

ЗНЧ- 2019

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ГПУ-МЕТАЛЛАХ ПРИ
МЕГАПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПОД ДАВЛЕНИЕМ В
ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 80-450 К

В.П. Пилюгин, Л.Ю. Егорова, А.М. Пацелов, Т.Р. Суаридзе,
Т.П. Толмачёв, П.Е. Панфилов, Ю.В. Хлебникова

Институт физики металлов УрО РАН
ИЕНиМ Уральский федеральный университет,
Екатеринбург
Россия

ГПУ металлы

Be, Zn, Cd, Mg, Sn, Ti, Zr, Hf, Fe, Pb, Re, Ru, Os

Под высоким давлением Fe (12.5 ГПа), Pb (16 ГПа)

Системы скольжения:

В базисной плоскости $\{0001\}$ $\langle 1120 \rangle$ -краевые дислокации.

В призматической плоскости $\{1010\}$ $\langle 1120 \rangle$ - винтовые дислокации.

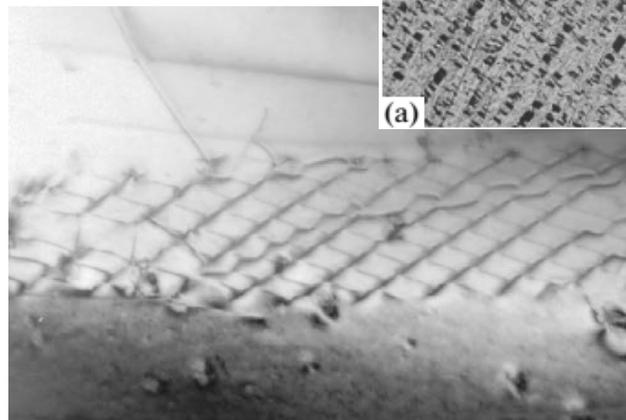
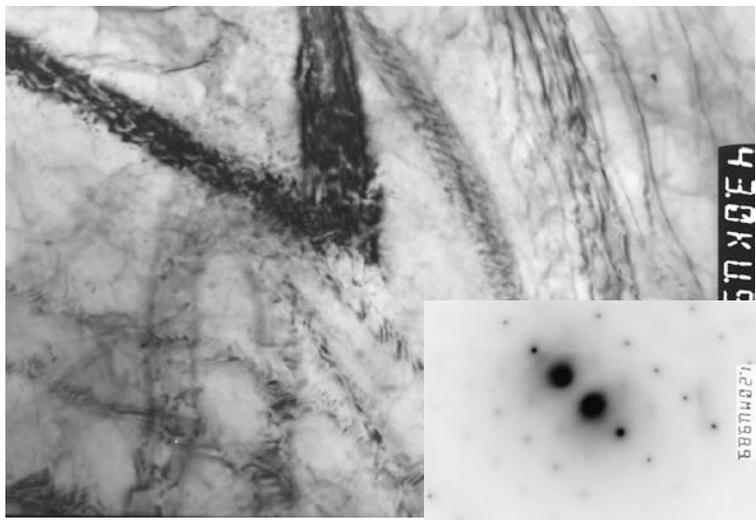
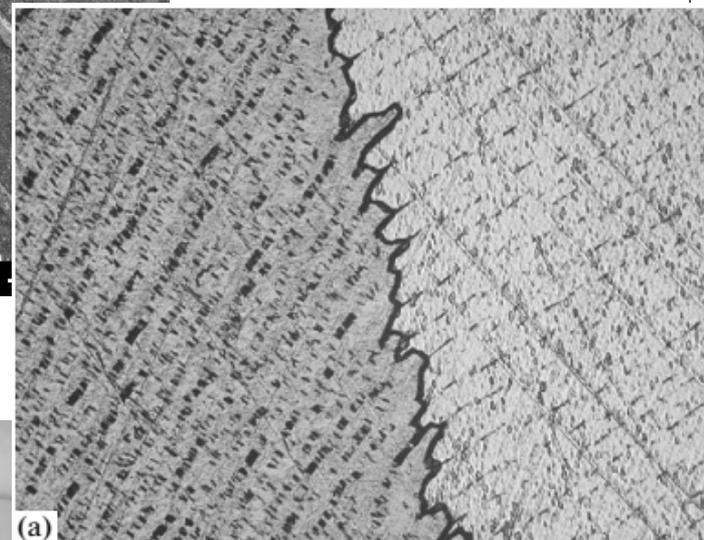
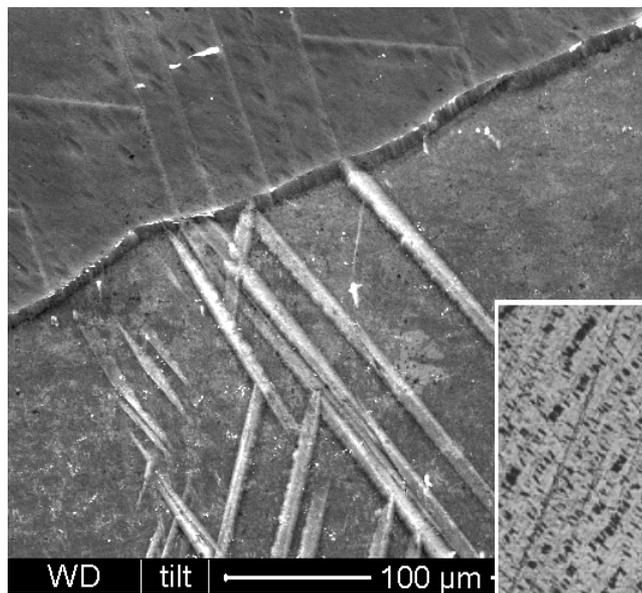
В пирамидальным плоскостям деформация около 1% от общей, как и деформационное двойникование

Ti

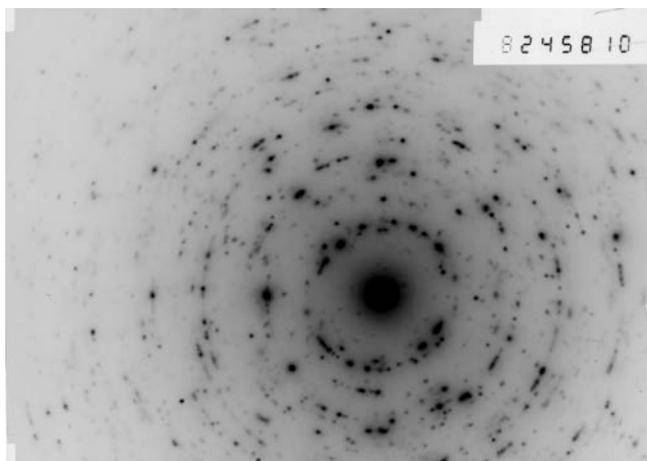
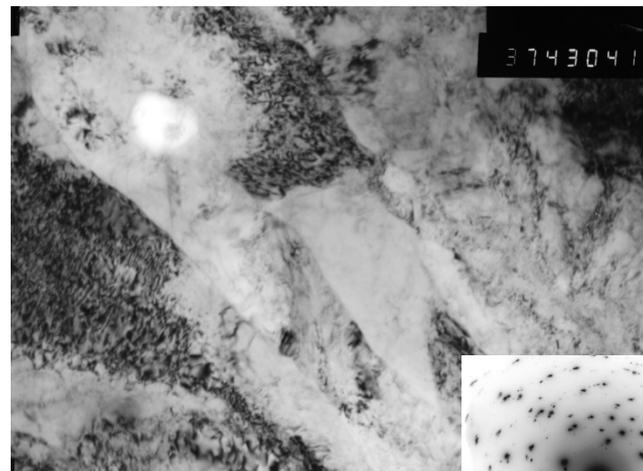
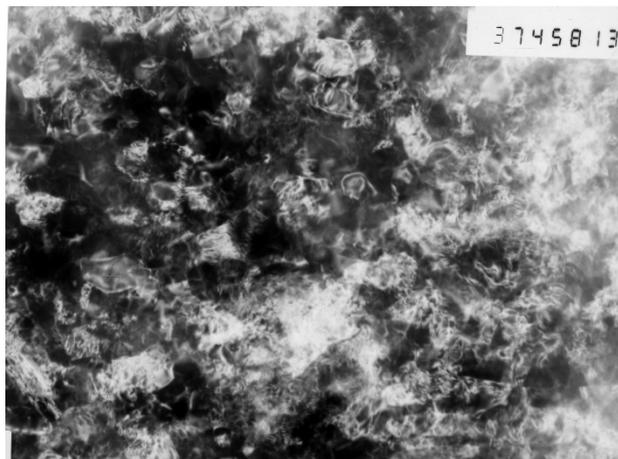
альфа фаза $c/a = 1.585$

омега фаза $c/a = 0,615$ (зависит от
давления)

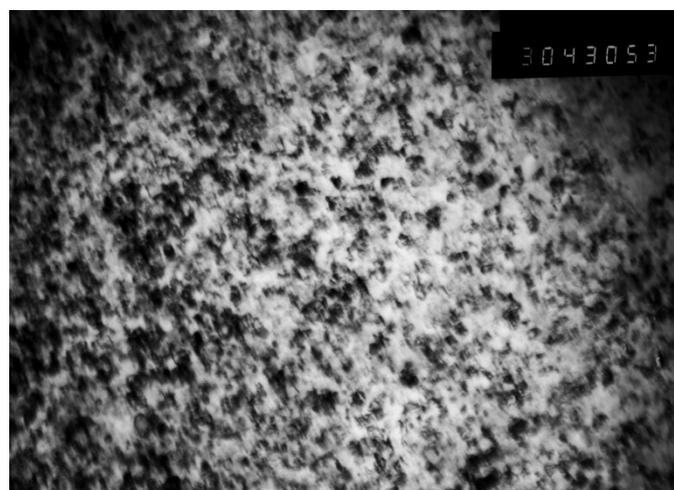
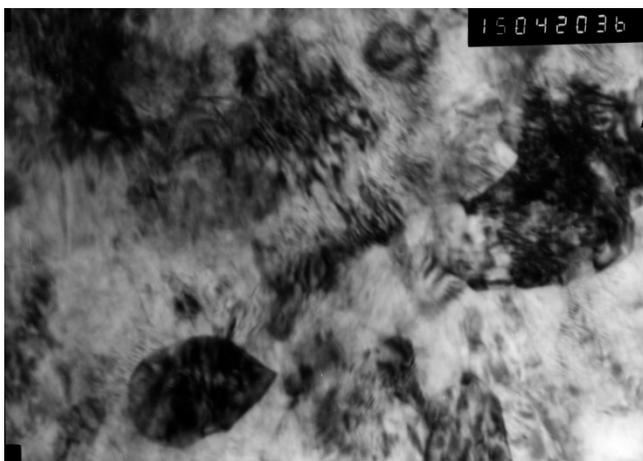
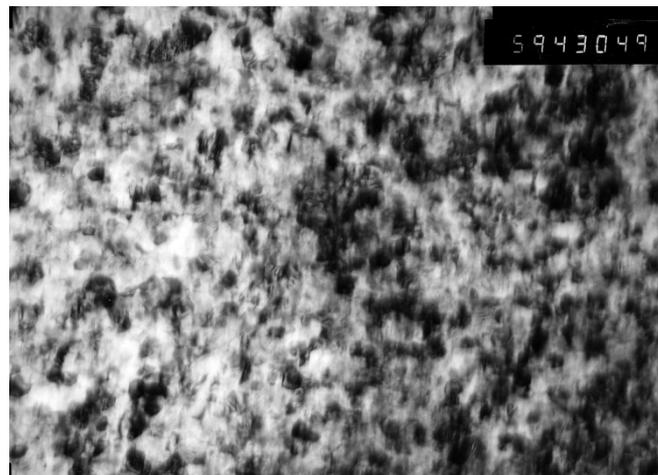
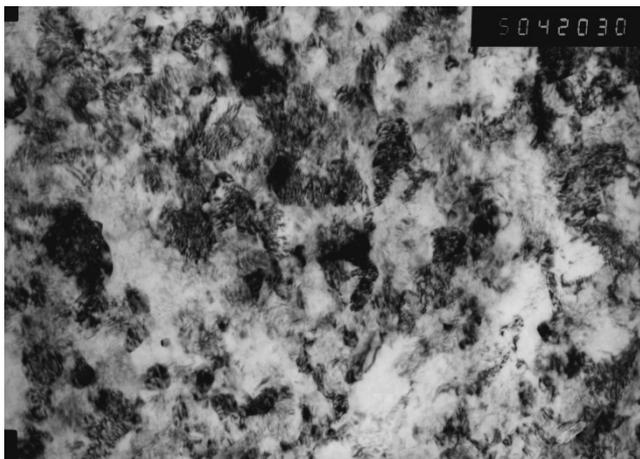
Титан. Структура псевдомонокристалла на различных уровнях



Титан. Начальная деформация $\epsilon = 0,5-0,7$; давление 8 ГПа.
Слева 293 К, справа 78 К

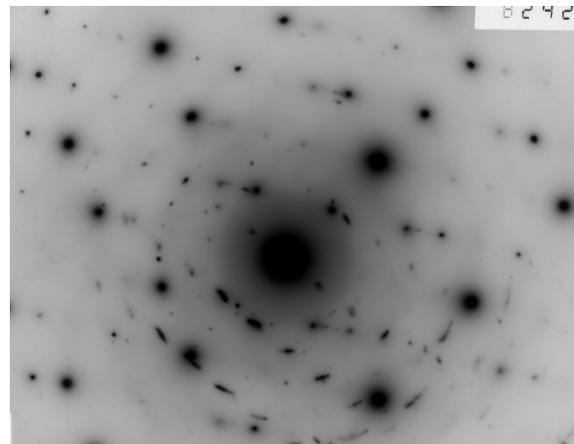
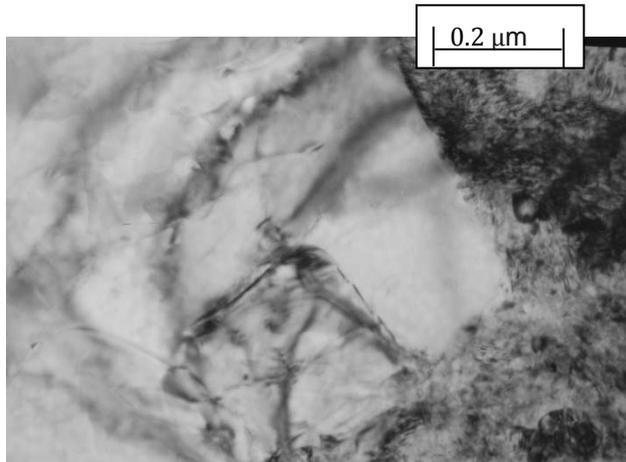


Титан. Большая деформация $\epsilon = 4.5-5$, давление 8 ГПа.
Слева 293 К, справа 78 К.

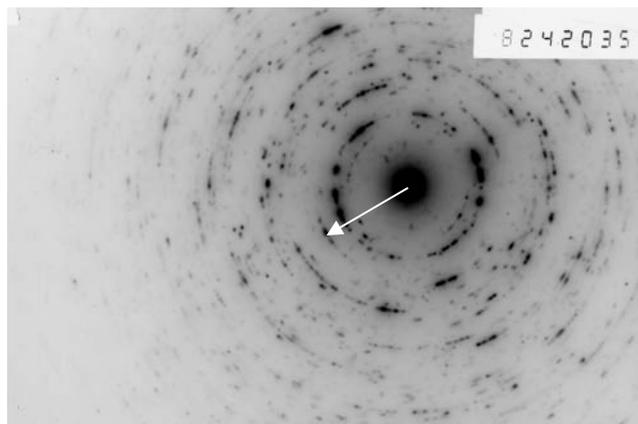
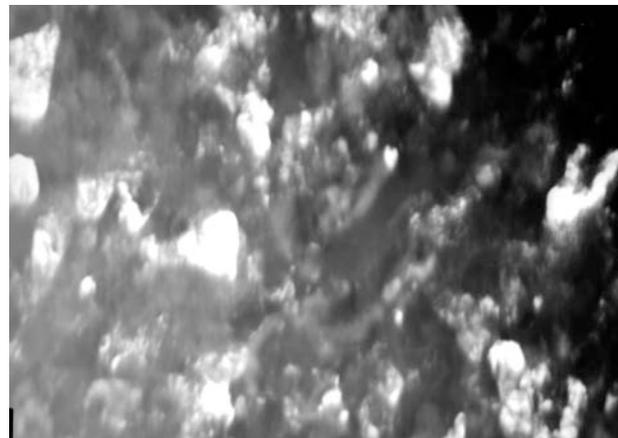
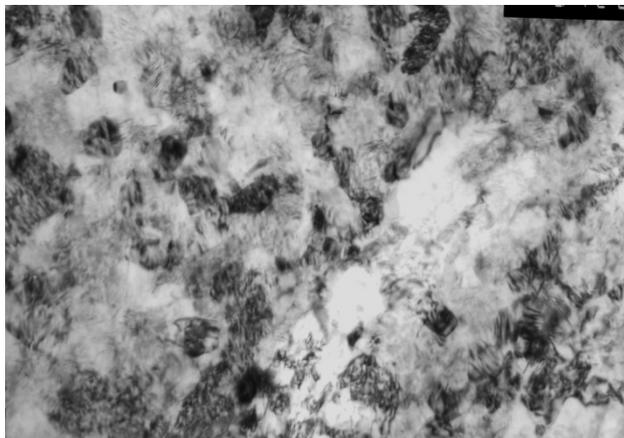


Участок структуры титана после ИПД с поворотом на 3 оборота ($e=7.3$) при 293 К, содержащий рекристаллизованное зерно α -фазы:

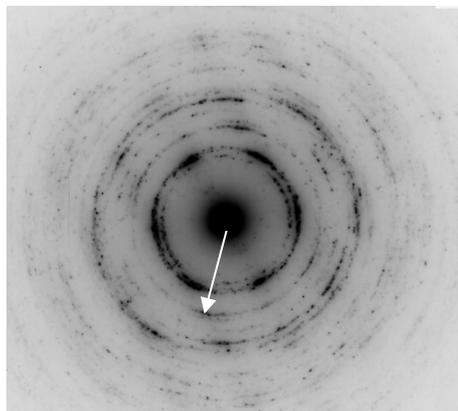
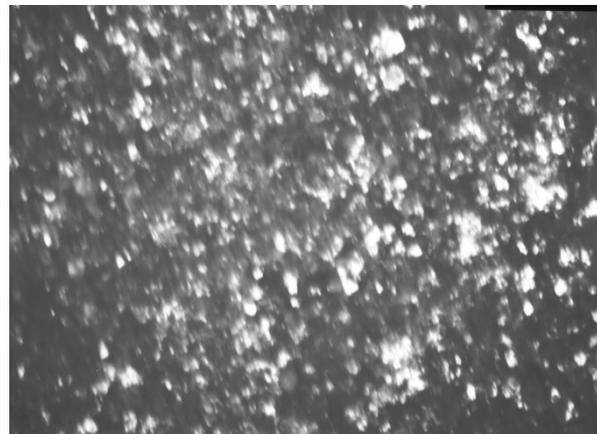
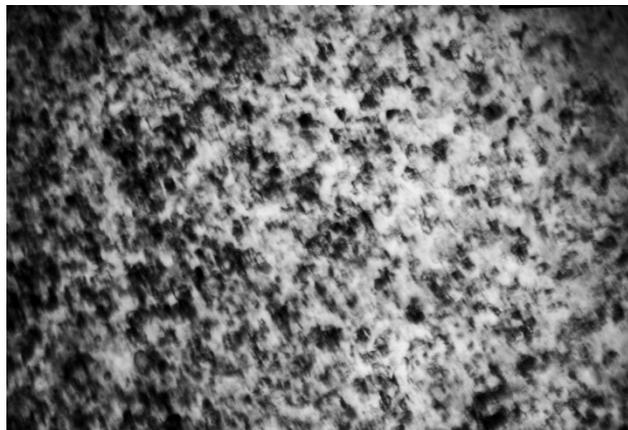
a – светлопольное изображение; *b* – темнопольное в рефлексе α -фазы $g=0001$; *c* – электронно-дифракционная картина, рефлекс $g=0001$, указан стрелкой.



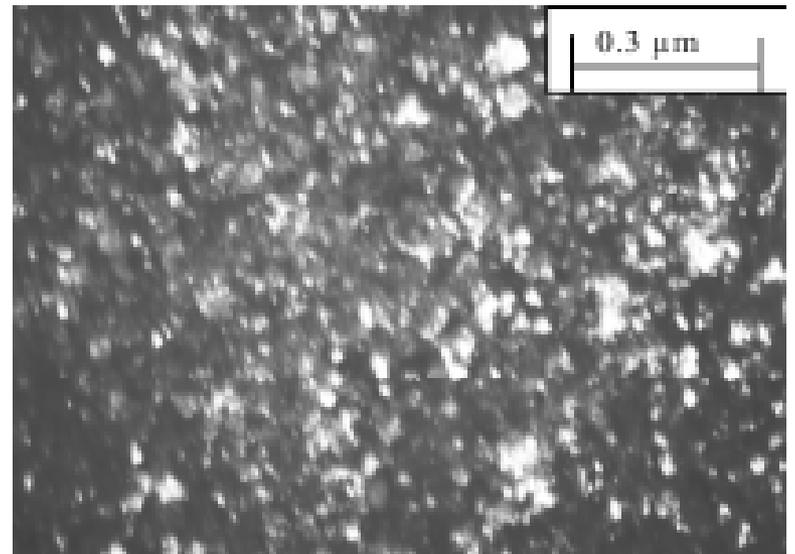
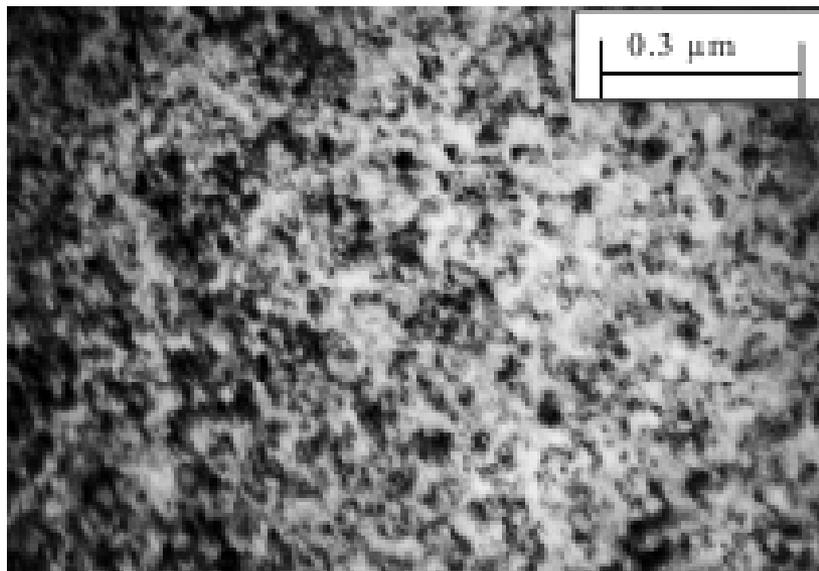
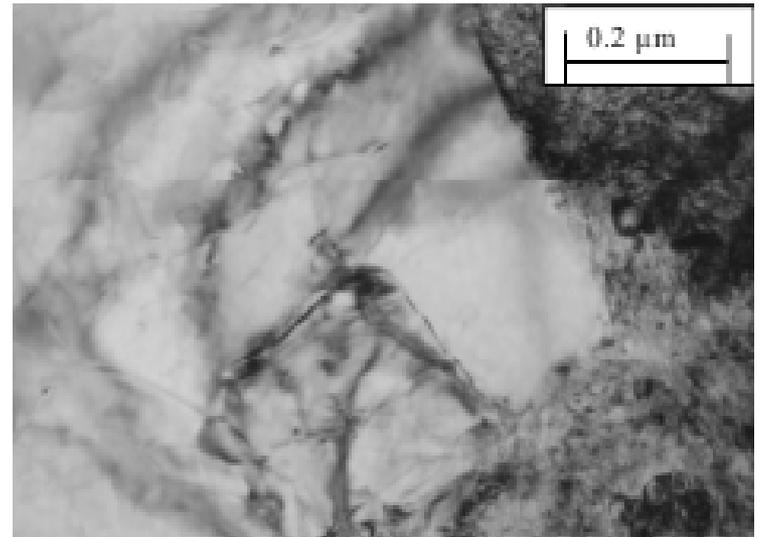
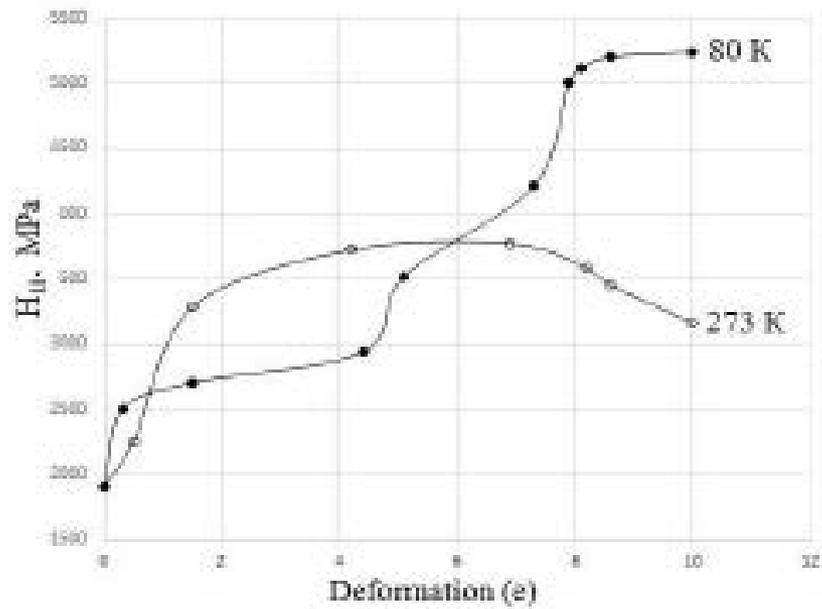
Структура титана после МПД в камере Бриджмена на 10 оборотов ($e=10$) при 293 К: *a* – светлпольное изображение; *b* – темнопольное изображение в рефлексе ω -фазы; *c* – электронно-дифракционная картина, рефлекс $g=111$ указан стрелкой.



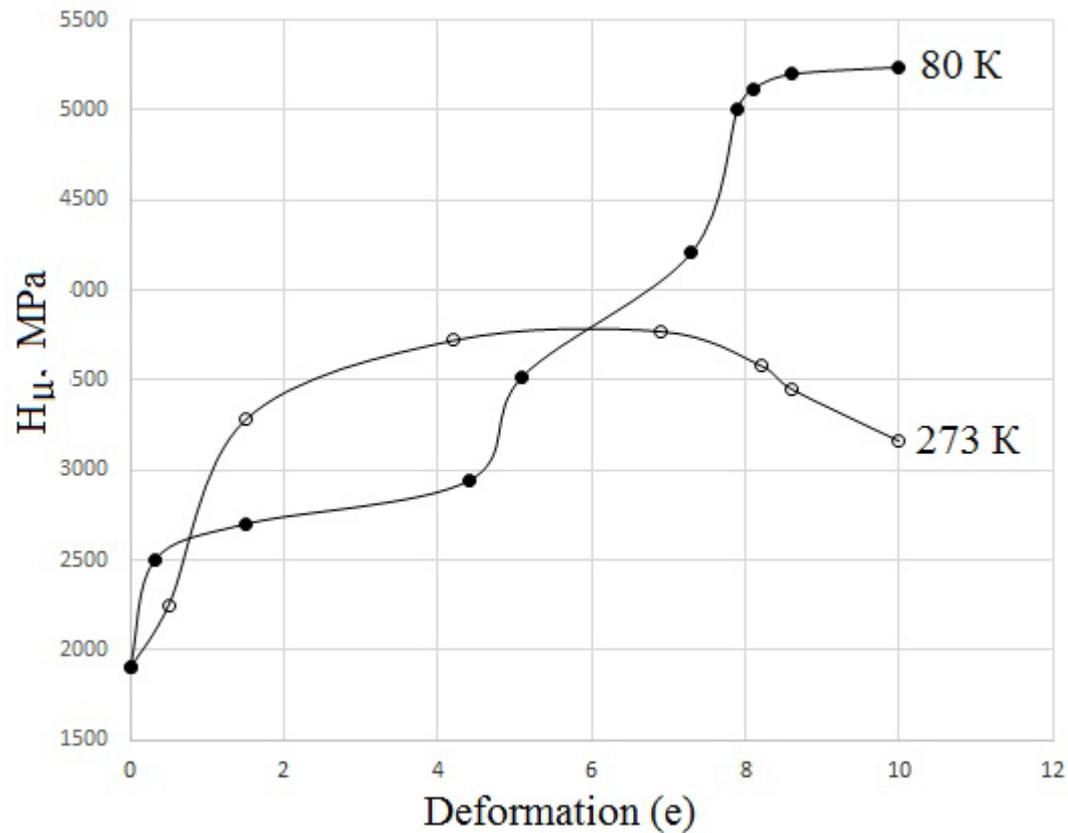
Структура титана после ИПД кручением на 10 оборотов ($e=10$) 80 K: *a* – светпольное изображение; *b* – темнопольное изображение в рефлексе ω -фазы; *c* – электронно-дифракционная картина (стрелкой указан рефлекс $g=111$, в котором получено темнопольное изображение).



Ti



Микротвёрдость титана после МПдеформации при 80 К и 293 К. ϵ – истинная деформация

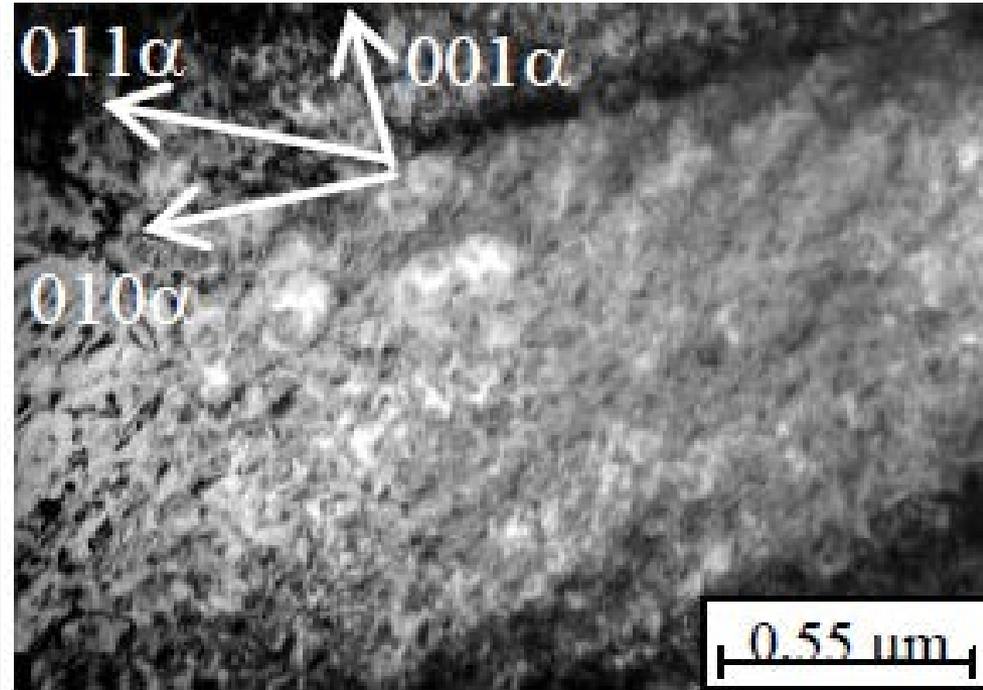
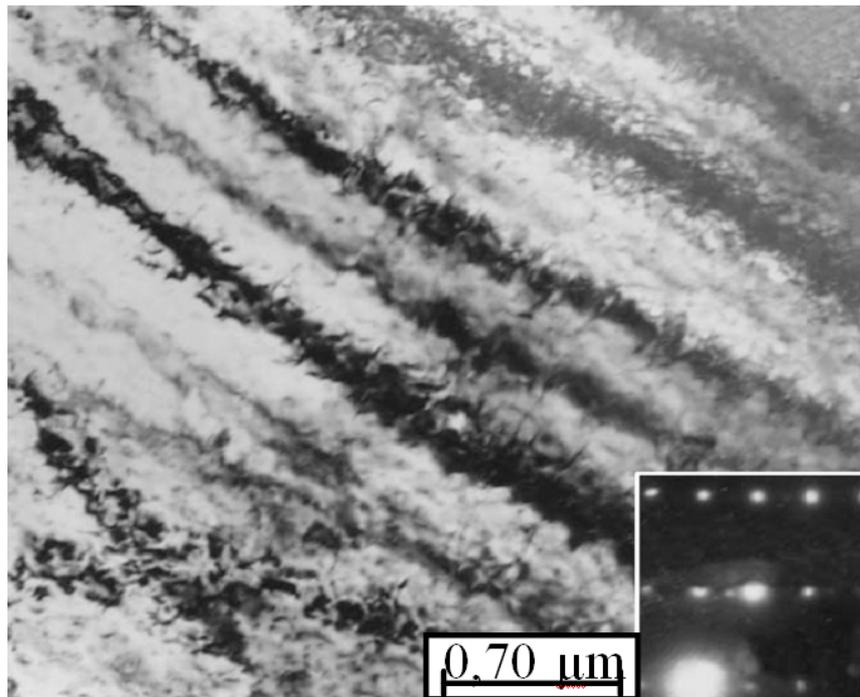


Zr

альфа фаза а/с = 1,593

омега фаза а/с = 0,613 (зависит от давления)

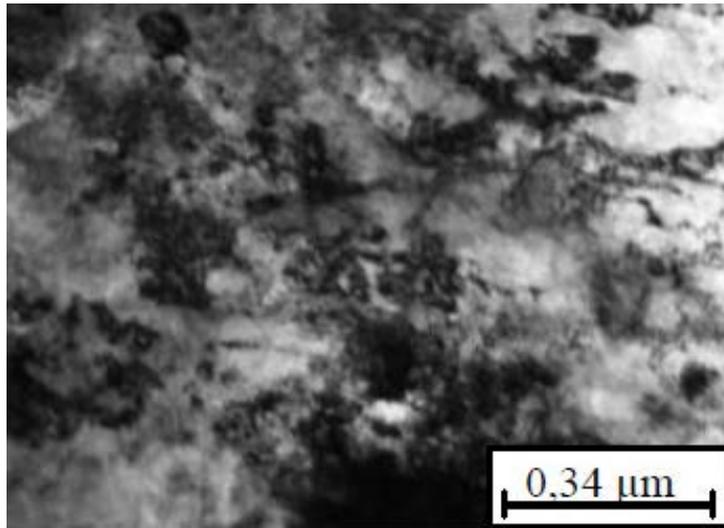
Структура α -реек исходного псевдомонокристалла Zr,
после выращивания методом Бриджмена и $\beta - \alpha$ перехода
На дифракционной вкладке решётка с осью зоны $[100]_{\alpha}$



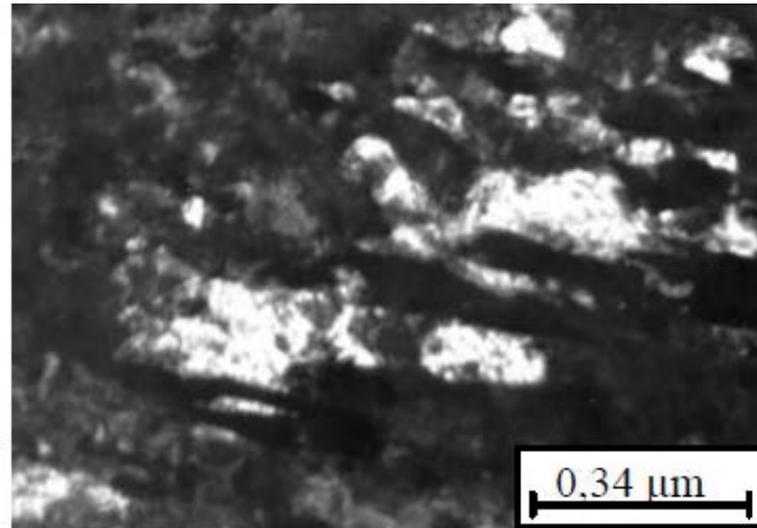
Размеры α -реек в исходном состоянии достигали — 15 – 60 мкм, внутри реек наблюдали субструктуру реечного типа с размерами 0,5 – 0,7 мкм.

Микроструктура α -реек после деформации осадкой, деформация 30% светлопольное изображение

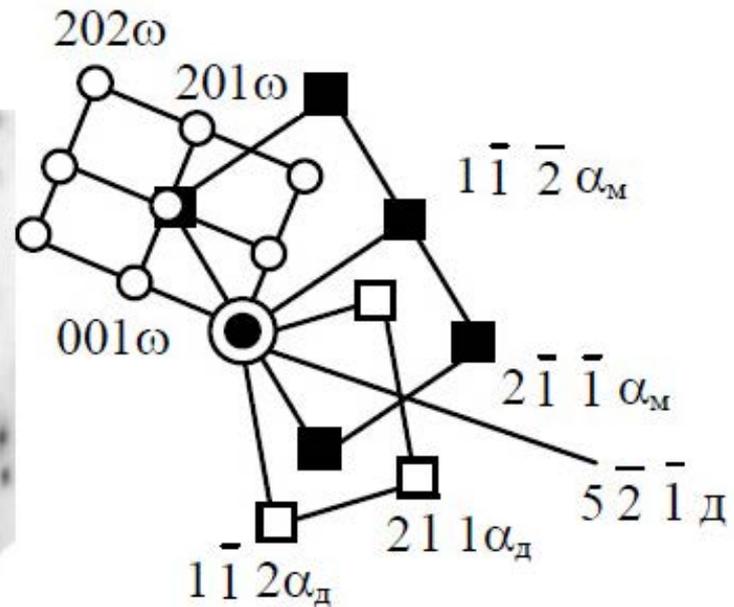
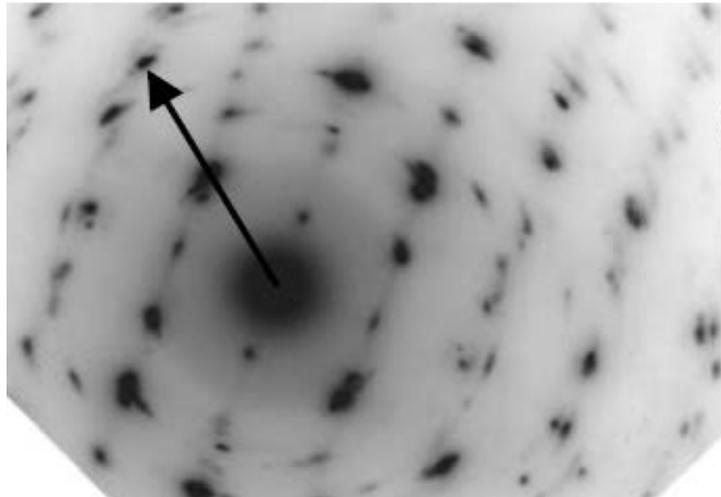
Zr, деформация осадкой 30%, $t = 20\text{ C}$



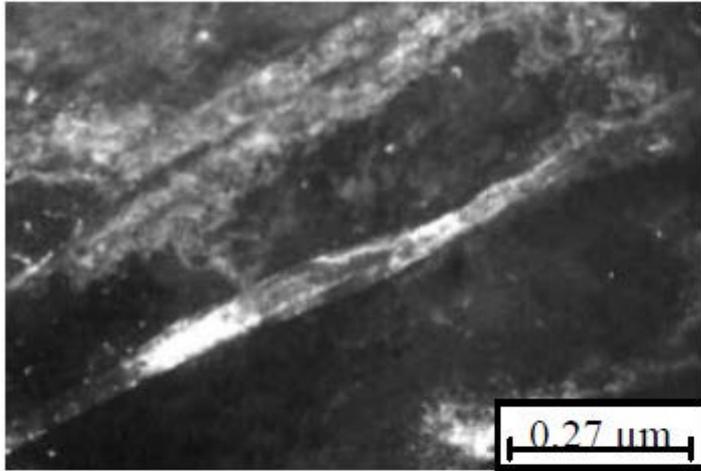
a



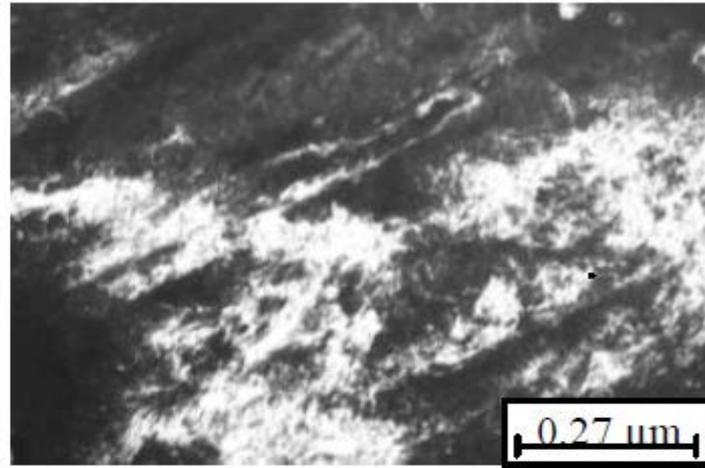
b



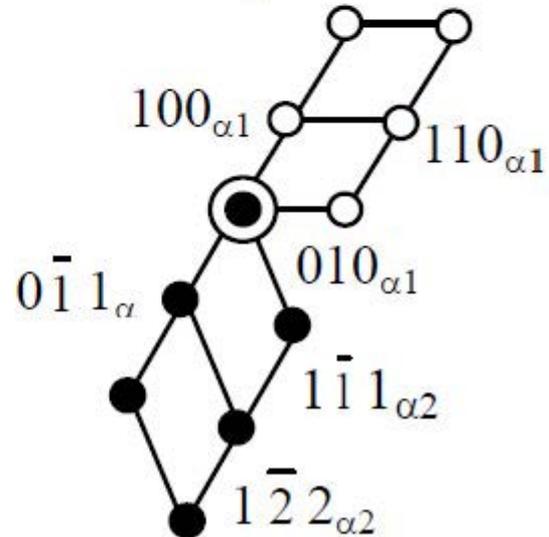
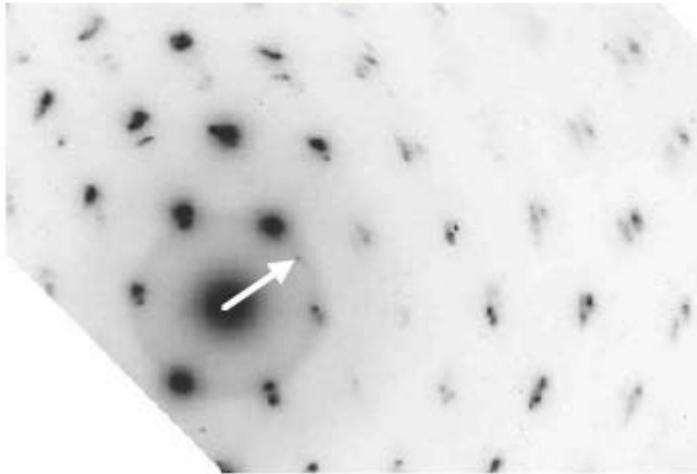
Zr, $n=3$ $e=8$



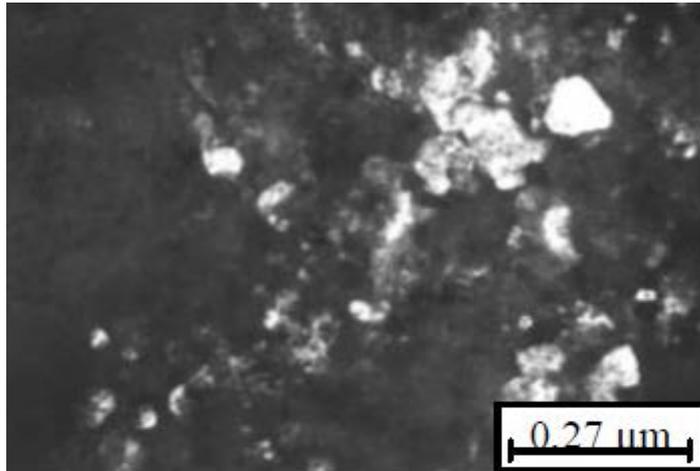
b



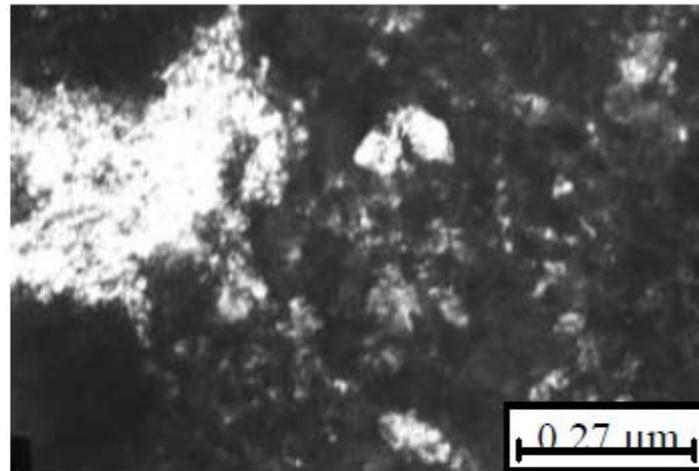
c



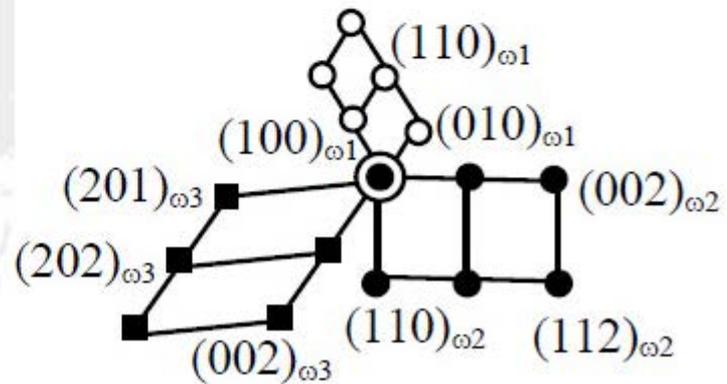
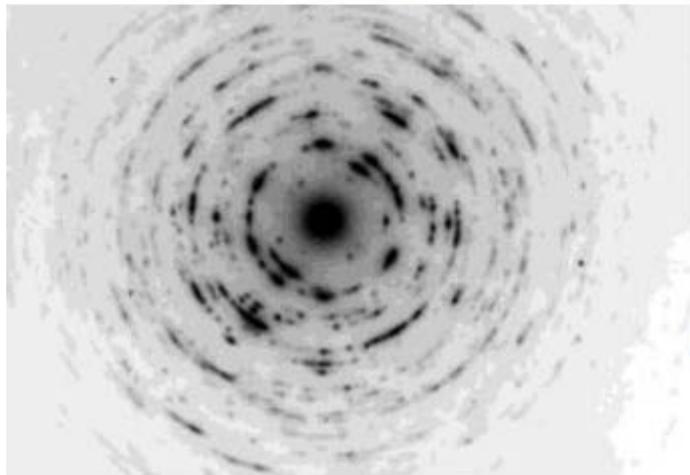
Zr, $n=3$ $e=8$



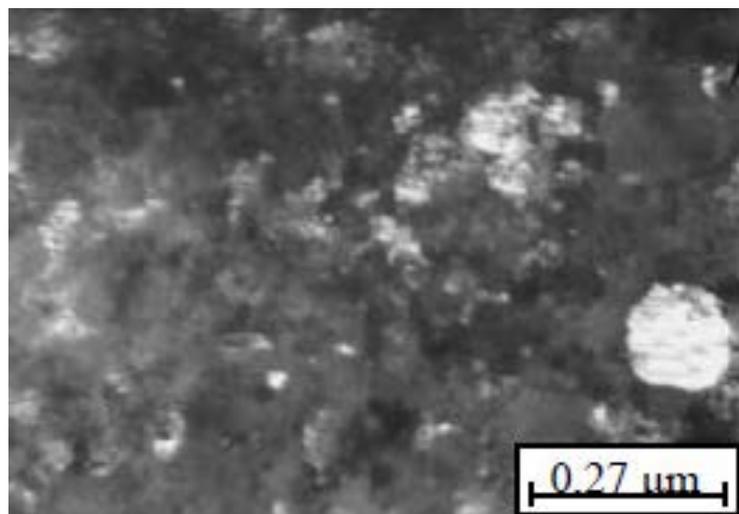
b



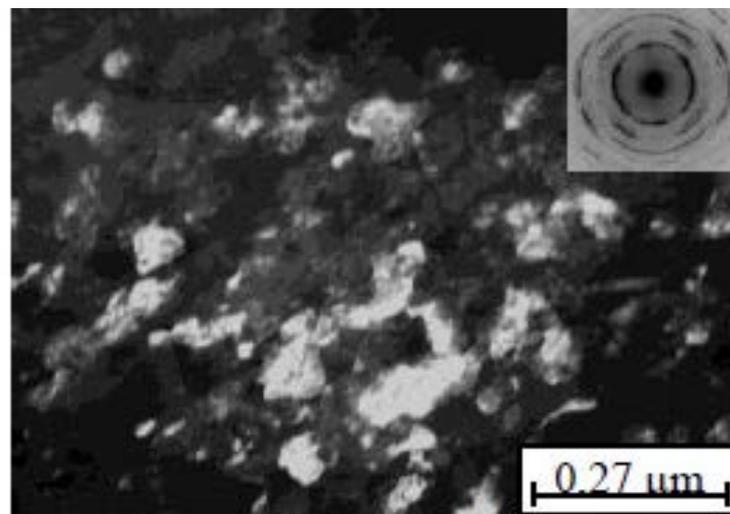
c



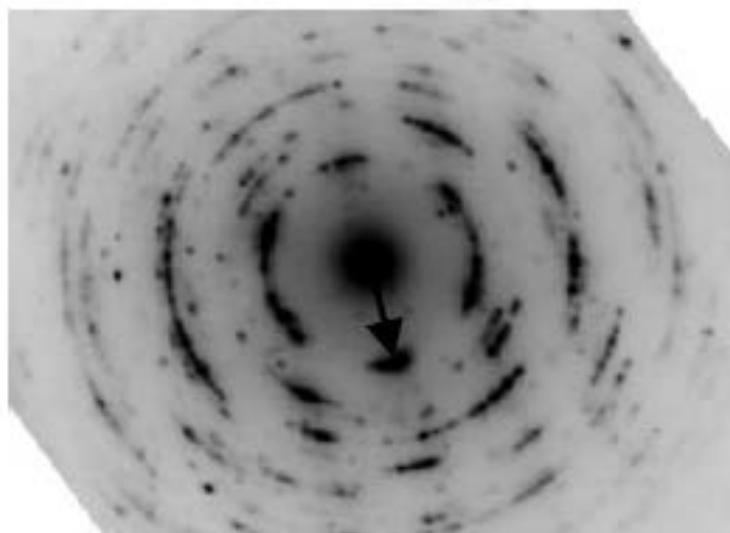
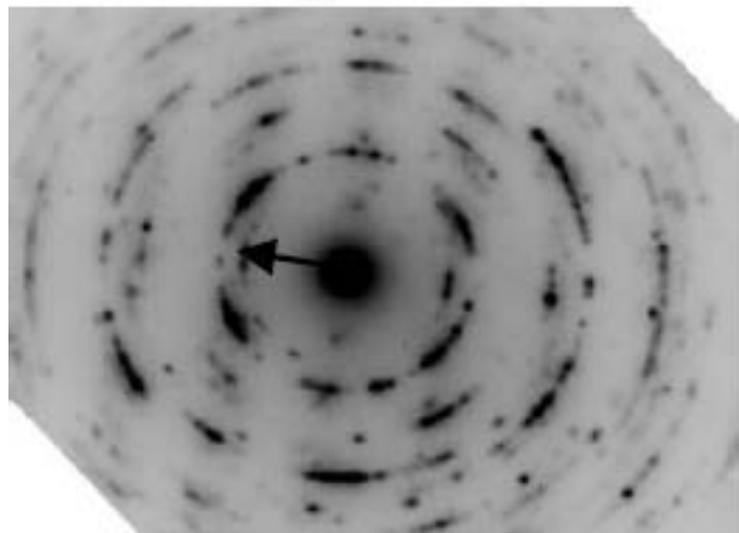
Zr, после обработки $\epsilon = 8$ ($N=5$), КВГД 8 ГПа



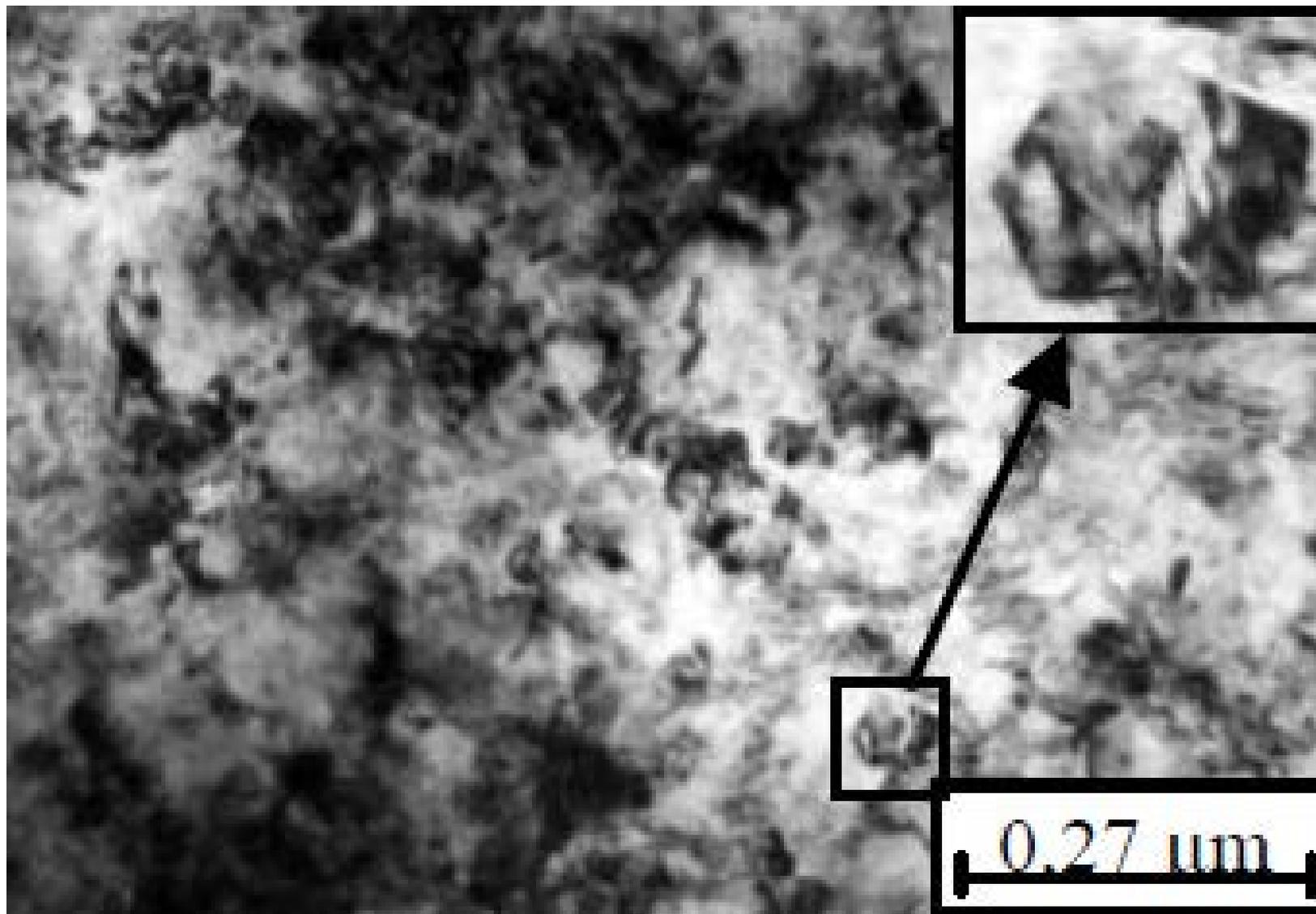
a



b



Zr, зерно в форме полиэдра, предельная деформация под давлением 8 ГПа, $N = 10$ ($\epsilon = 8,5$)



Теплофизические свойства металлов при МПД. Стационарные и динамические процессы.

Тепловая активность / тепловая инертность:

$$1/2$$

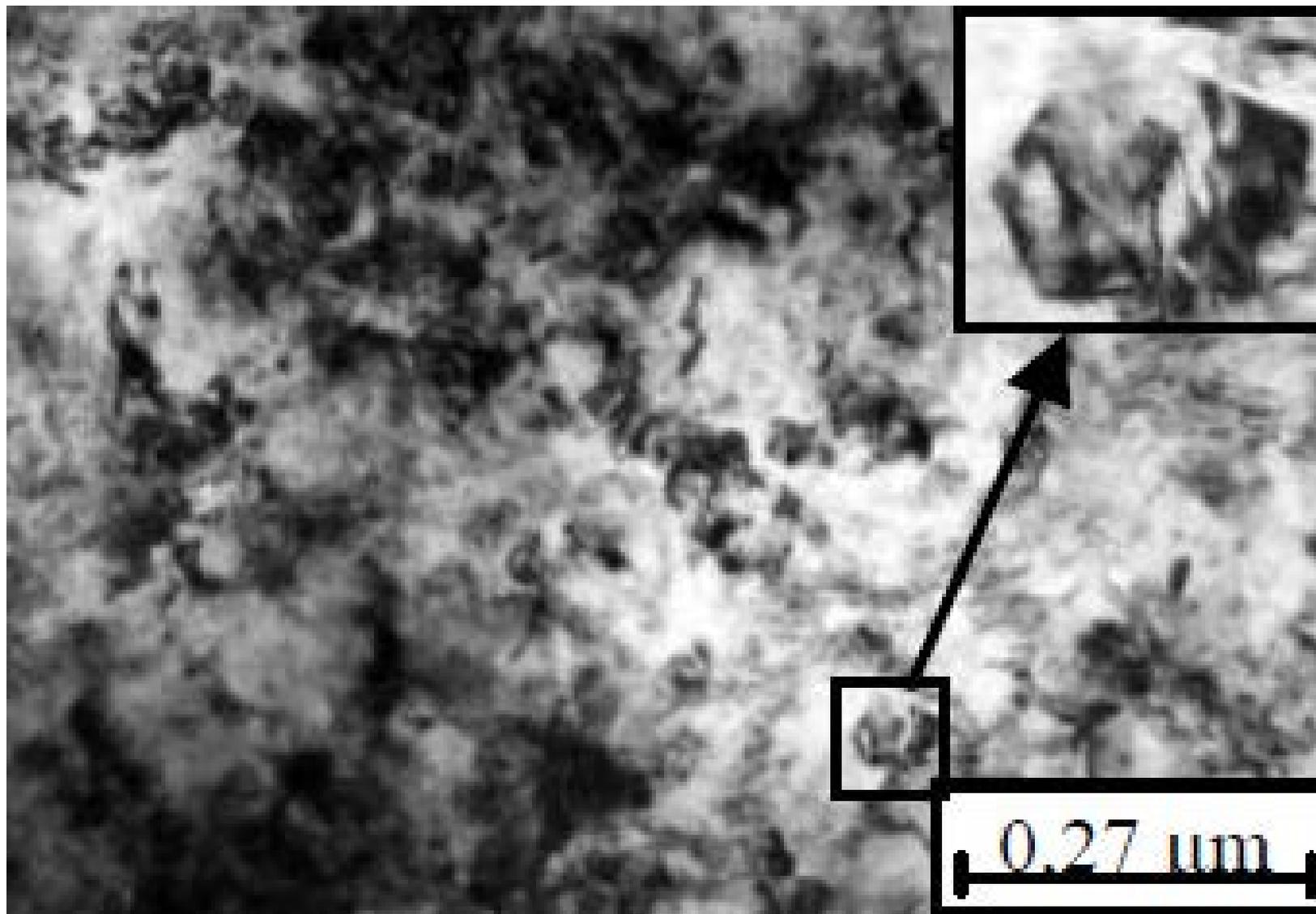
$$\chi = (\lambda \rho C)$$

А.В. Лыков (ИТеплофизики НАНБ, Минск)

$$T_{\text{пл. Fe}} < T_{\text{пл. Ti}} < T_{\text{пл. Zr}}$$

$$\chi_{\text{Fe}} > \chi_{\text{Zr}} > \chi_{\text{Ti}}$$

Zr, зерно в форме полиэдра, предельная деформация под давлением 8 ГПа,
N = 10 ($\epsilon = ?$)

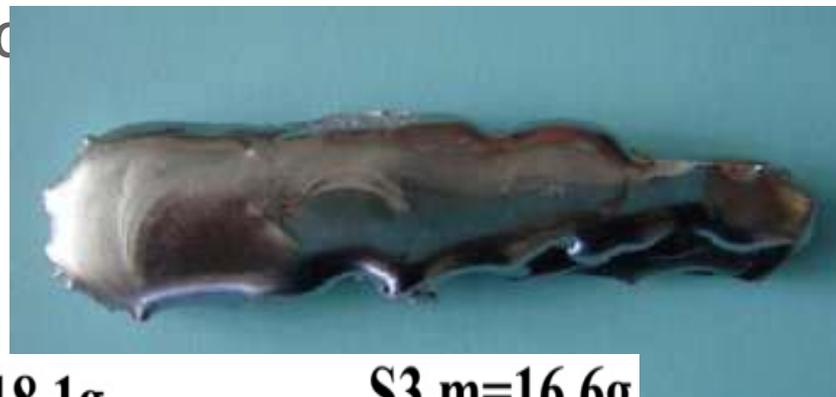


Re

$T_{\text{плав.}} = 3186^{\circ}\text{C}$

$c/a = 1,614$

Эл.-луч. плавка Re поликрист



S1 m=19.3g

S2 m=18.1g

S3 m=16.6g



TS

AS



TS

AS



TS

AS

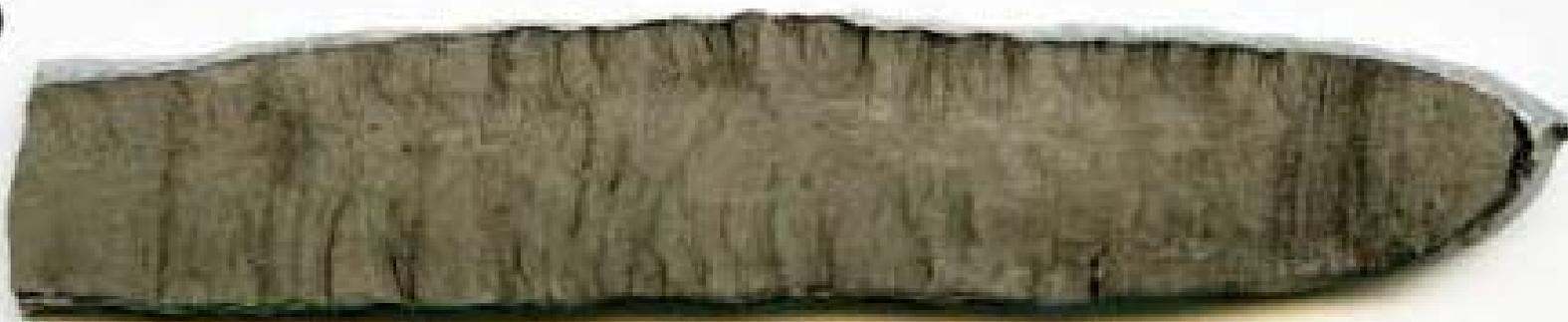


Образцы рения до и после прокатки

а



б



Образцы рения после прокатки на 7-50%,
микротвёрдость возросла незначительно, на 15-50%
с 7200 МПа до 7800 МПа

S1

$h_0=2.0; h_1=1.5$

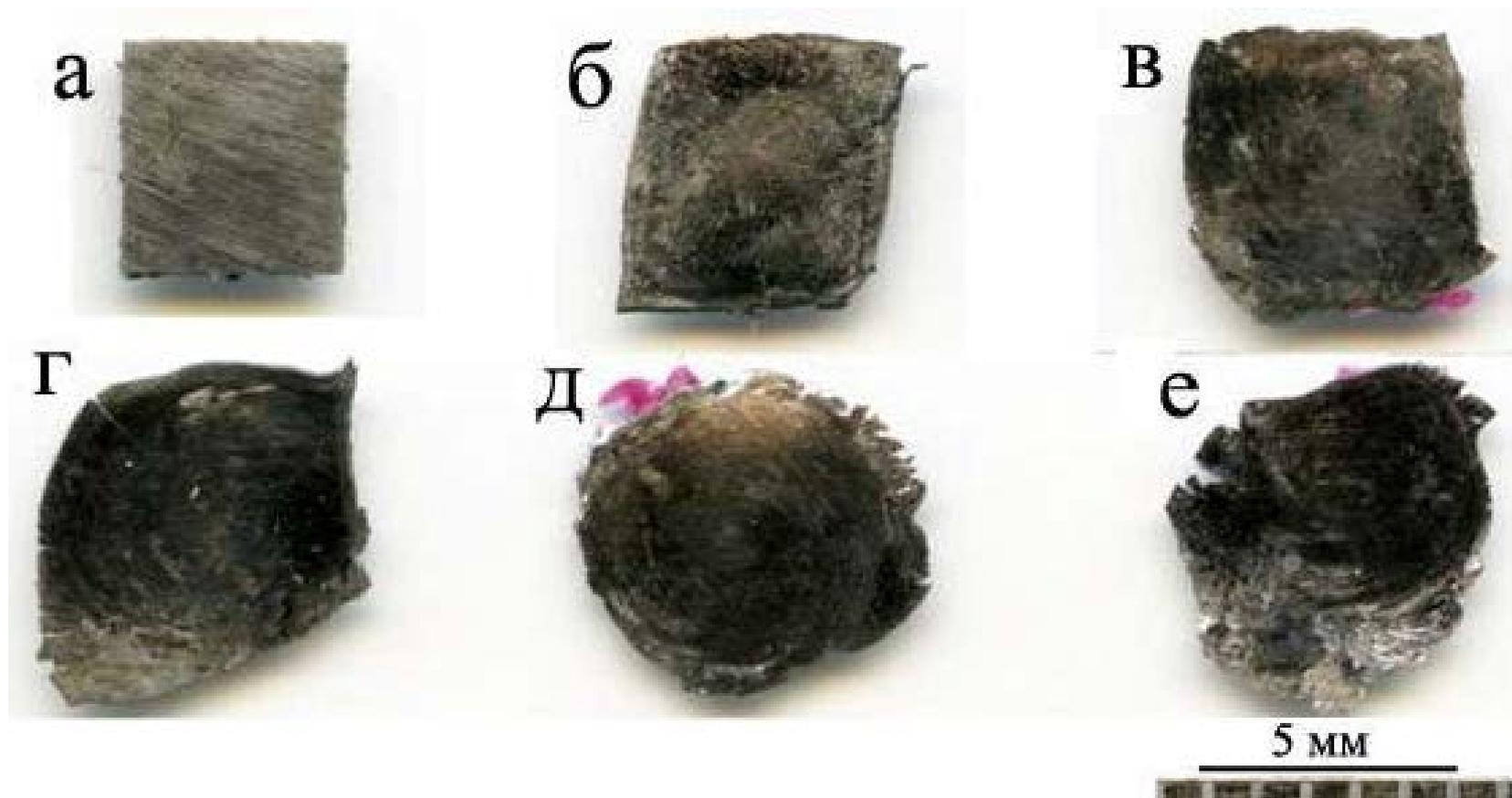


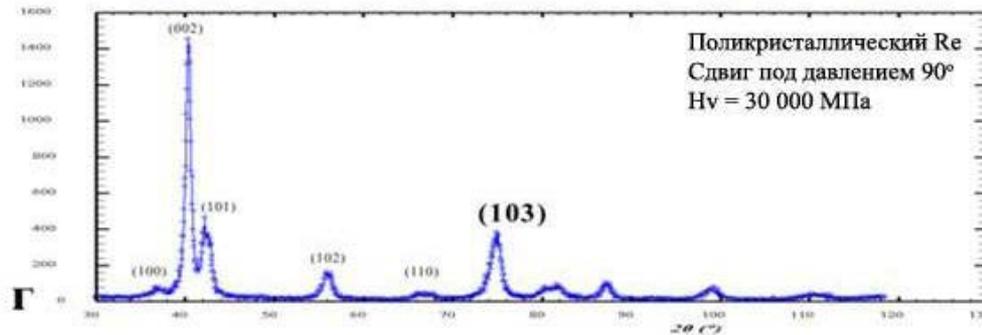
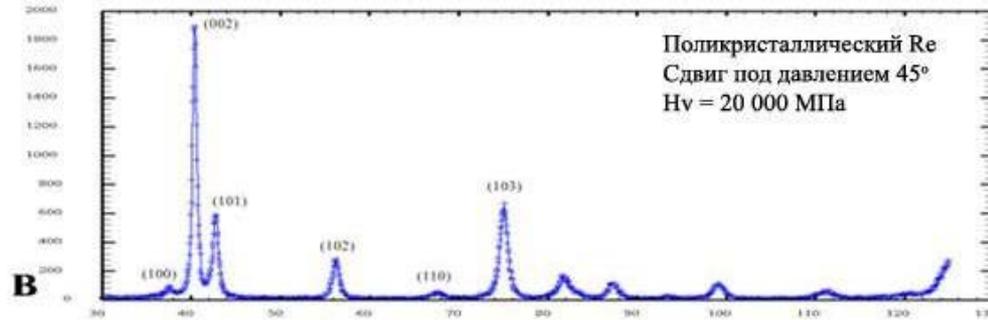
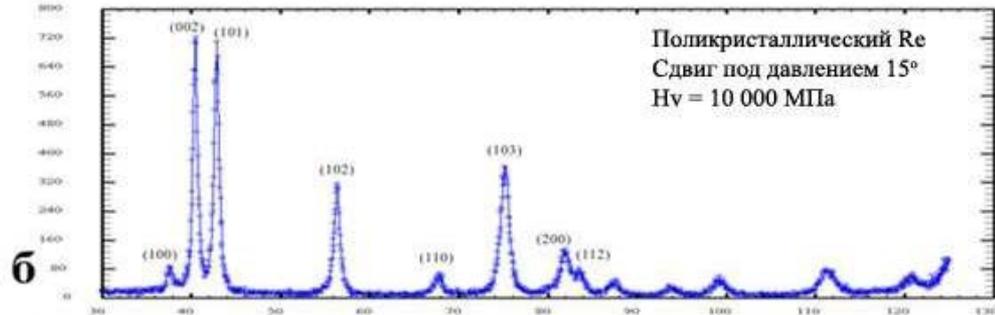
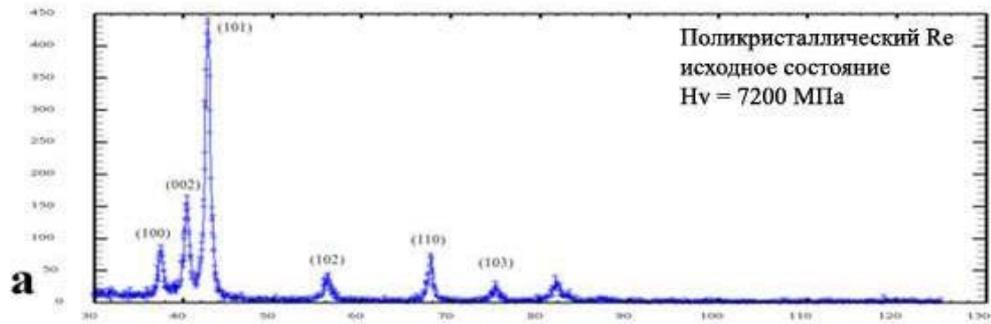
S2

$h_0=2.0; h_1=1.7$



Образцы Re после сдвига под давлением 14 ГПа: а- исходное состояние, б- $\varphi=15^\circ$, в - 45° , г - 90° , д- 180° , е - 360°





Относительные интенсивности линий на дифрактограммах деформированного поликристаллического рения

Линия	(100)	(002)	(101)	(102)	(110)	(103)
	<i>Исходное состояние</i>					
Интенсивность	20%	30%	100%	10%	15%	10%
	<i>Сдвиг на 15°</i>					
Интенсивность	10%	100%	100%	40%	10%	50%
	<i>Сдвиг на 45°</i>					
Интенсивность	<10%	100%	30%	10%	<10%	35%
	<i>Сдвиг на 90°</i>					
Интенсивность	<10%	100%	30%	<10%	<10%	25%

Деформационное упрочнение R_e при деформации под высоким давлением при комнатной температуре.

Прокатка – относительно малое упрочнение.

ВД+СД

Исходное состояние 7200 МПа

15° 10000 МПа

45° 20000 МПа

90° 30000 МПа

180° 32000 МПа

360° 32500 МПа

Далее нет отпечатка.

Твёрдость алмаза 4 категории 90000-110000 МПа.

По данным царапанья 1 категории – свыше 220 ГПа

Некоторые результаты

1. Фрагментация титана и циркония при комнатной температуре под высоким давлением происходит по нескольким каналам релаксации напряжений, в том числе через фазовое превращение. При этом при комнатной температуре (низкой гомологической 0,12) МПД инициирует динамическую рекристаллизацию.

Криодеформация блокирует этот процесс. Максимальный рост уровня упрочнения при криодеформации возрастает в 2.9 раза.

2. Рений при деформации под высоким давлением упрочняется до уровня твёрдости материалов с ковалентным типом связи. Рост в 4.5 раза. Наложённое давление блокирует образование микротрещин. Роль отдельных механизмов деформации в рении необходимо уточнить.