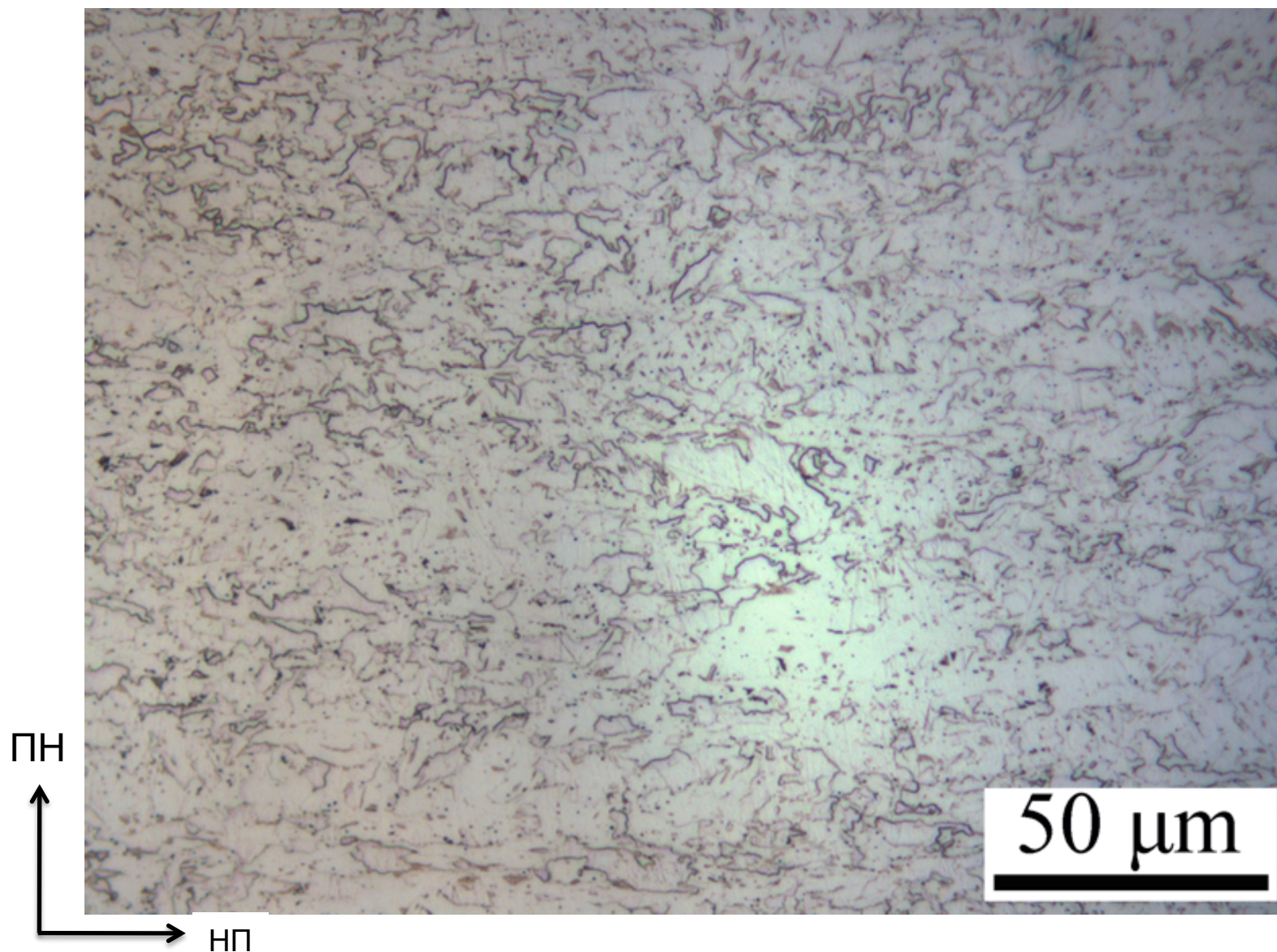
Промышленная технология



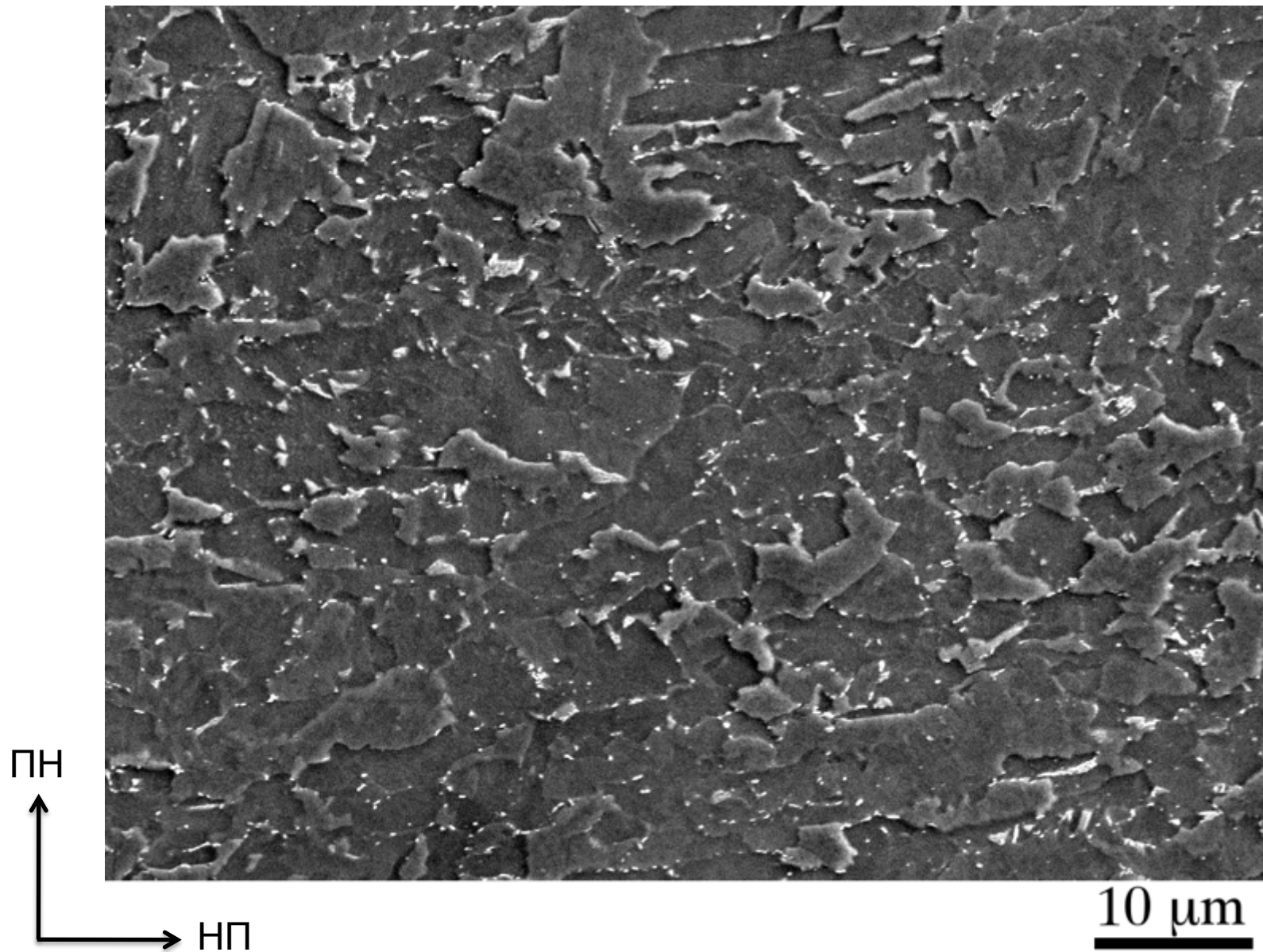
План презентации

1. Микроструктура готового проката
2. Механизм превращения
3. Влияние ниобия на превращение
4. Шов на трубе из стали X80

Микроструктура исследуемой стали (оптическая микроскопия)
Феррит неправильной формы, полученный при ТМКО

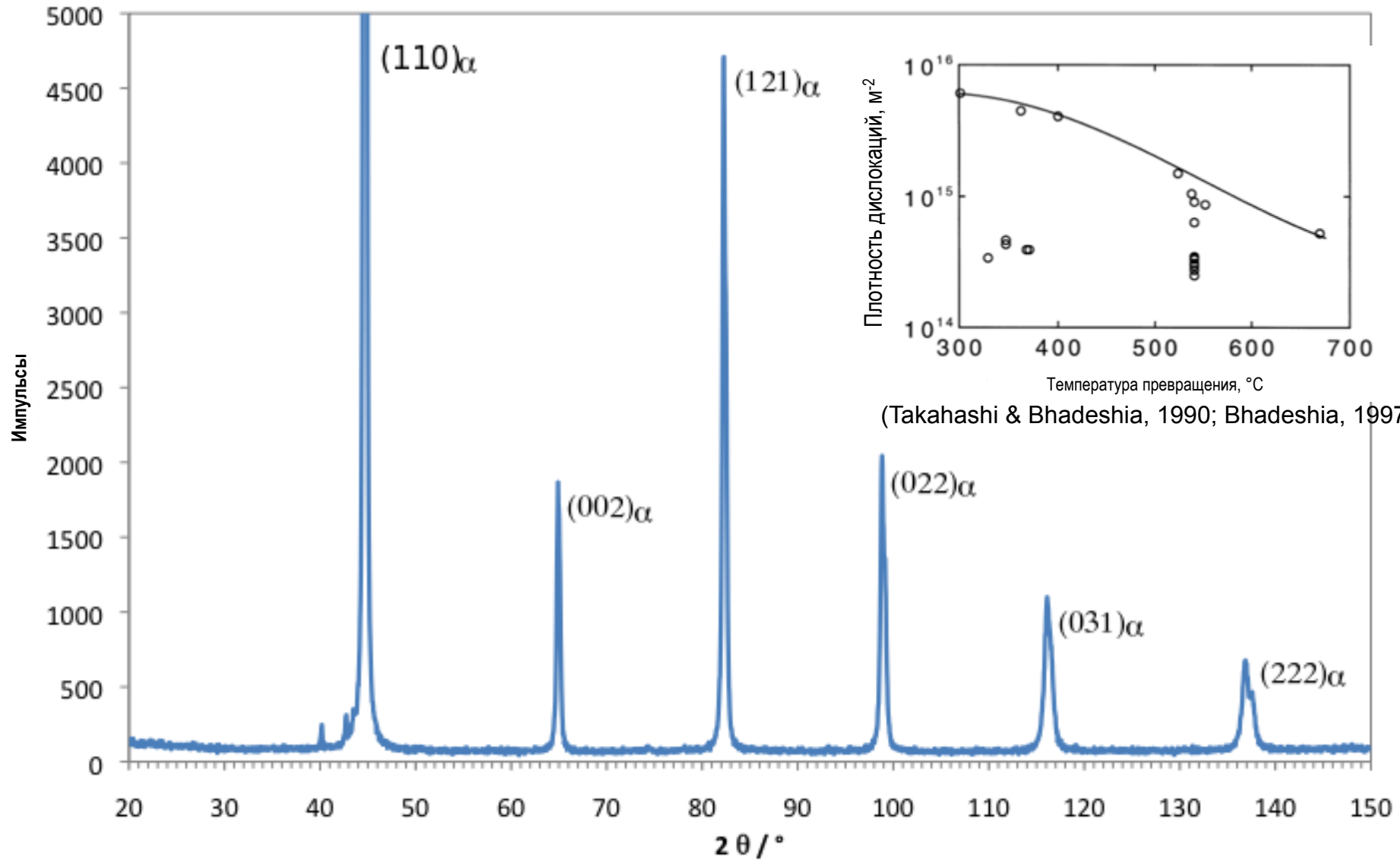


Микроструктура исследуемой стали (растровая микроскопия)



Средний размер зерна, замеренный методом секущих: 4 ± 0.2 мкм

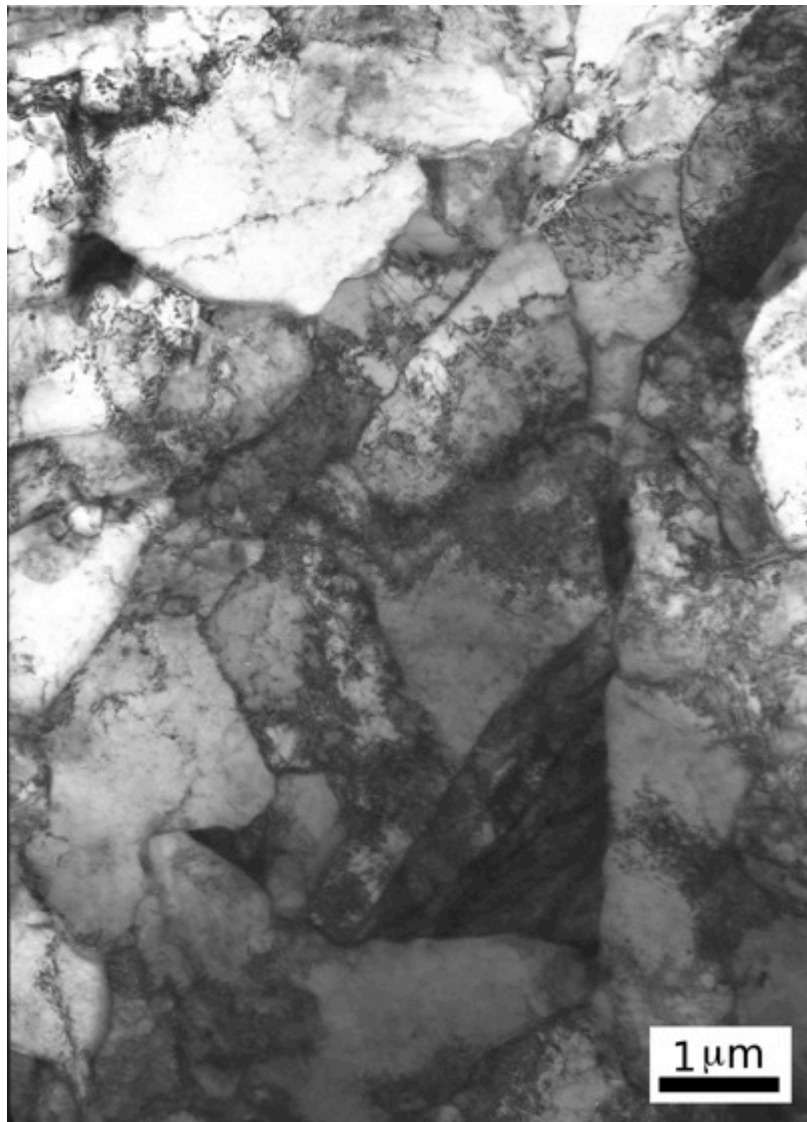
Дифрактограмма



Плотность дислокаций оценивается в $1.4 \times 10^{14} m^{-2}$

Просвечивающая электронная микроскопия

Общая зеренная структура



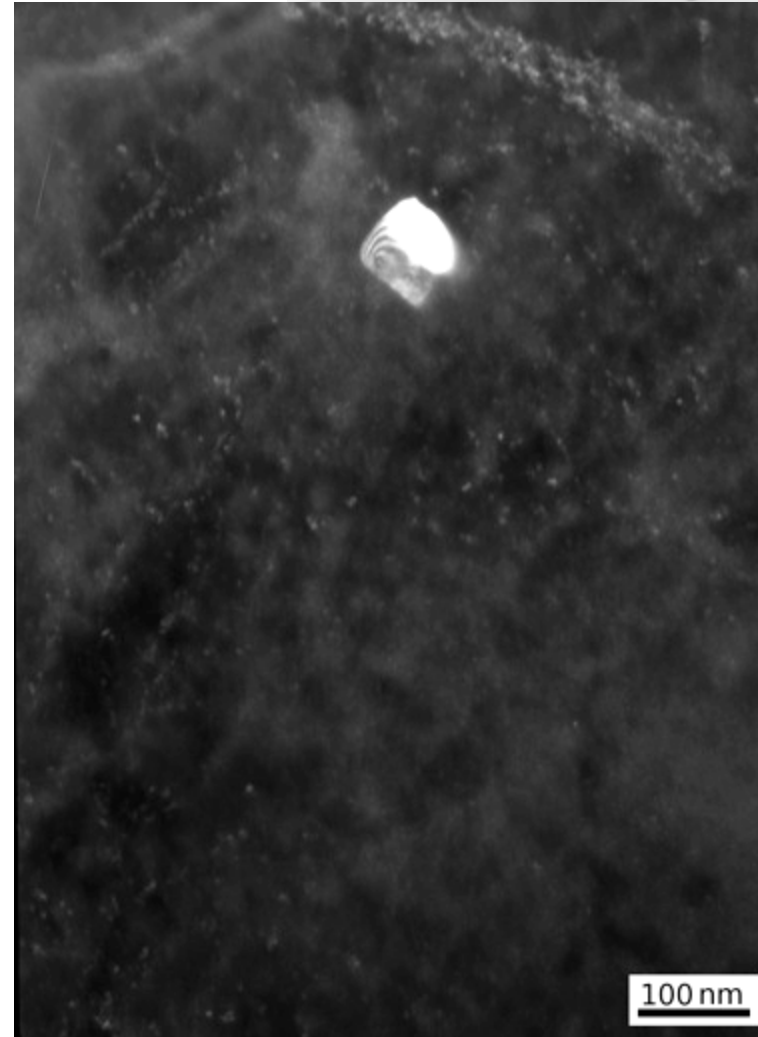
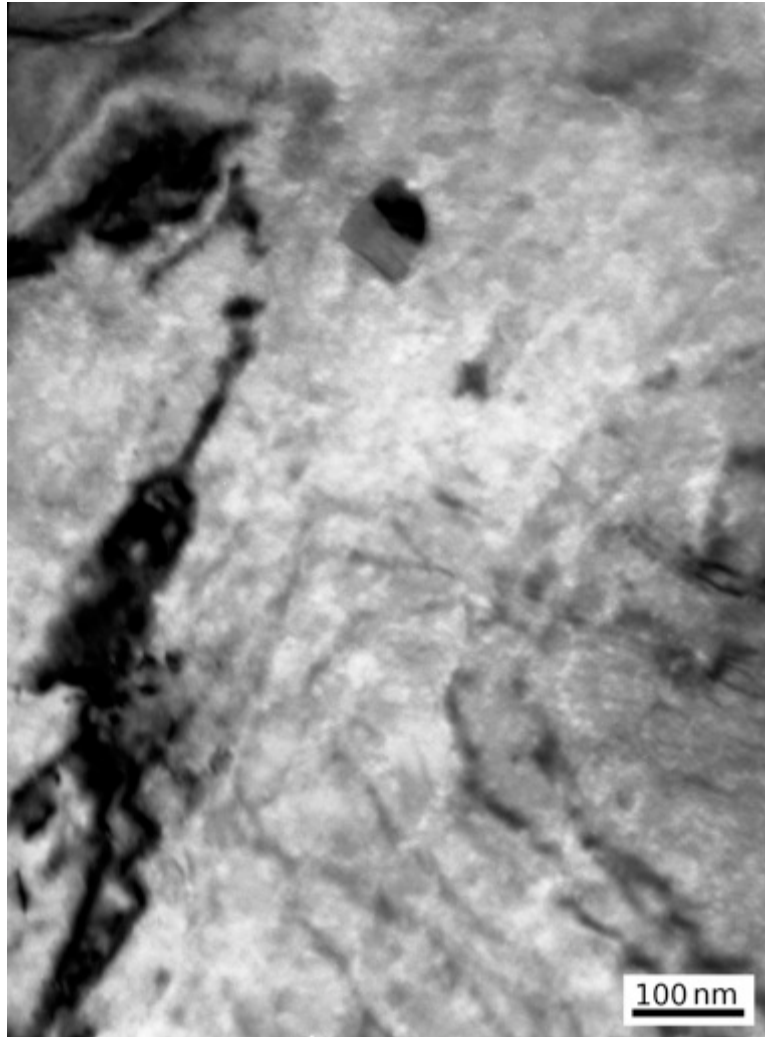
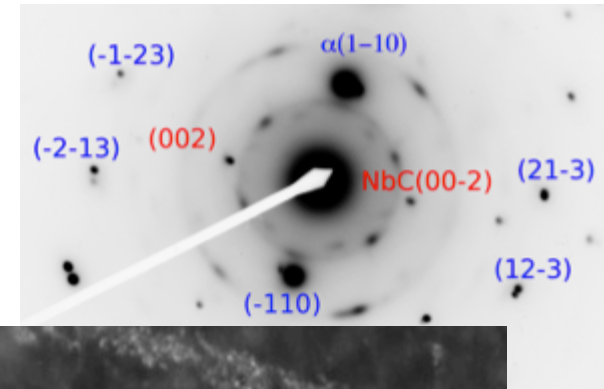
1 μm

Два типоразмера выделений NbC

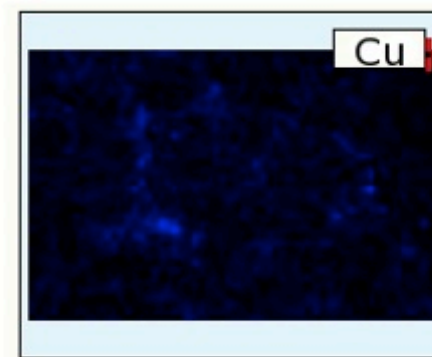
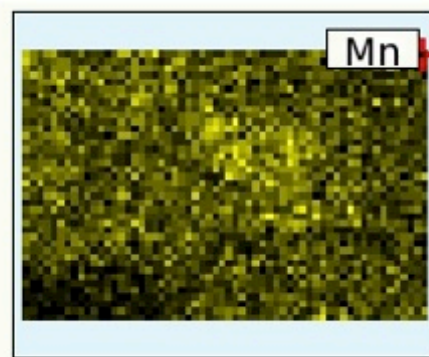
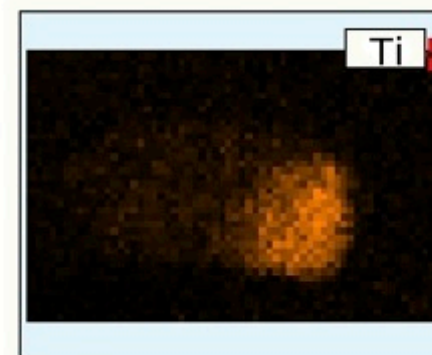
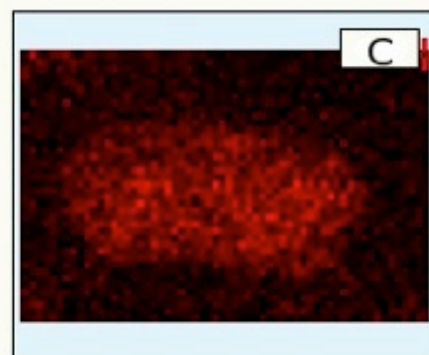
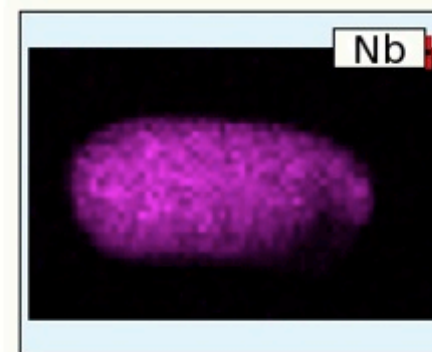
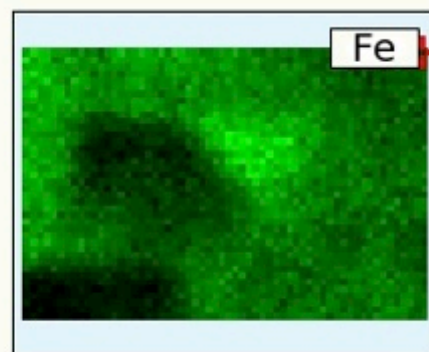
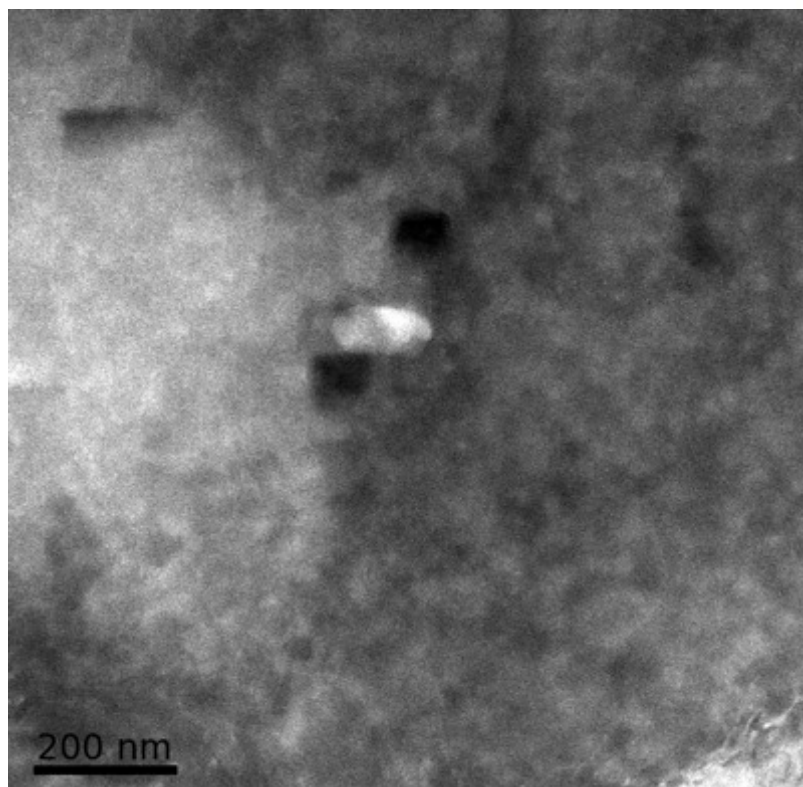
$\text{NbC}[110]//\alpha[111]$

$\text{NbC}(1-11)//\alpha(0-11)$

Небольшие карбонитриды NbC <10 нм



Скопление NbC TiCN

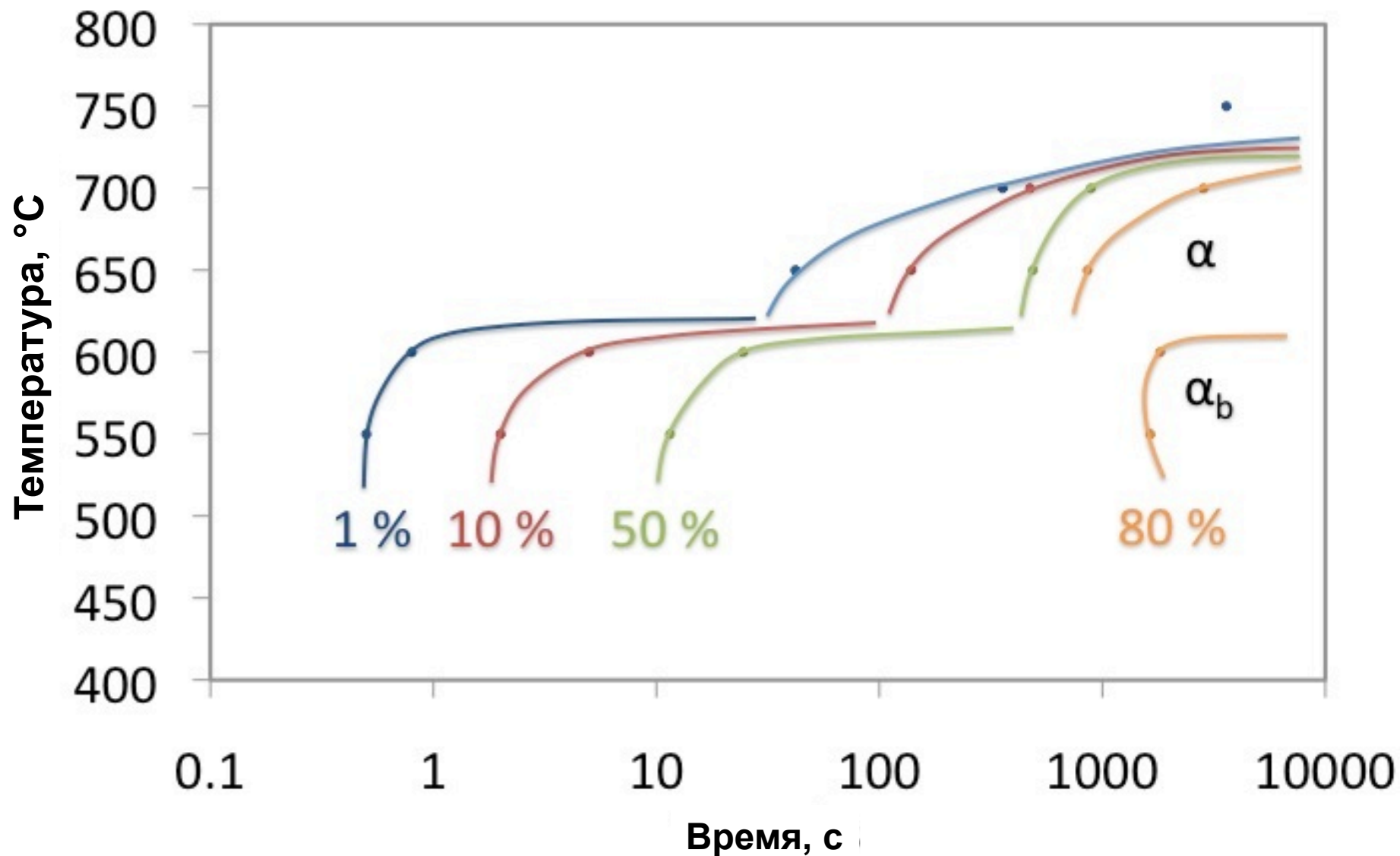


Состав выделений, подтвержденного ЭДРА (ПЭМ) с рентгеновским детектором с ультратонким окном

2. Механизм превращения в стали X80

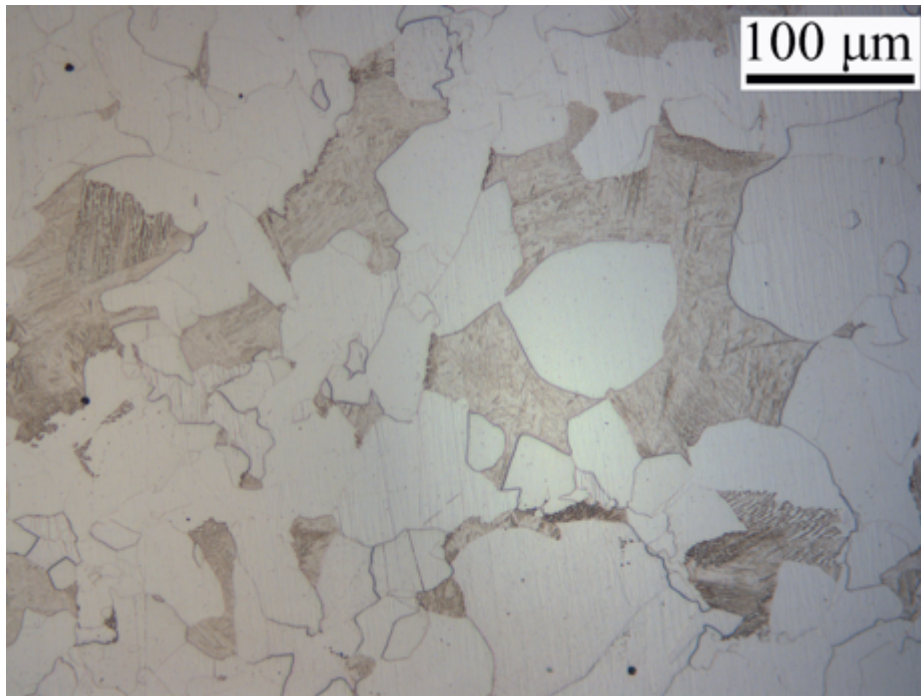
Подготовлено для рассмотрения экспертами

Диаграмма изотермического превращения

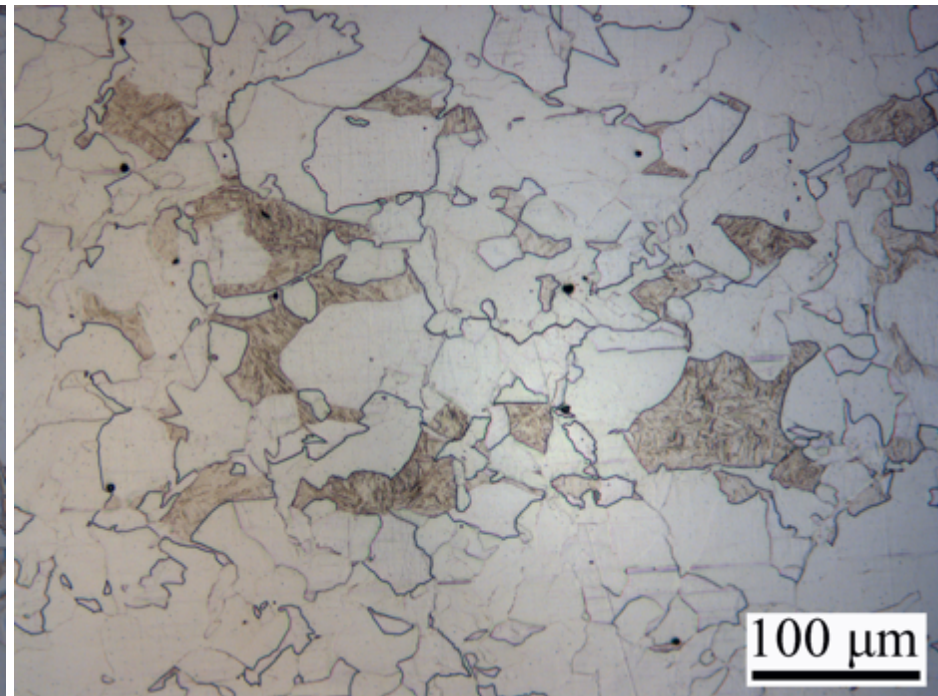


Аллотриоморфный феррит образуется в ходе 1-часовой выдержки при указанных ниже температурах, а оставшийся аустенит трансформировался в мартенсит после охлаждения

700 °C

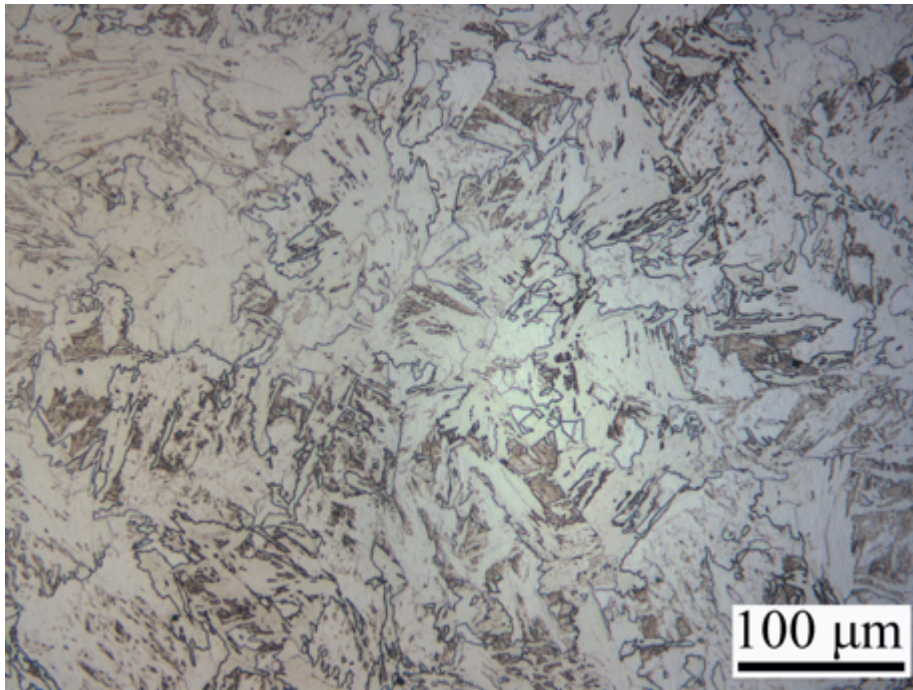


650 °C

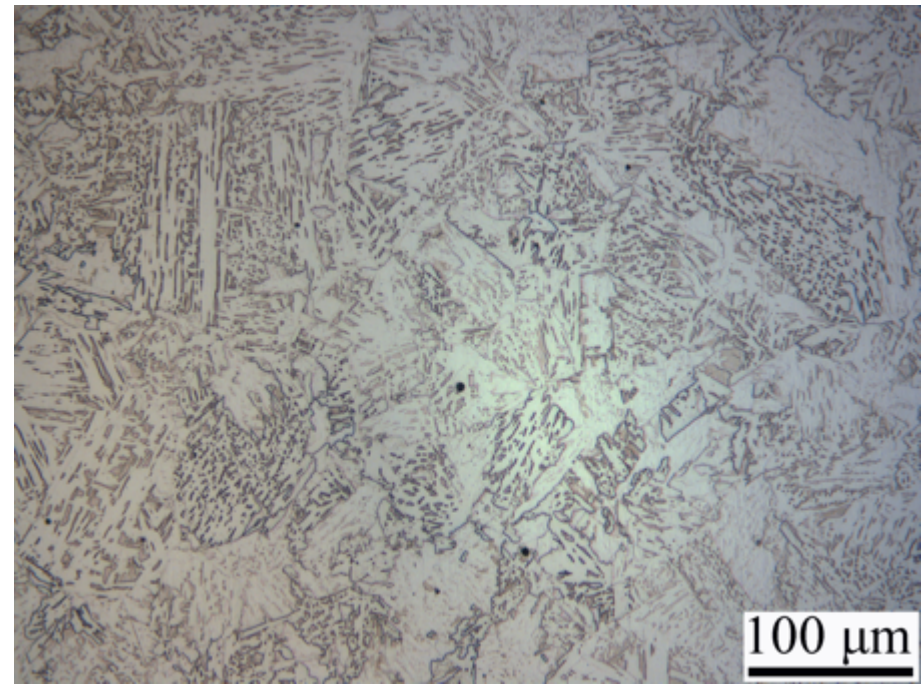


Образование бейнита в ходе при 1-часовой изотермической выдержки при температуре:

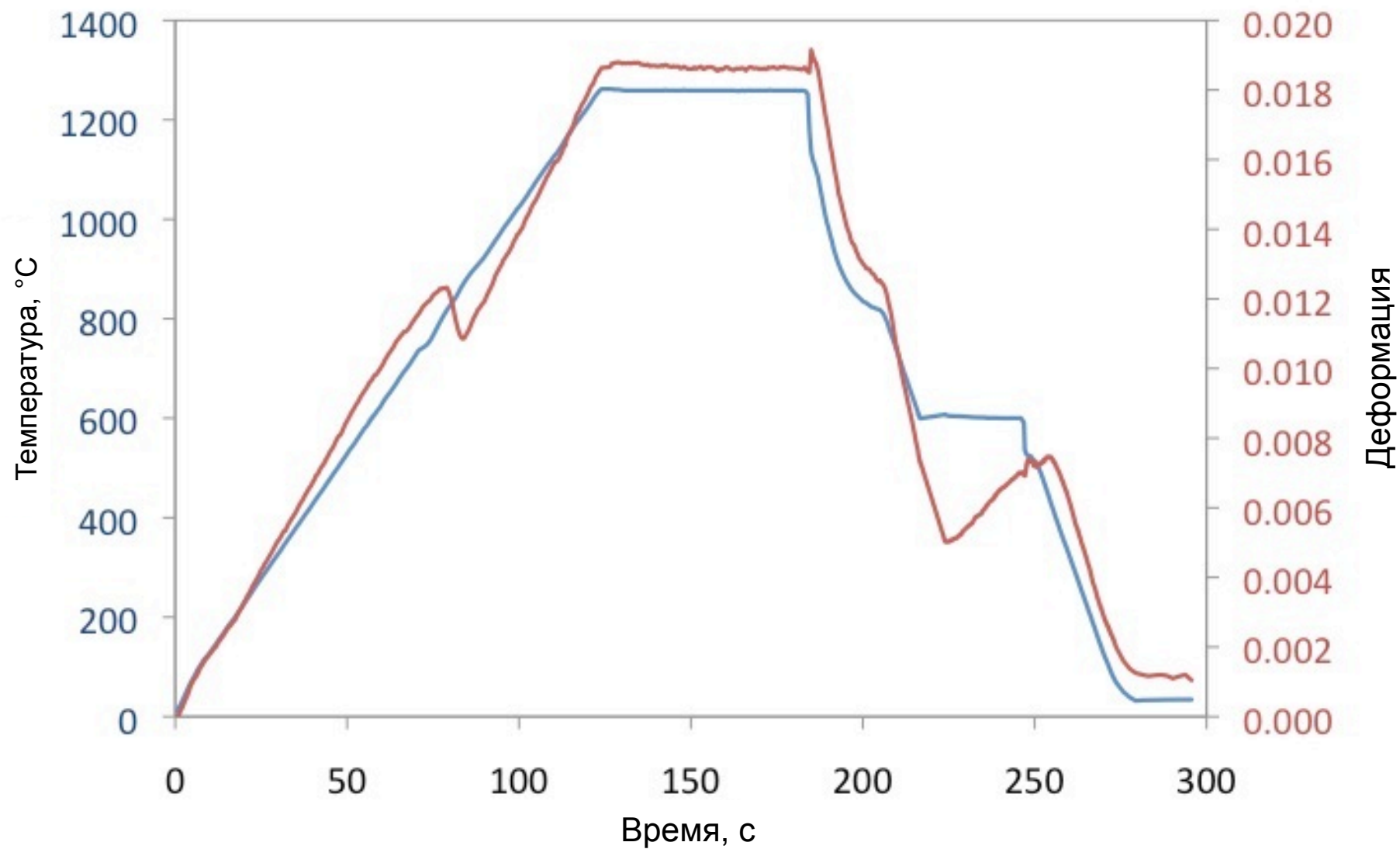
600 °C



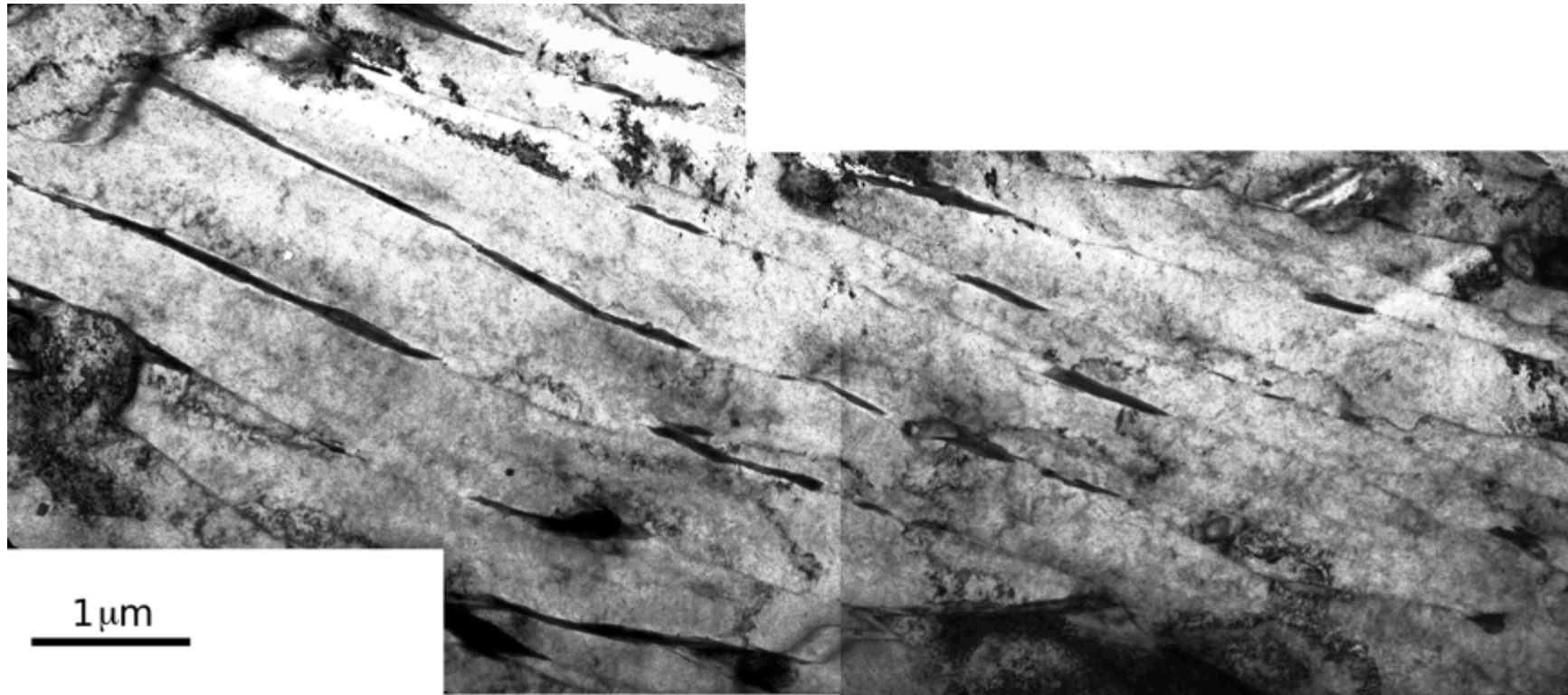
550 °C



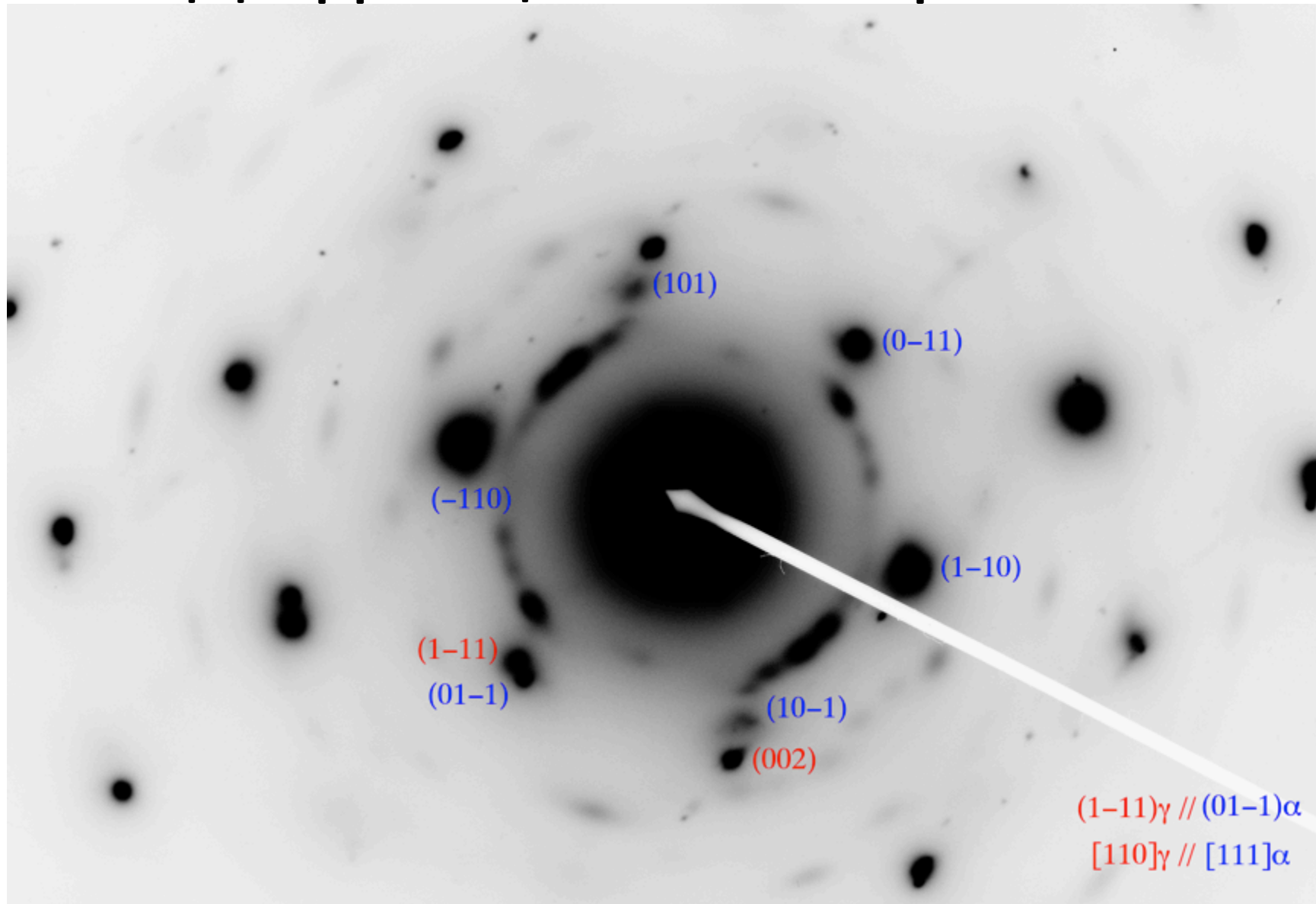
Изотермическое превращение при 600°C в течение 30 сек



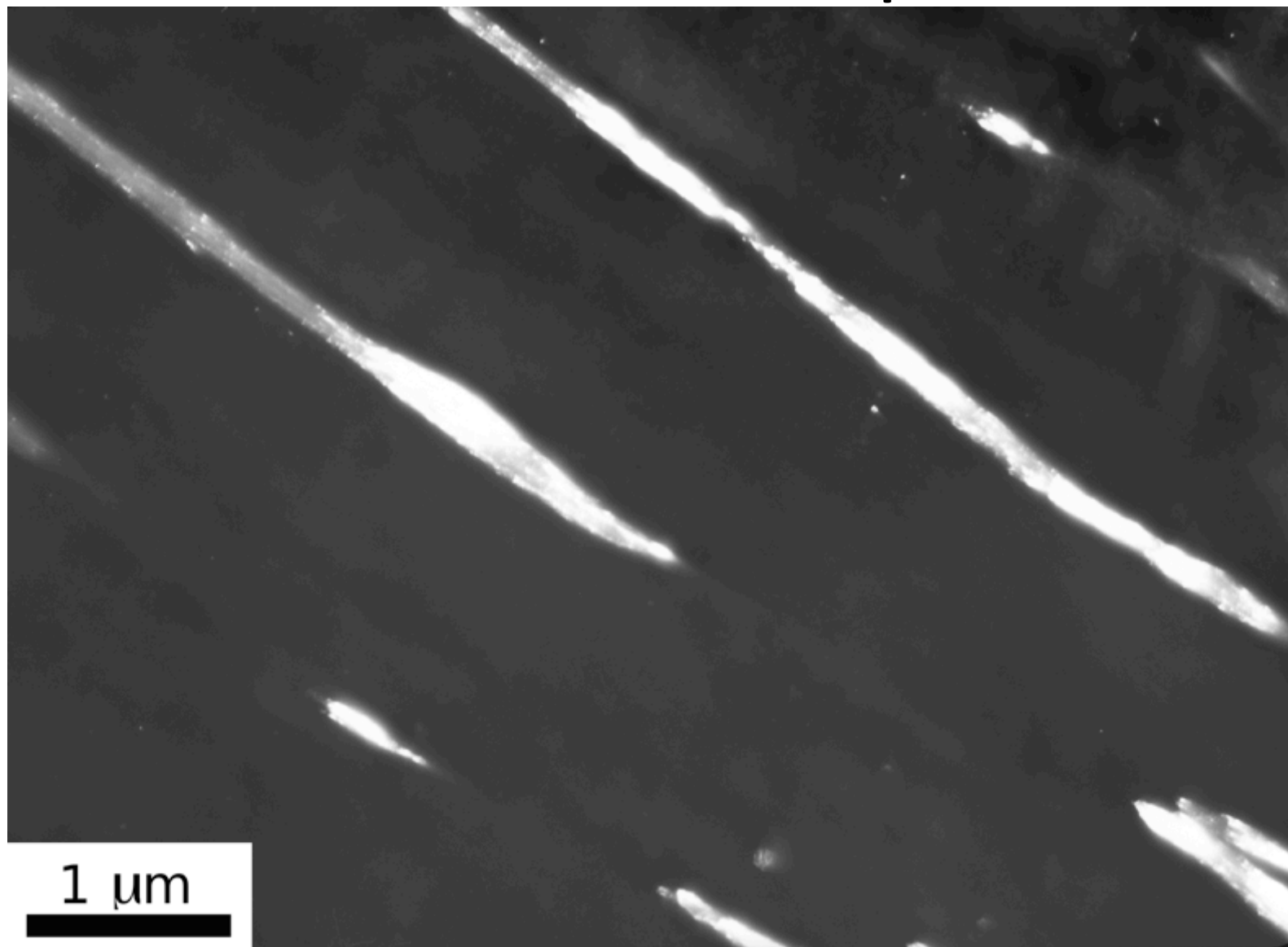
Структура исследуемого материала
(просвечивающая электронная микроскопия)



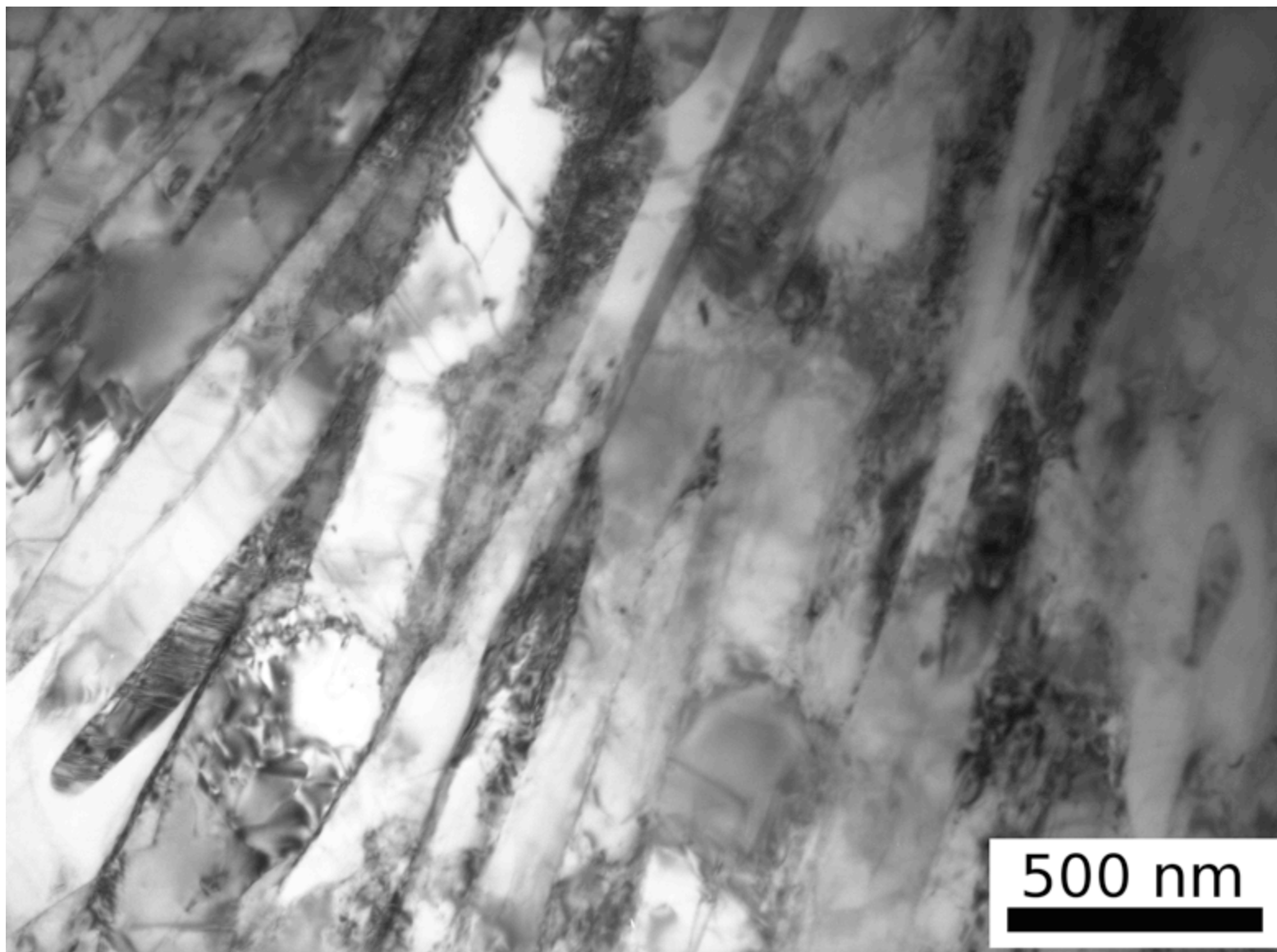
Дифракционная картина



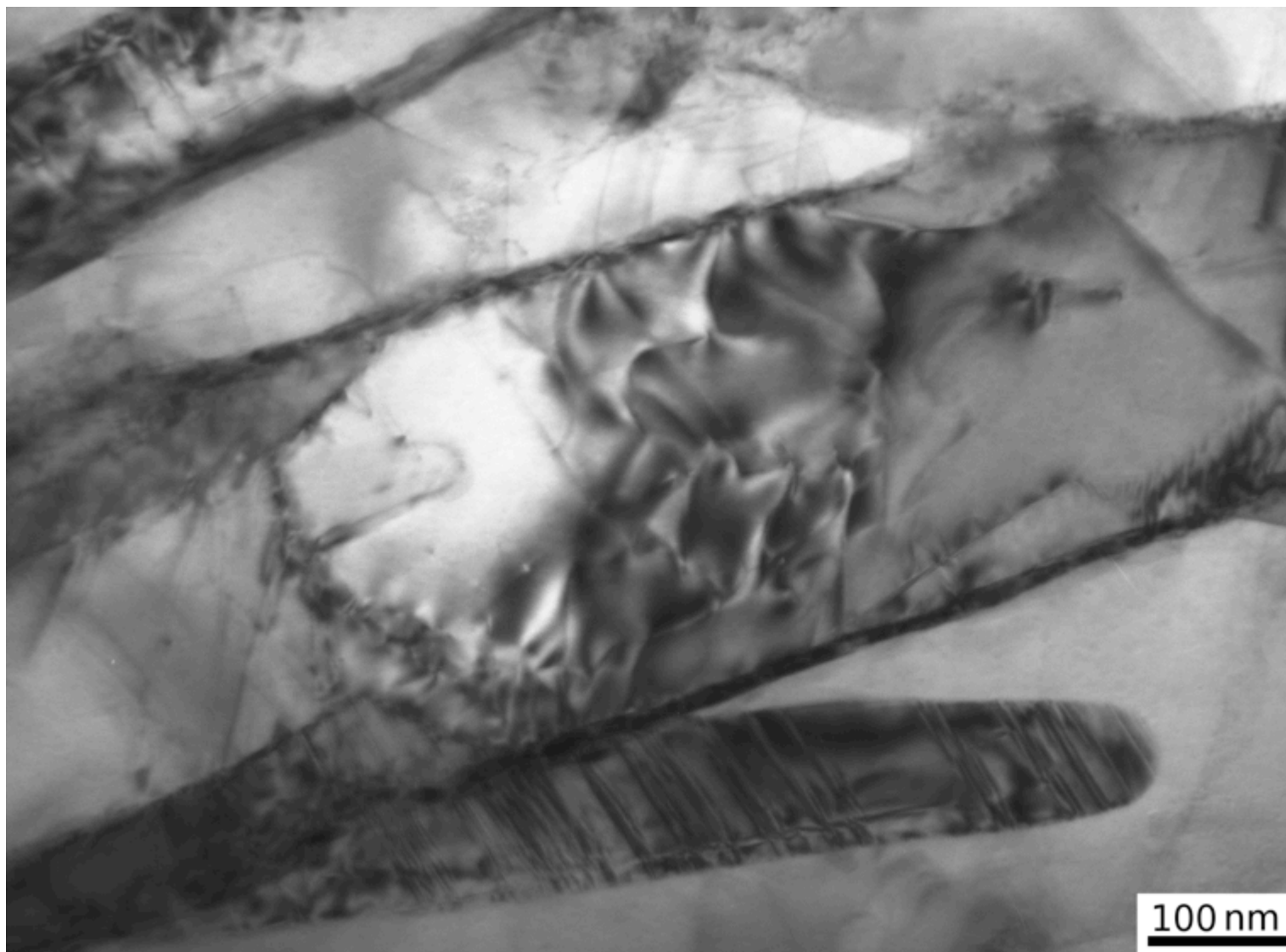
Темнопольное изображение



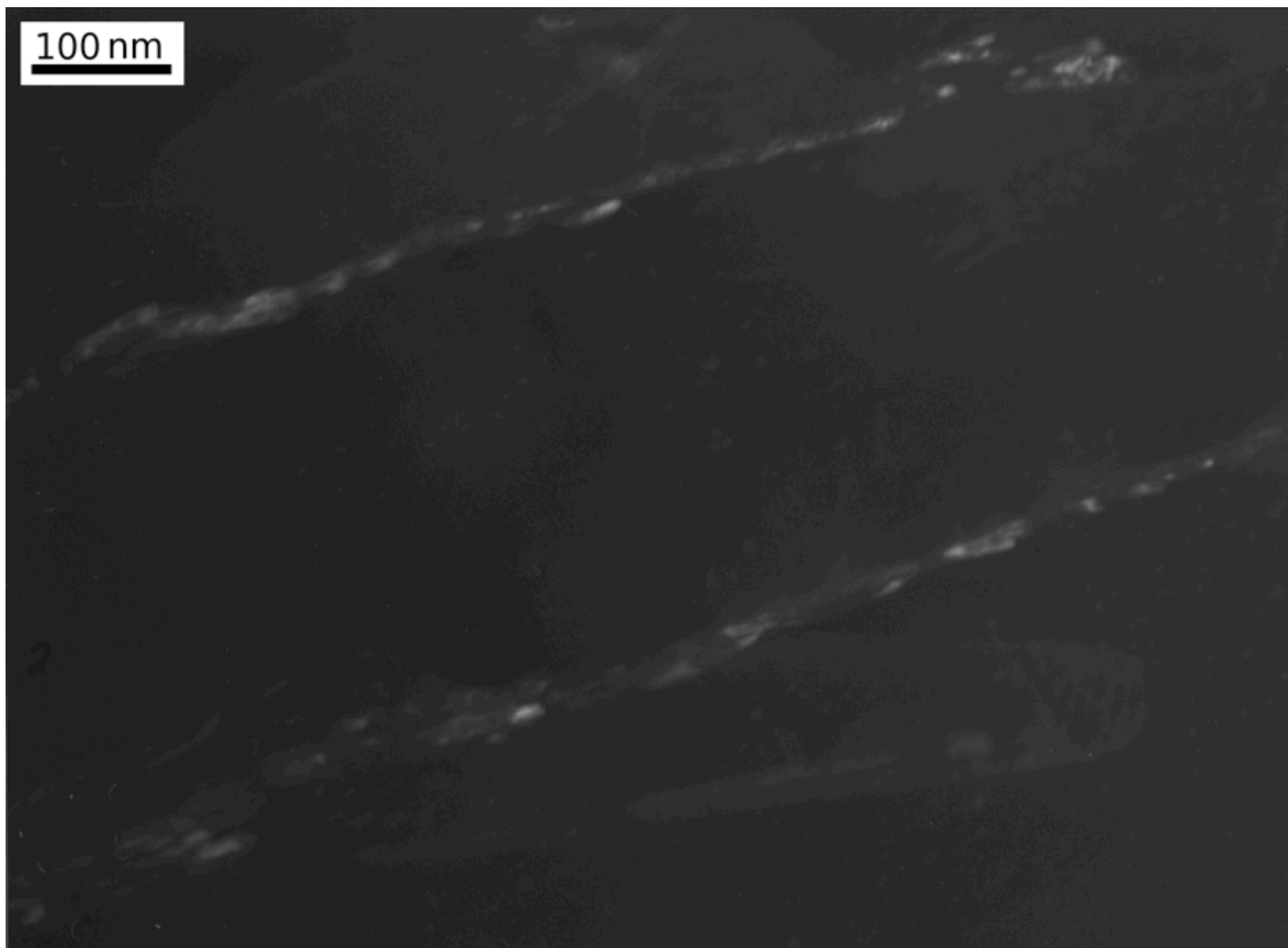
После выдержки при 600 °С в течение 1 ч
произошло сращивание пластин бейнита



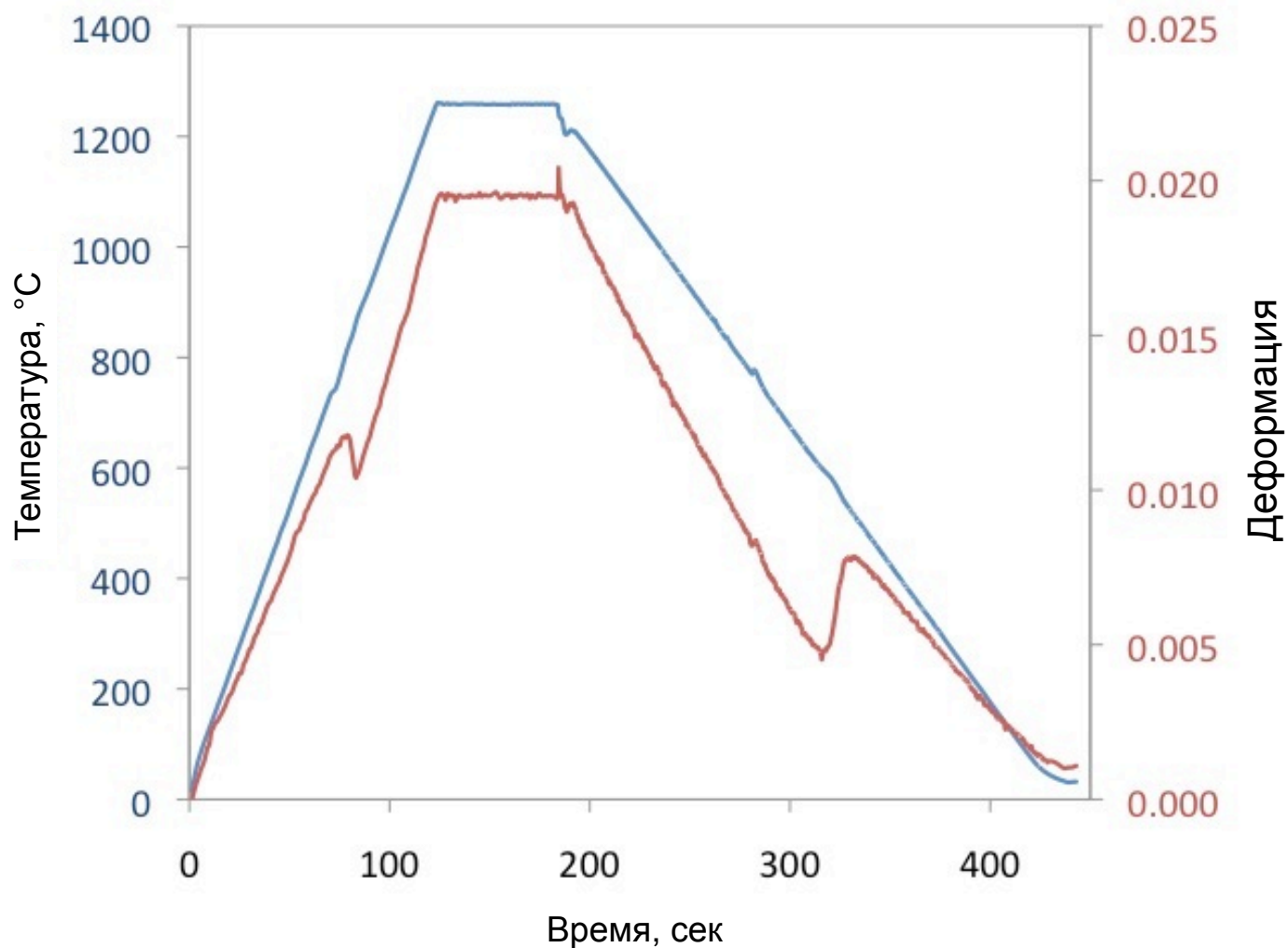
Светлопольное изображение образца, выдержанного при 600°C в течение 1 часа



На темнопольном изображении виден распад аустенита

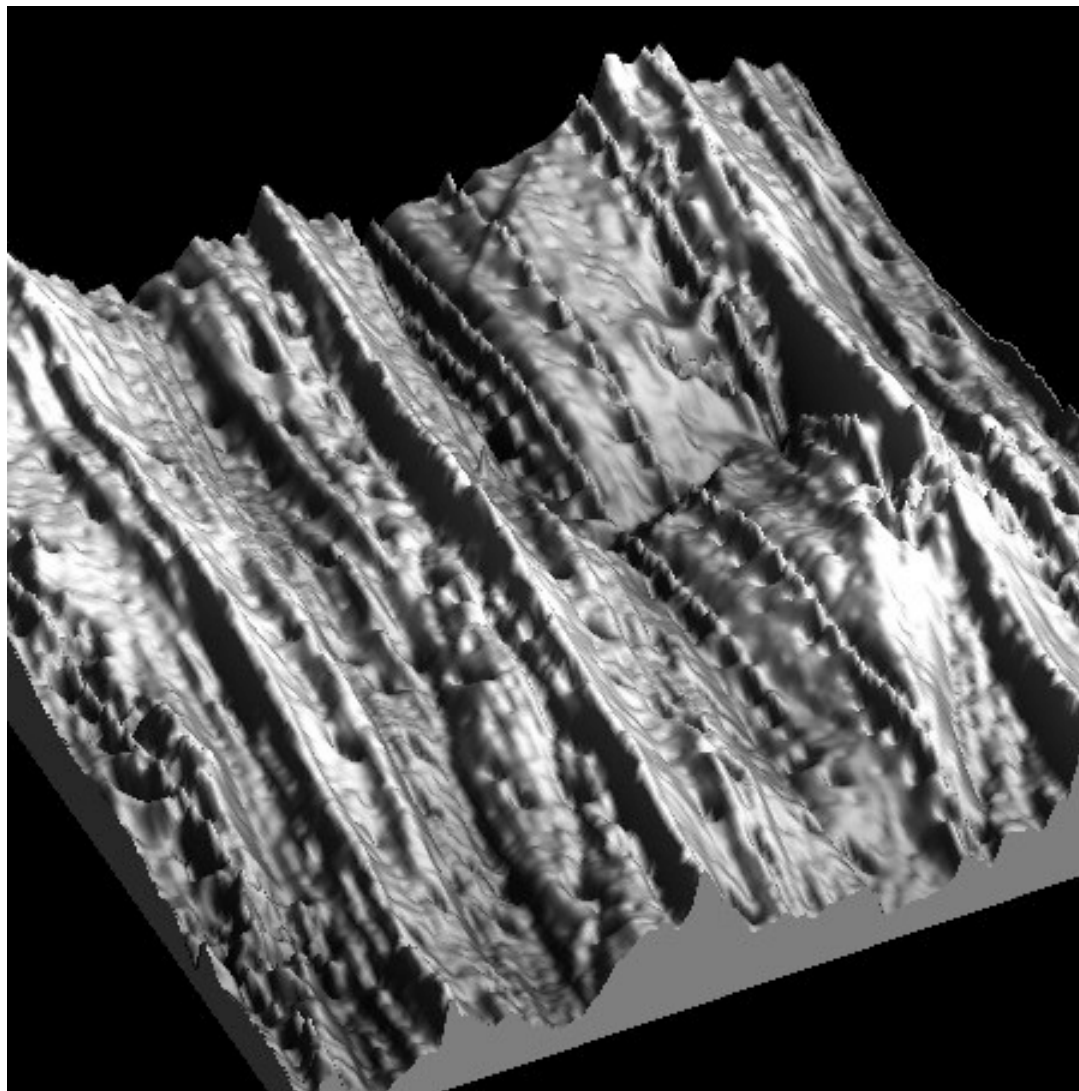


Другой образец с полированной поверхностью, с фазовым превращением под вакуумом



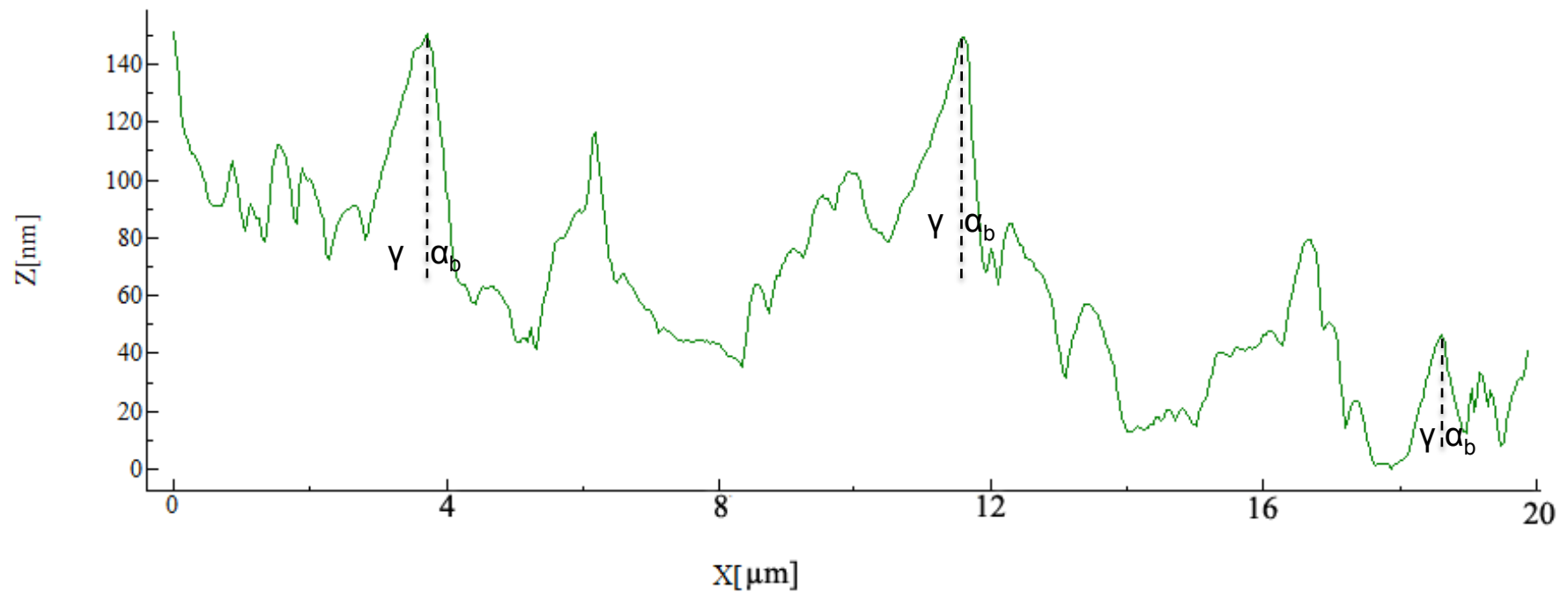
Превращение, происходящее в бейнитной области, по данным дилатометрии

Рельеф поверхности пластин бейнита, полученный при помощи атомно-силовой микроскопии



Площадь поверхности 20X20 мкм, максимальная высота 246 нм

Контур профиля



Кажущийся сдвиг $S_A=0.182\pm 0.059$

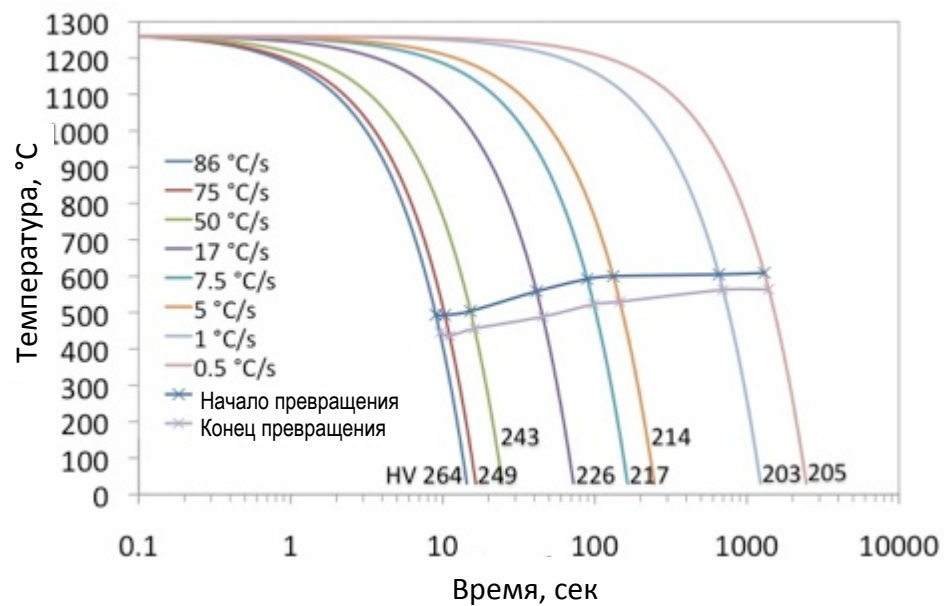
Истинный сдвиг может приниматься равным кажущемуся сдвигу, поскольку пластины наклонены по отношению к наблюдаемой поверхности

3. Влияние ниобия на фазовое превращение

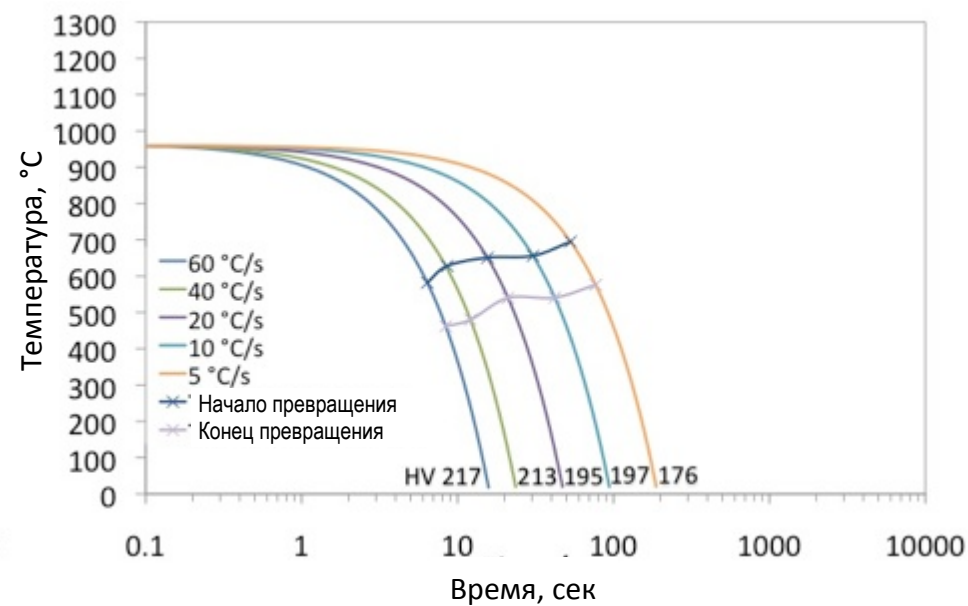
Подготовлено для рассмотрения экспертами

Термокинетические диаграммы (ТКД)

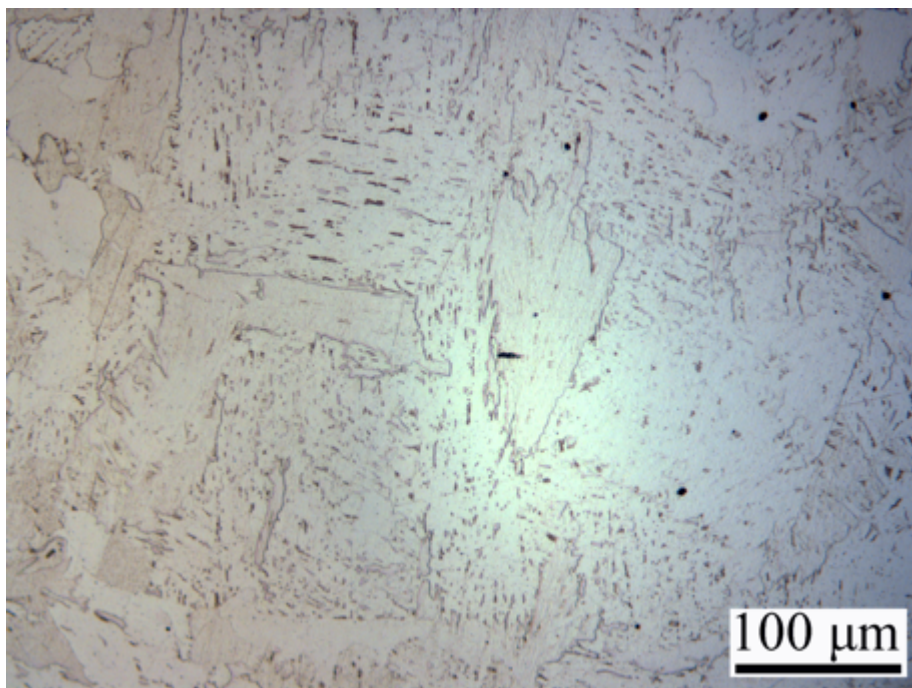
с 1260 °C



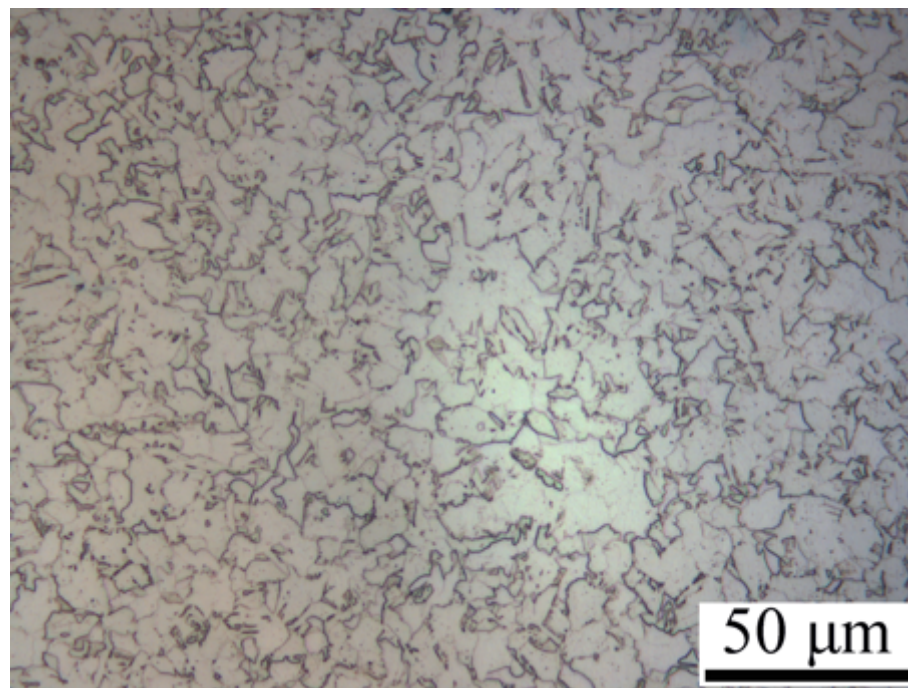
с 960 °C



**Бейнит, образовавшийся
при охлаждении с 1260 °С
при 0.5 °С/с**

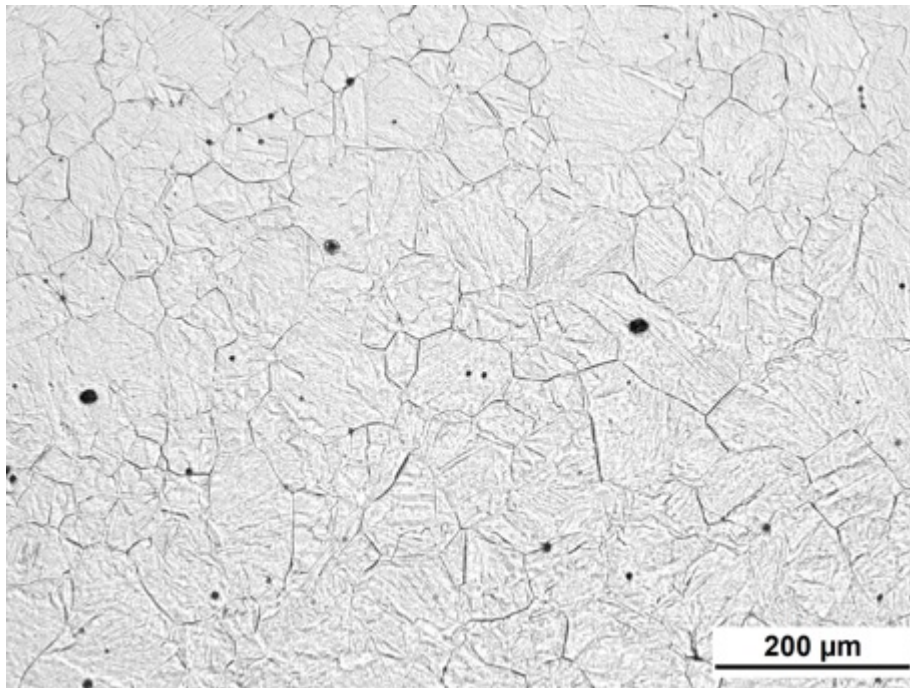


**Феррит, образовавшийся
при охлаждении с 960 °С
при 20 °С/с**



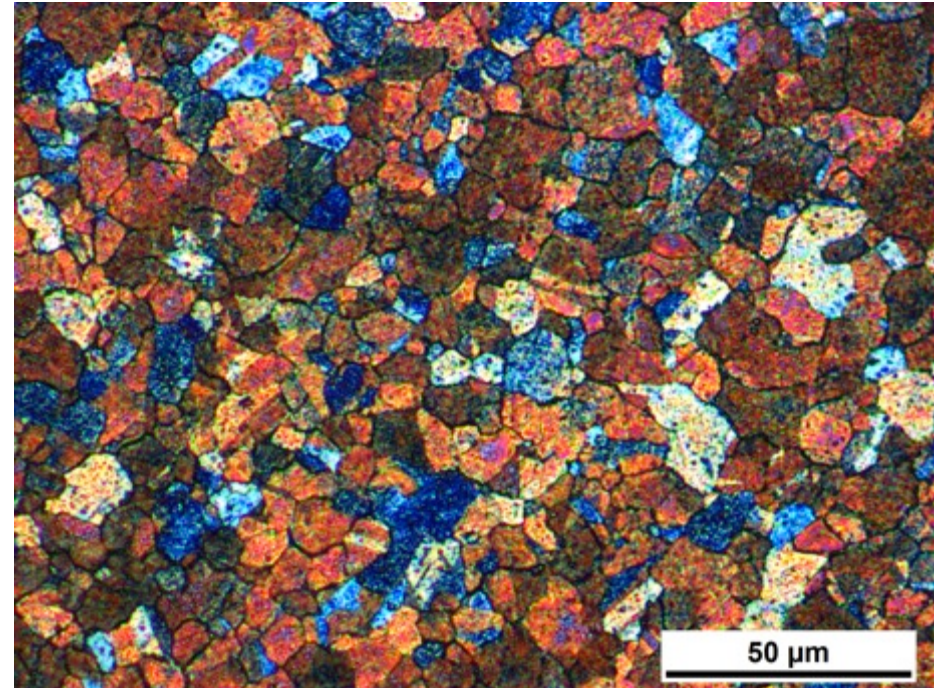
Размер исходного зерна аустенита

1260 °С в течение 1 мин



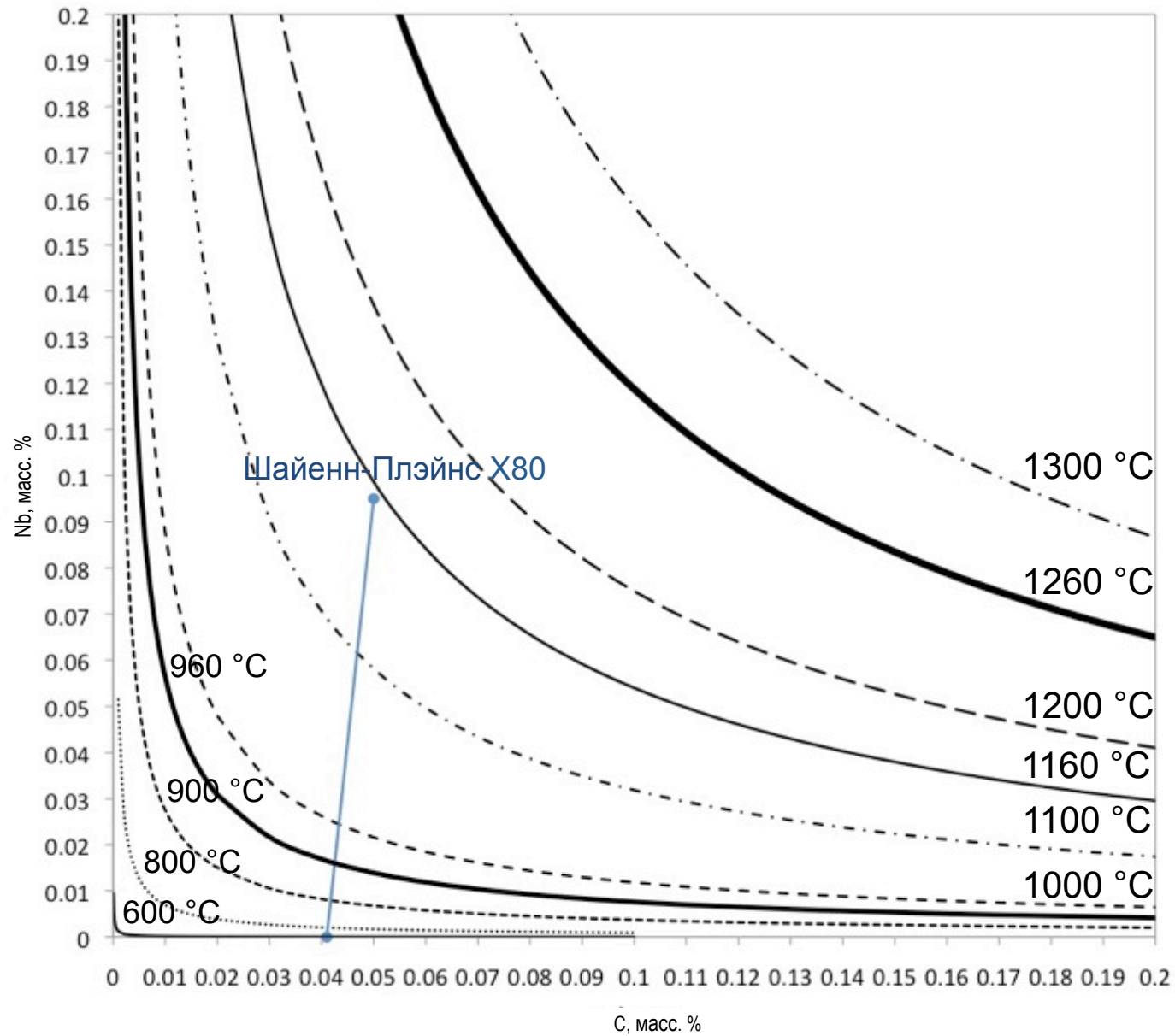
70 ± 6 мкм

960 °С в течение 5 мин

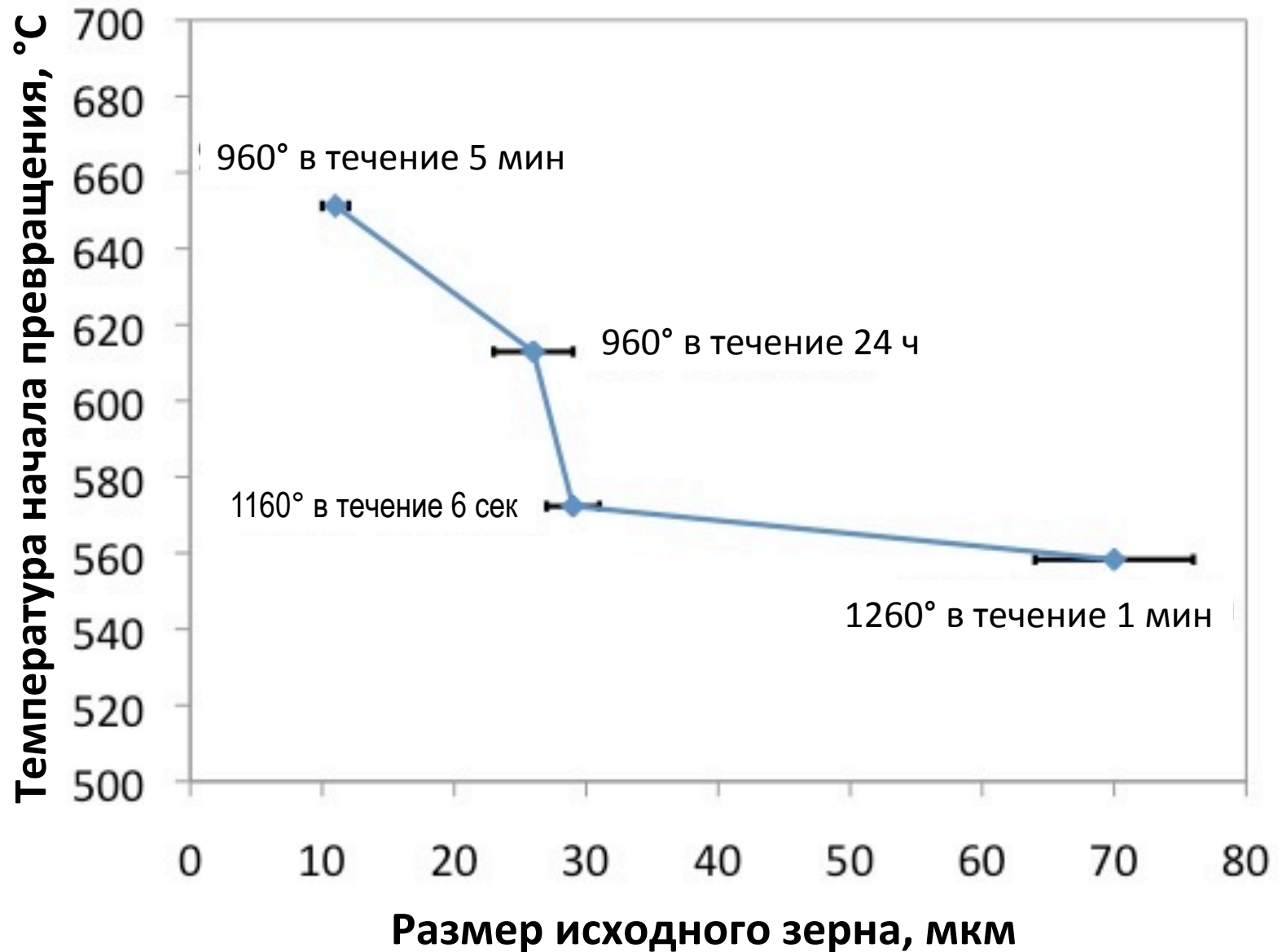


11 ± 1 мкм

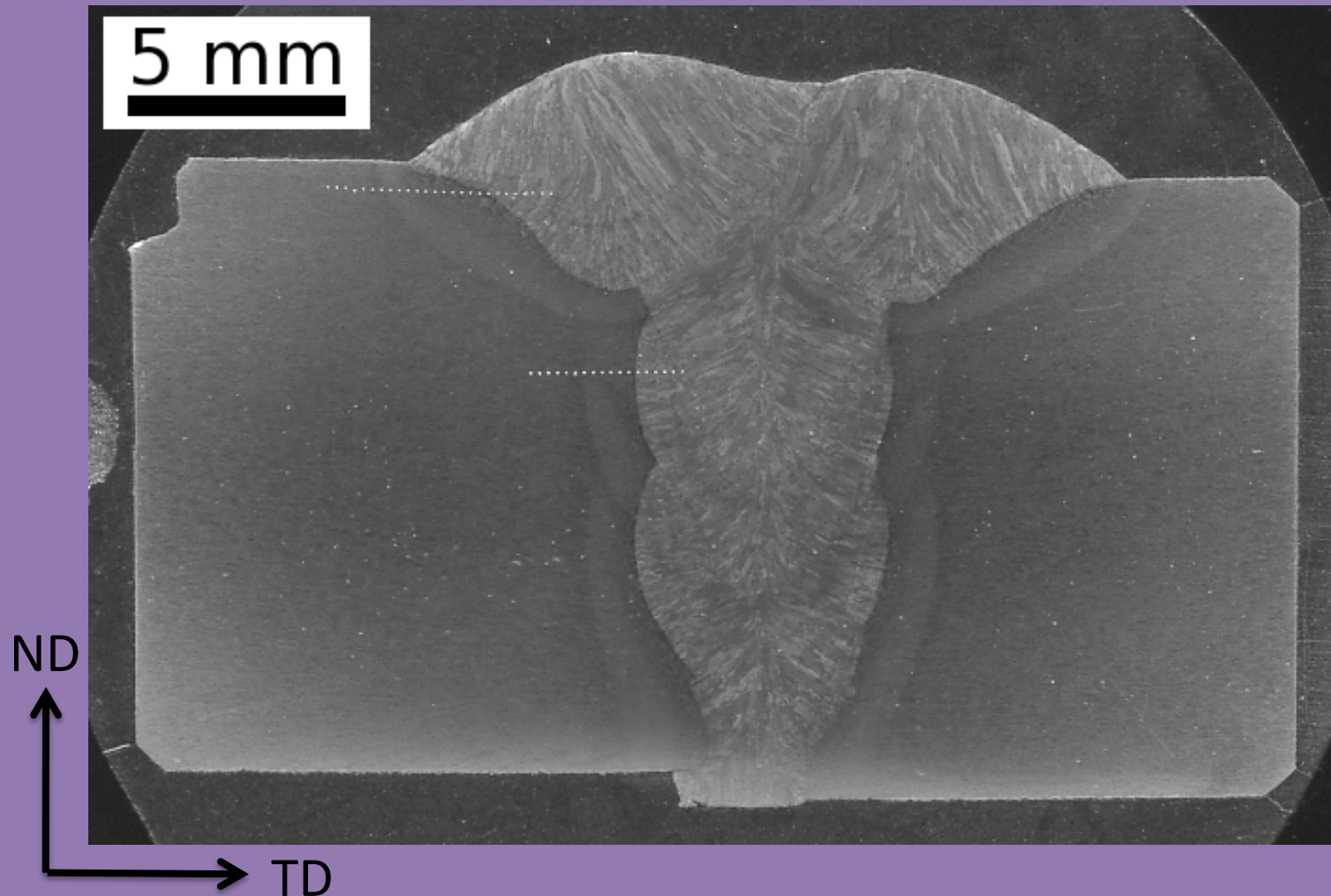
Растворенный ниобий замедляет ферритное превращение



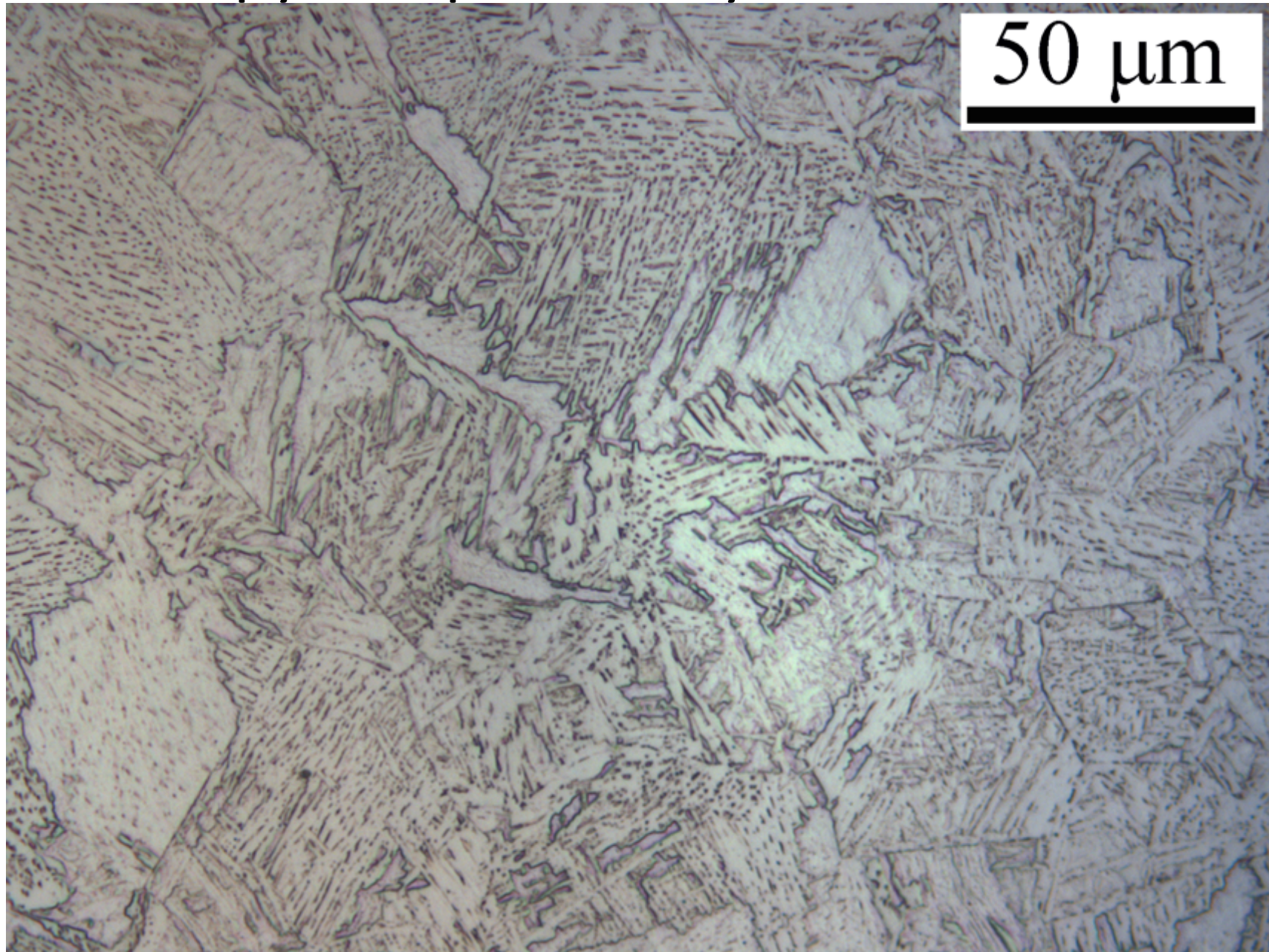
Соотношение между температурой начала превращения (A_{r3}) и размером исходного зерна аустенита



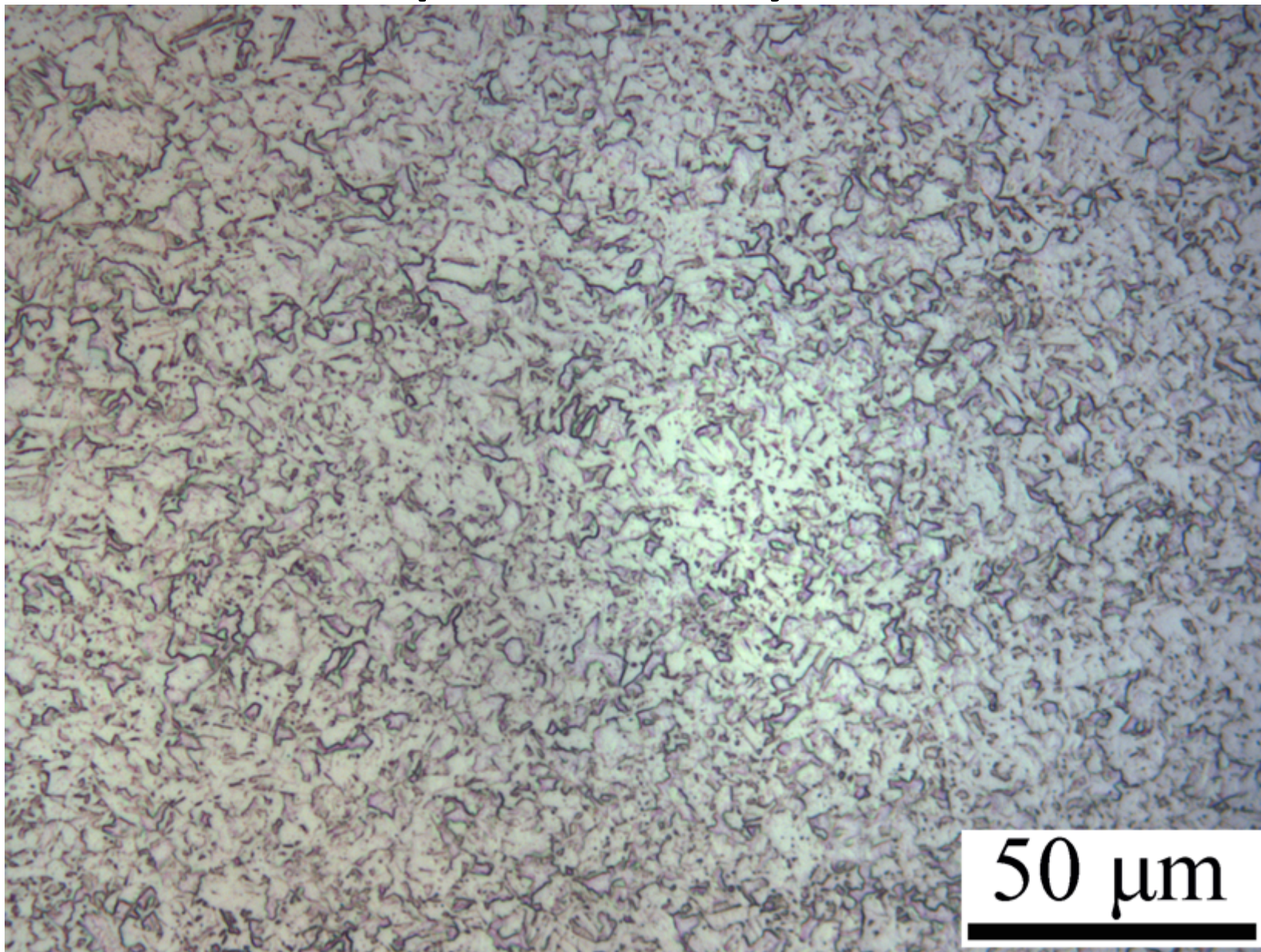
4. Шов на трубе X80



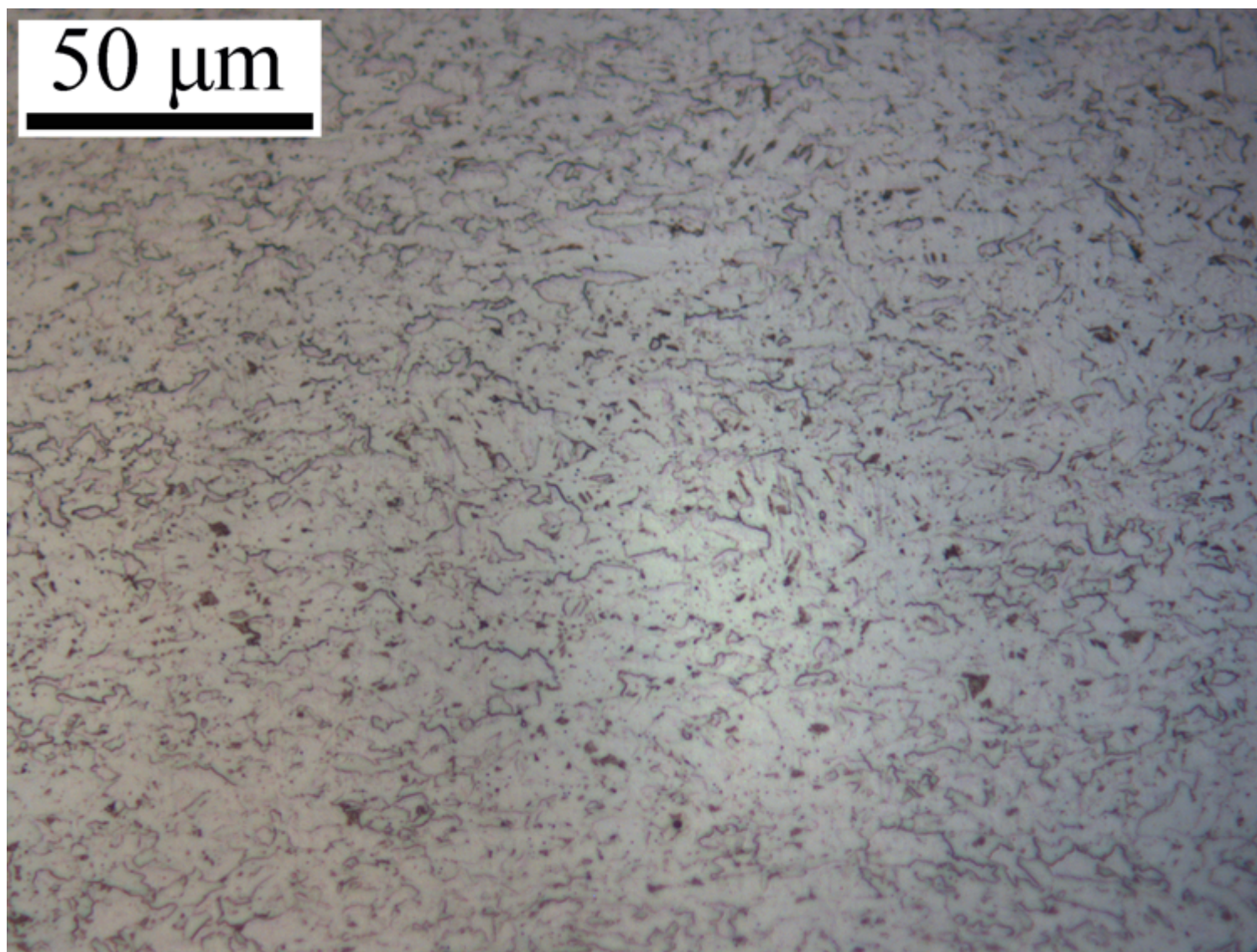
Грубозернистый участок ЗТВ



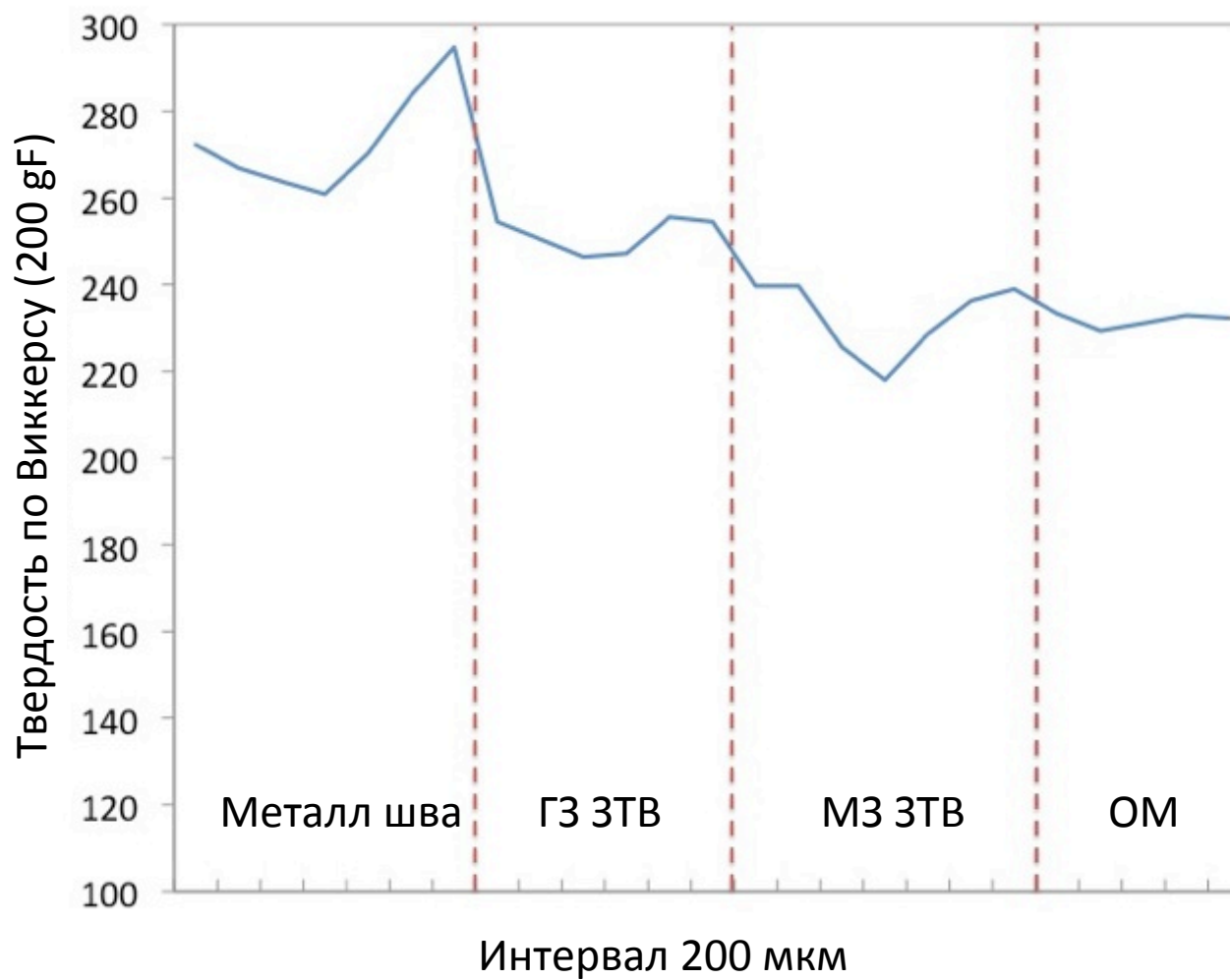
Мелкозернистый участок ЗТВ



Основной металл



Распределение твердости



Благодарность

- Мы выражаем благодарность компании СВММ за поддержку данной работы
- Работа выполнена совместно с д-ром Малкольмом Греем и д-ром Филом Кирквудом