

ЗАВИСИМОСТЬ СТОЙКОСТИ К КРН ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ОТ ПОСЛОЙНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ИХ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ

*проф. Ю.А. Перлович, проф. М.Г. Исаенкова, О.А. Крымская,
Н.С.Морозов
НИЯУ МИФИ*

И.В. Ряховских, Т.С. Есиев

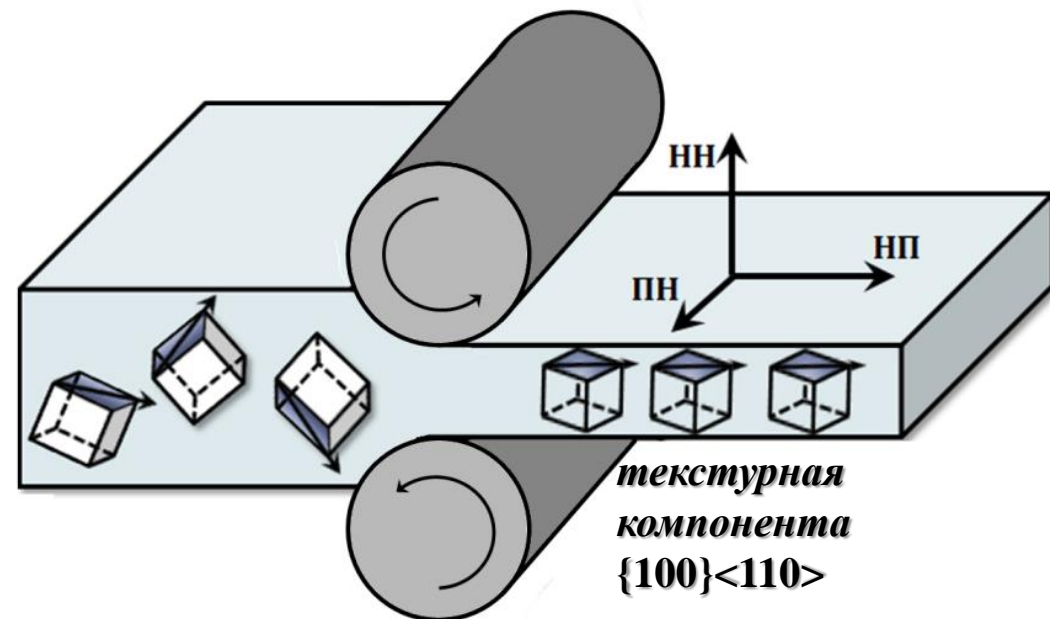
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»



Формирование текстуры при горячей прокатке ОЦК-металлов

На формирование текстуры в процессе технологической обработки материала оказывают влияние следующие факторы:

- активизируемые системы скольжения и двойникования
- величина обжатий при прокатке
- температура нагрева заготовки
- состав сплава
- последующая термообработка



Горячая прокатка стальных листов включает следующие механизмы развития текстуры:

- деформация аустенита (γ) и феррита (α)
- динамическая рекристаллизация аустенита и феррита
- фазовые превращения $\gamma \leftrightarrow \alpha$



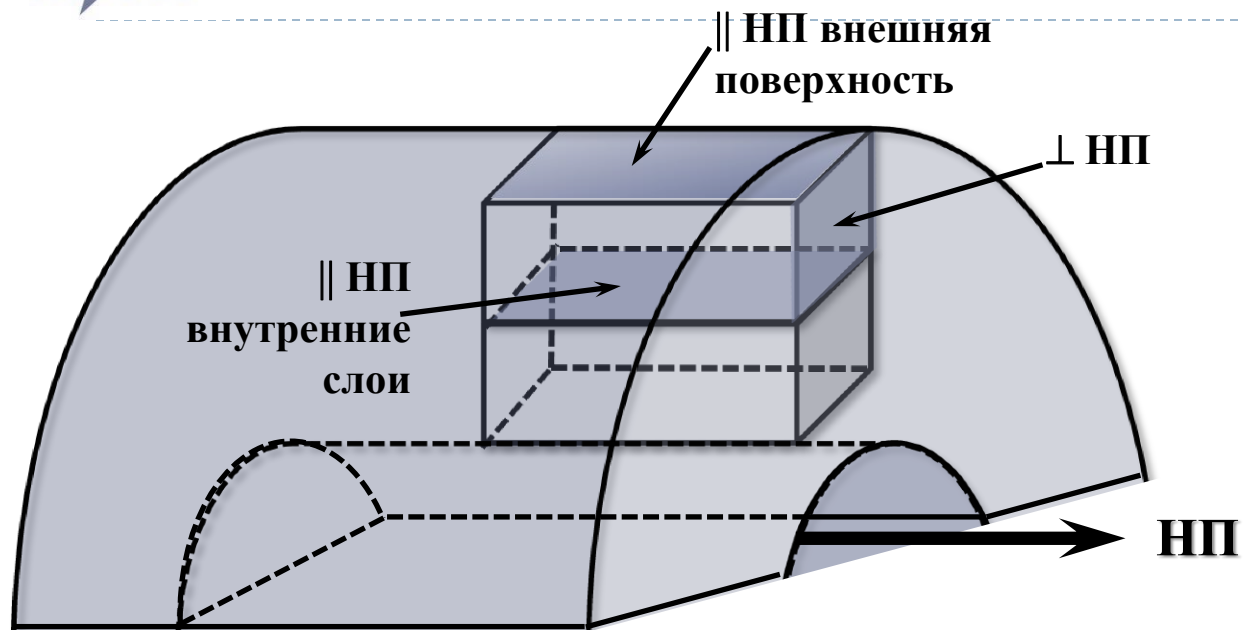
Цель работы:

выявление текстурных и структурных характеристик материала, а также их послойной неоднородности, влияющих на склонность к коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН) труб магистральных газопроводов (МГ)

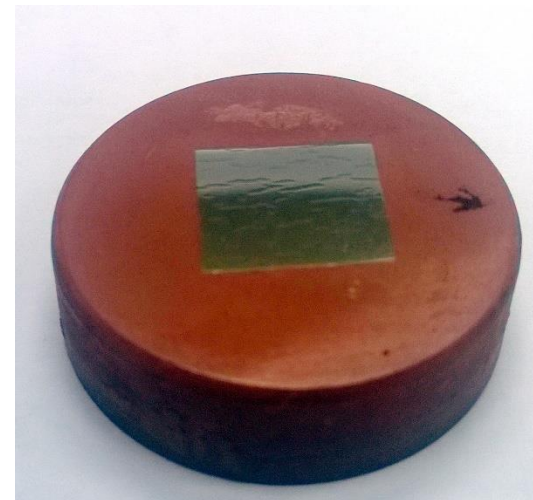




Приготовление образцов труб МГ для исследований



внешний вид образцов

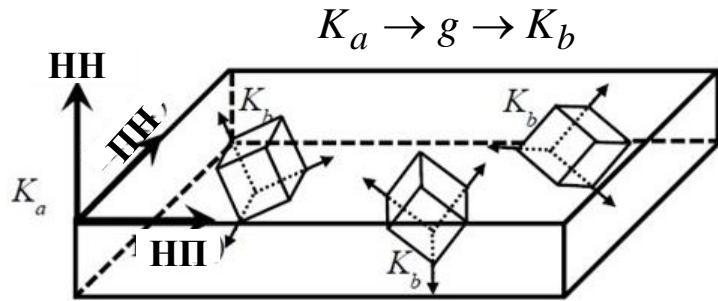


Рентгеновские методы исследования

- фазовый анализ
- оценка структурной неоднородности по толщине стенки трубы по угловой полуширине рентгеновских линий ($B_{1/2}$) и параметру кристаллической решётки феррита (a)
- текстурный анализ внешних и внутренних слоев трубы по ППФ и/или типичным сечениям ФРО



Методы текстурного анализа



$$K_a \rightarrow g \rightarrow K_b$$

углы Эйлера

$$g = \{\varphi_1, \Phi, \varphi_2\}$$

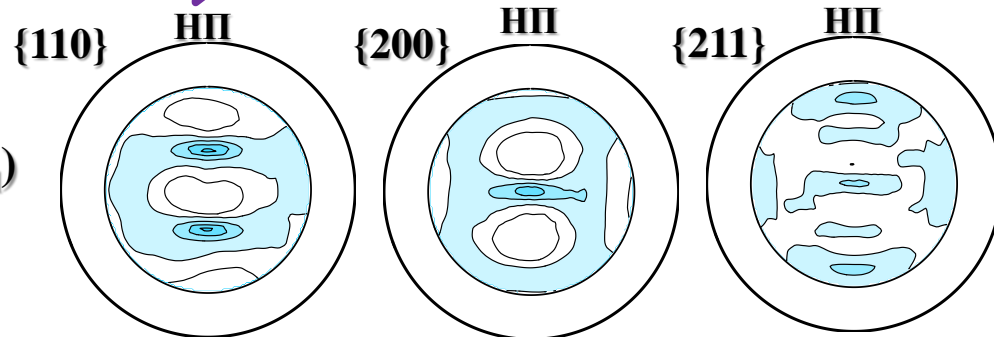
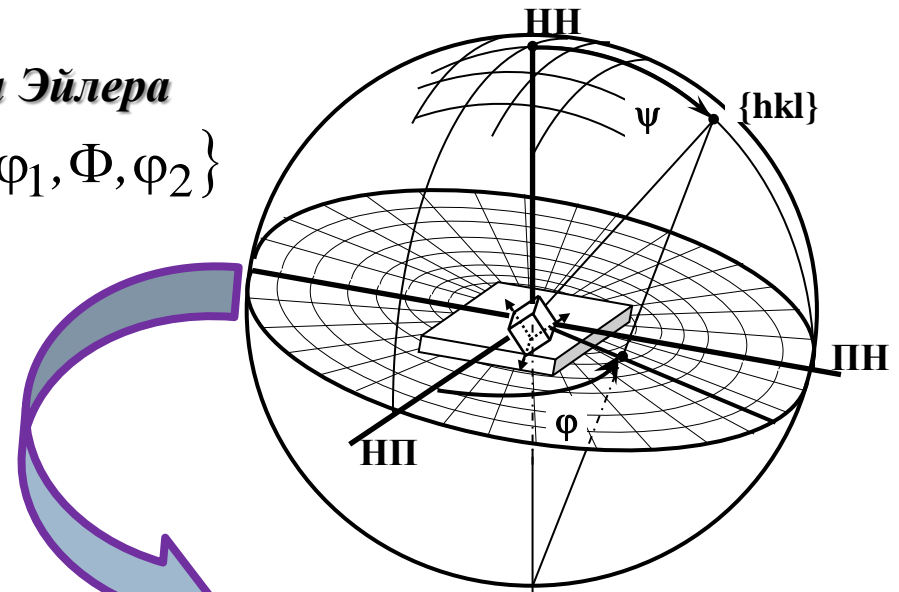
ориентация кристаллитов (g) в поликристалле

ФРО – функция распределения зёрен по ориентациям в поликристалле:

$$f(g)dg = \frac{dV}{V}$$

Прямые полюсные фигуры (ППФ) – распределение полюсной плотности (P_{hkl}) нормалей выбранного типа $\langle hkl \rangle$ на стереографической проекции

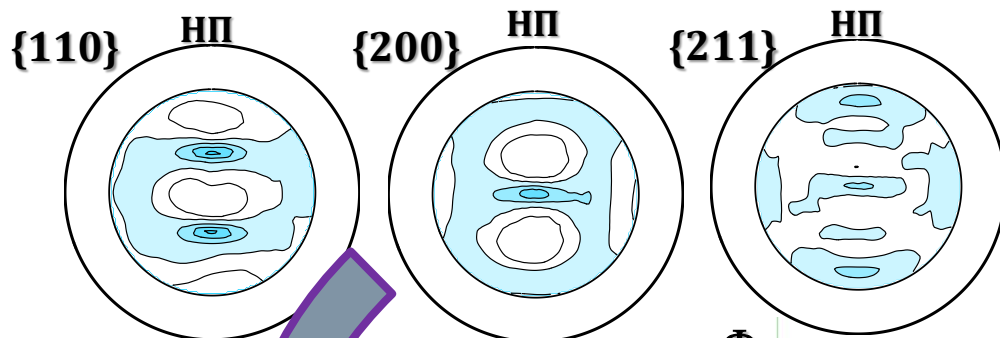
$$\text{ППФ: } P_{hkl}(\psi\varphi) = \frac{1}{2\pi} \int_{(\psi\varphi)} f(g) d\psi$$



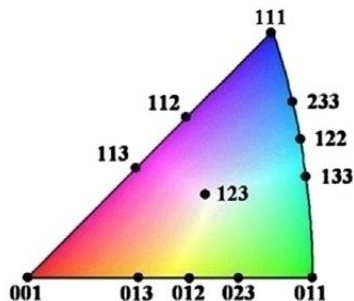
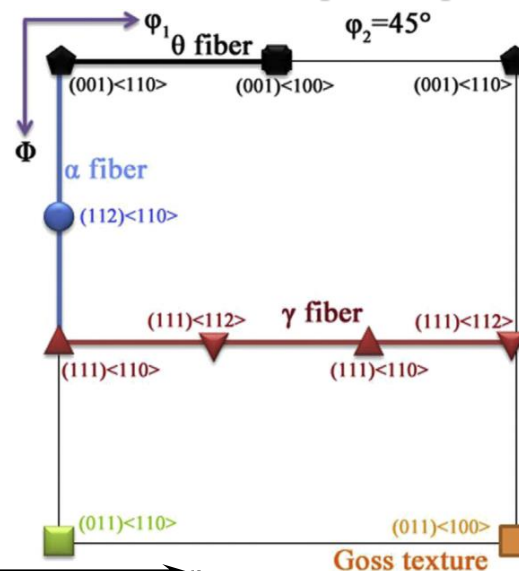
ППФ{hkl} стальной трубы



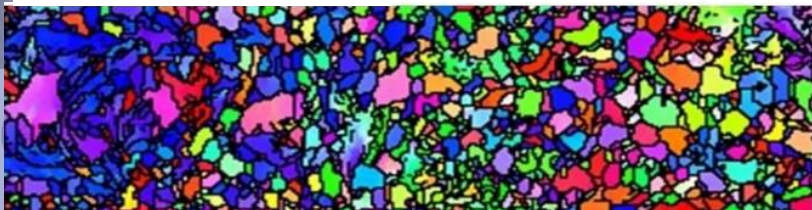
Построение и анализ ФРО кубических металлов



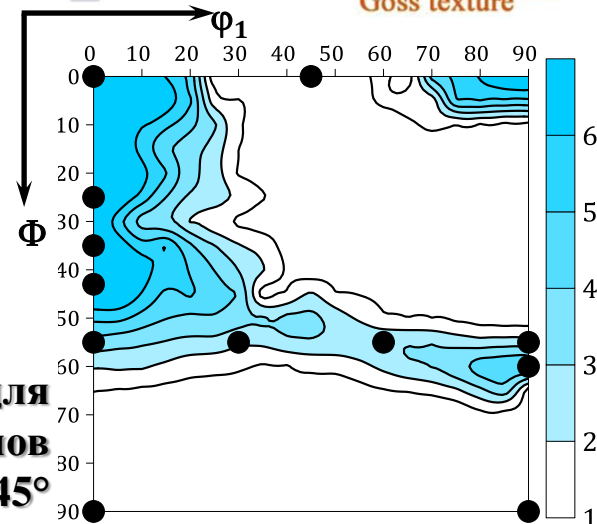
основные идеальные
ориентировки



100 μm



характерное для
кубических металлов
сечение ФРО $\varphi_2 = 45^\circ$





Текстурная неоднородность термоупрочненных труб

Образец	Характеристика трубной стали / условия эксплуатации	$d \times t$ стенки трубы, мм	Средняя темп. газа, °С	Среднее рабочее давление, МПа	σ_v МПа	Характеристики зоны КРН (по актам дефектоскопии)	
						$\rho = \frac{\sum S_{sc}}{S}$	глубина трещин, мм
1	сталь 17Г1С-У (К52), термоупрочненная, ЧТПЗ / более 30 лет, Московская область	1220×15,2	15	4,84	187	0.0045	1,0-1,2
2						не обнаружены	

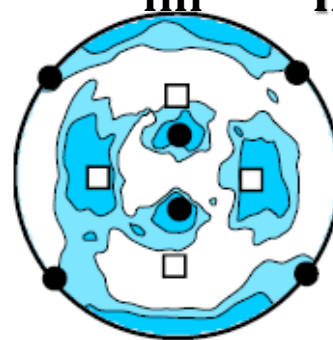
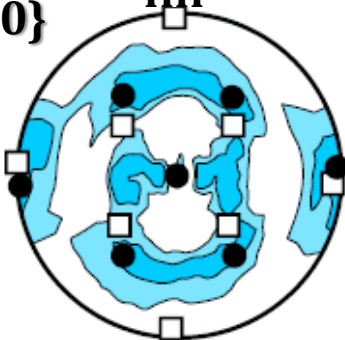
ППФ {110}

НП

НП

ППФ {111}

внешняя поверхность
||НП



ПН

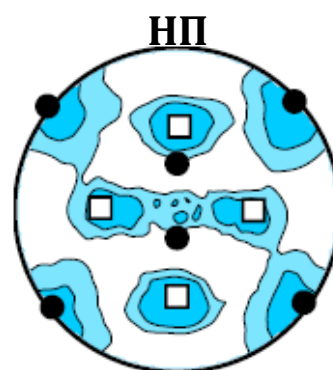
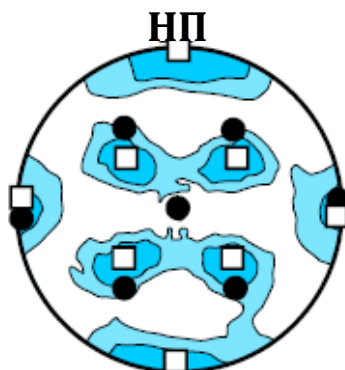
дополнительная компонента {112}<111> - T₃

основные текстурные компоненты

● {011}<001> - T₁

□ {001}<110> - T₂

внутренние слои
||НП



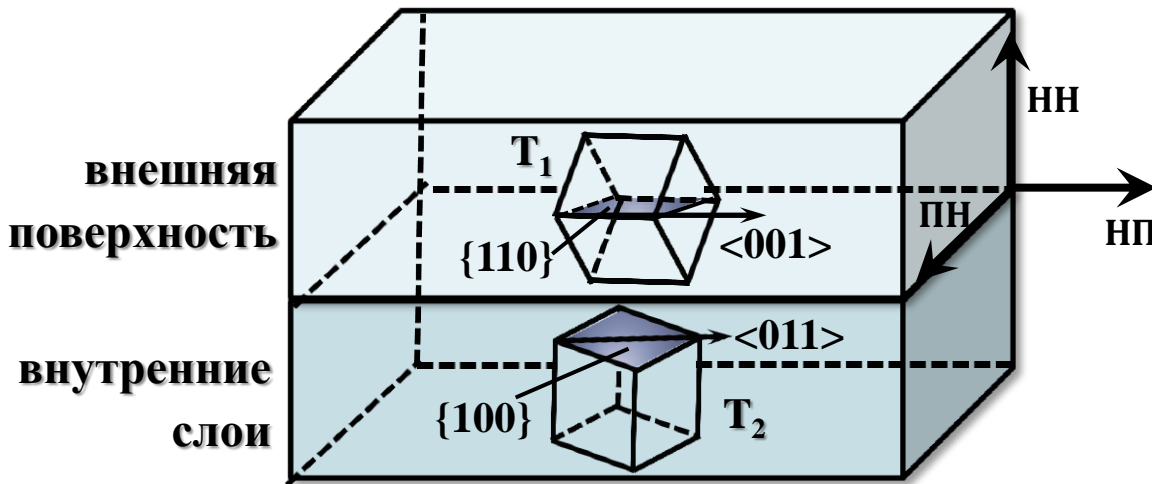
ПН

дополнительная компонента {111}<110>



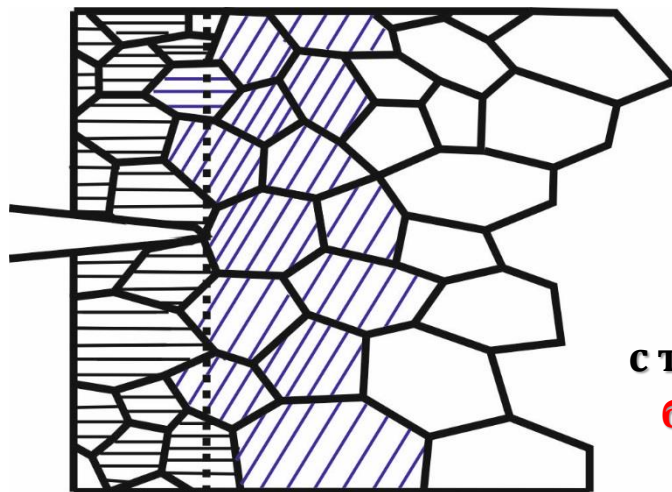


Влияние послойной текстурной неоднородности на растрескивание



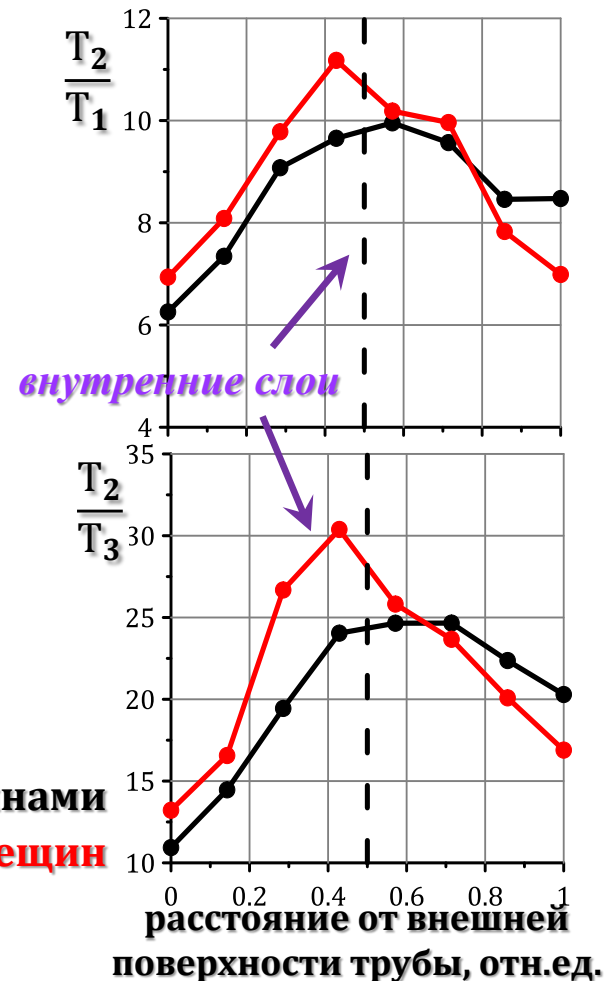
плоскости скола в ОЦК
решетке - {100}

блокировка
роста трещины
при наличии
слоистой
текстуры



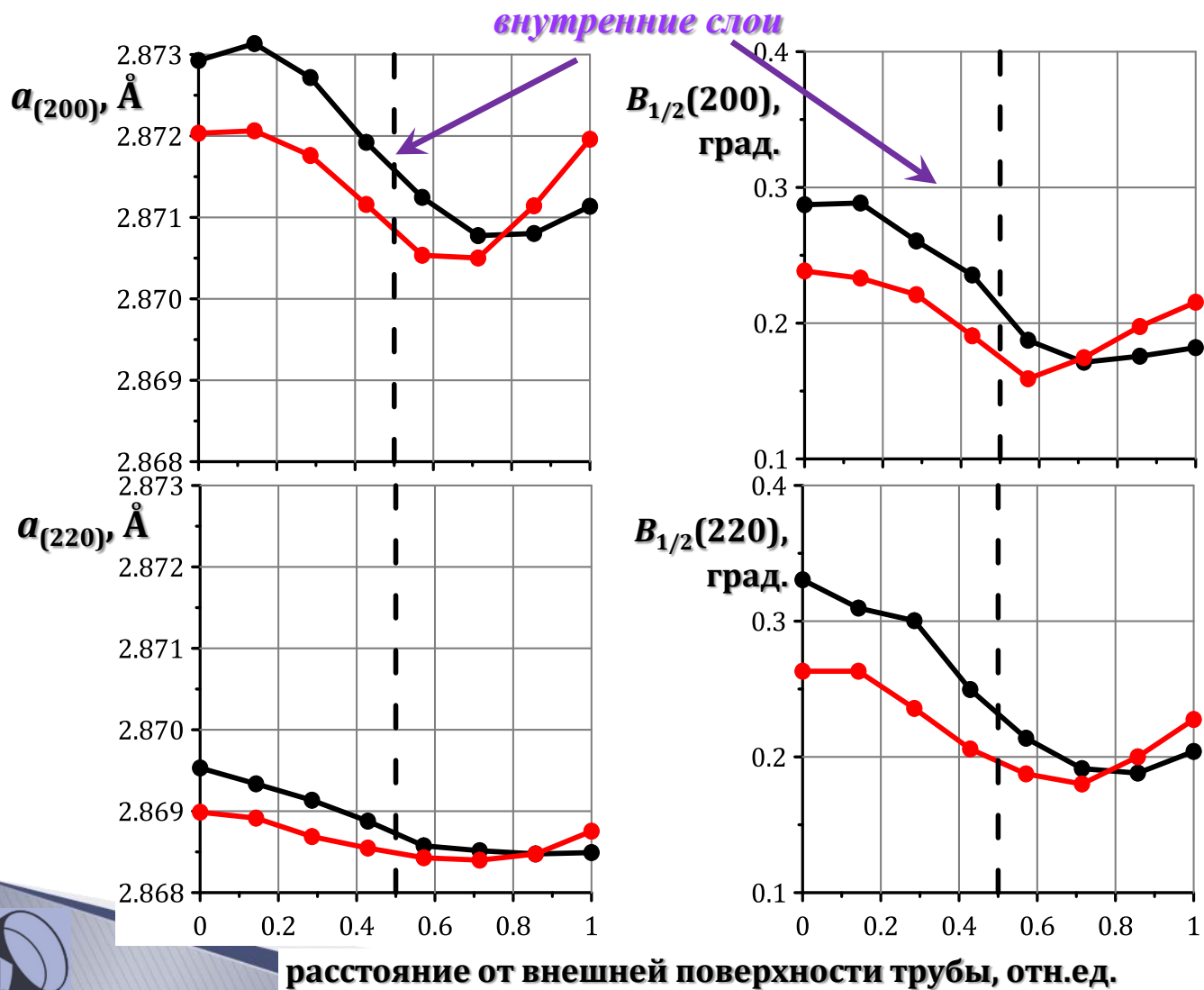
с трещинами
без трещин

соотношения текстурных компонент по толщине стенки трубы





Структурная неоднородность труб



с трещинами
без трещин





Анализ труб, полученных контролируемой прокаткой

Образец	Характеристика трубной стали / условия эксплуатации	$d \times t$ стенки трубы, мм	Средняя темп. газа, °С	Среднее рабочее давление, МПа	σ_v МПа	Характеристики зоны КРН (по актам дефектоскопии)	
						$\rho = \frac{\sum S_{sc}}{S}$	глубина трещин, мм
1	сталь X70, контролируемая прокатка ТУ 20-28-40-48 79/ более 30 лет, Архангельская область	1020×14,0	14	5,0	204	0.010	1.0-2.0
2						не обнаружены	
3		1020×16,0	30	6,6	210	0.114	0.6-2.0
4						не обнаружены	



Текстурная неоднородность труб, полученных контролируемой прокаткой

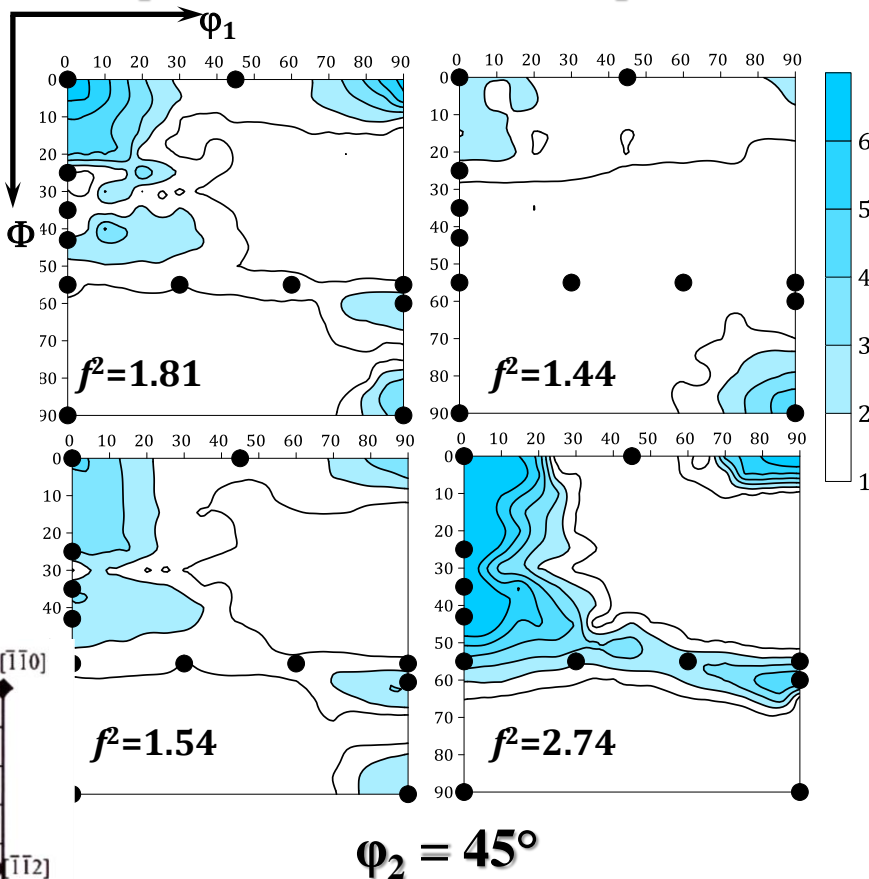
с трещинами

без трещин

с трещинами
без трещин

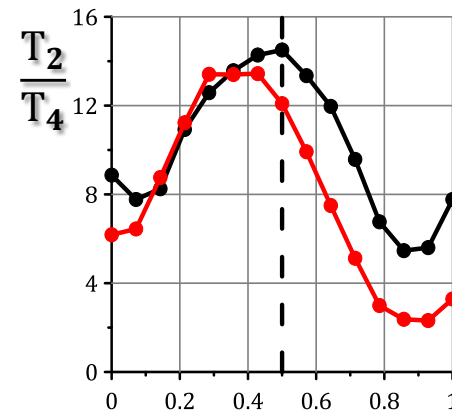
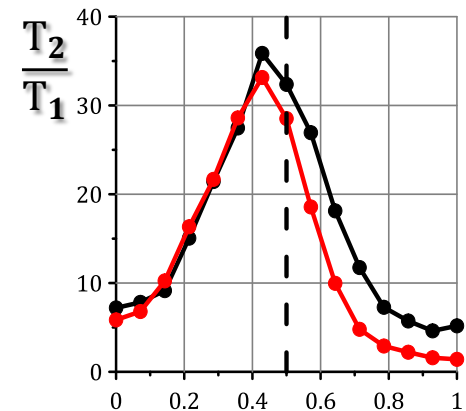
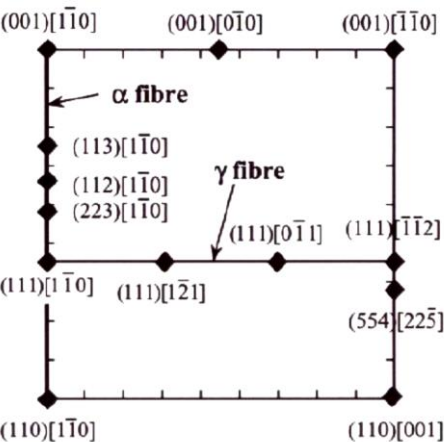
внешняя
поверхность
||НП

внутренние
слои ||НП



$\phi_2 = 45^\circ$

плоскости скола в ОЦК
решетке - {100}



расстояние от внешней
поверхности трубы, отн.ед.

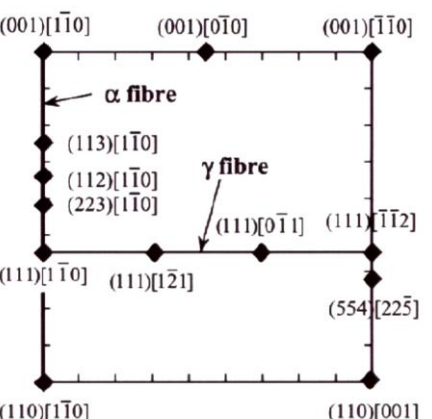
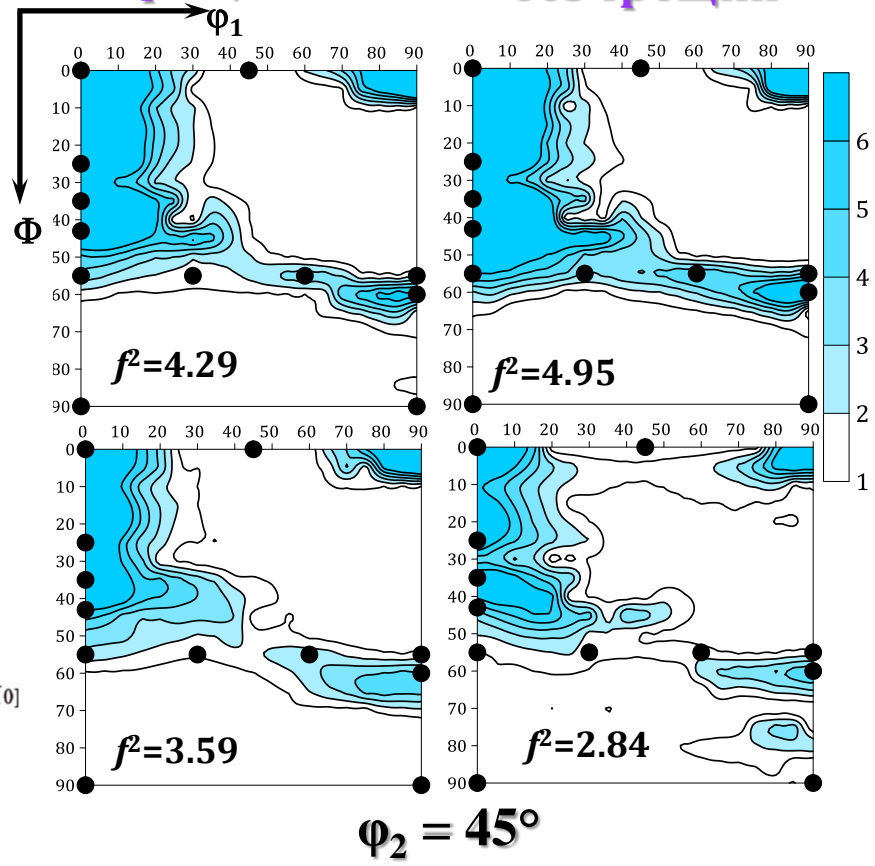


Текстурная неоднородность труб, полученных контролируемой прокаткой

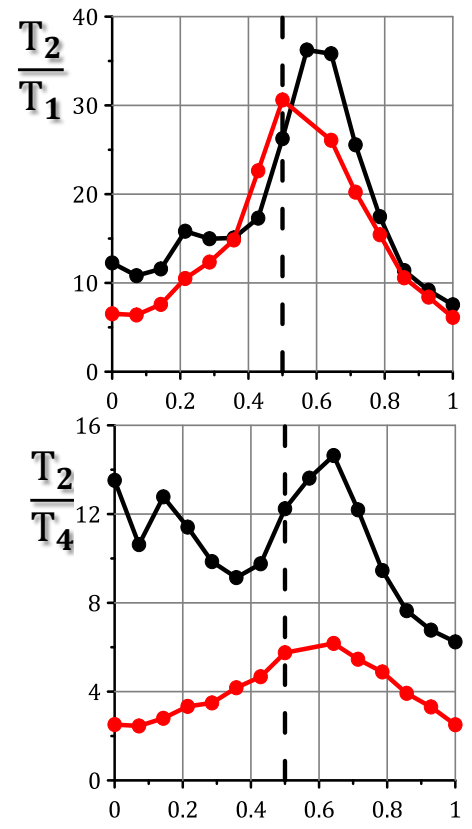
с трещинами без трещин

внешняя поверхность || НП

внутренние слои || НП



с трещинами
без трещин



расстояние от внешней поверхности трубы, отн.ед.



Заключение

Выявлена значительная послойная текстурная неоднородность материала труб магистральных газопроводов, полученных по различным технологиям; показано, что в рамках одной технологии текстура труб может существенно различаться в зависимости от конкретных режимов прокатки; при этом более острая (интенсивная) текстура наблюдается у труб, полученных контролируемой прокаткой

Причина наблюдаемой послойной текстурной неоднородности состоит в особенностях распределения градиента температуры на стадии пластической деформации, возможности динамической рекристаллизации γ -фазы, фазового превращения при переходе из аустенитной фазы в ферритную, а также в развитии процесса динамического деформационного старения в слое ОЦК-фазы, наиболее близком к поверхности листа

Несмотря на различный характер текстурной неоднородности исследованных сталей, более неоднородное послойное распределение текстурных характеристик приводит к увеличению стойкости трубы к коррозионному растрескиванию под напряжением





Благодарю за внимание!

YuPerl@mail.ru

OAKrymskaya@mephi.ru



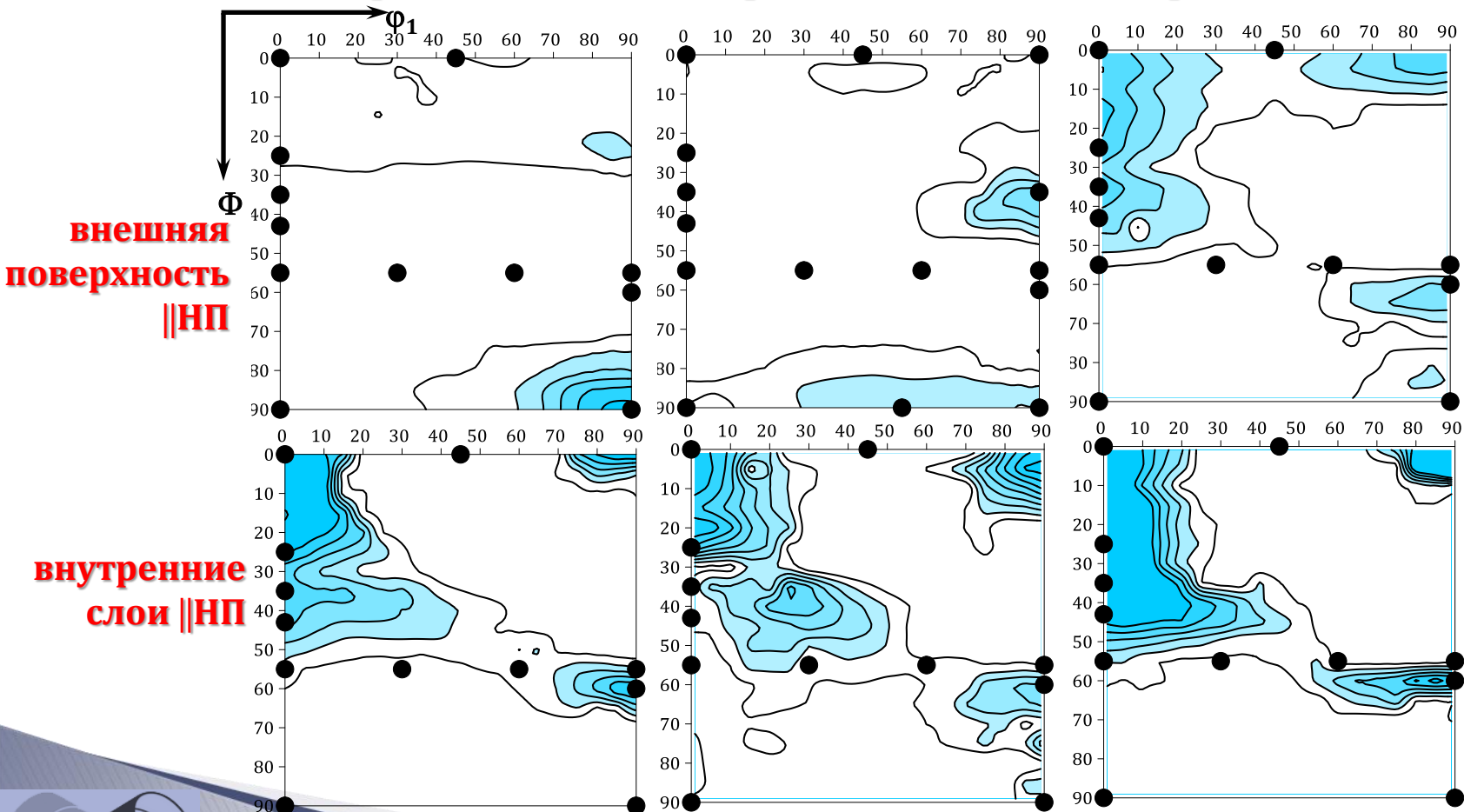


Текстурная неоднородность труб Ø1420×15.7мм (ХТЗ)

с трещинами

расслоение

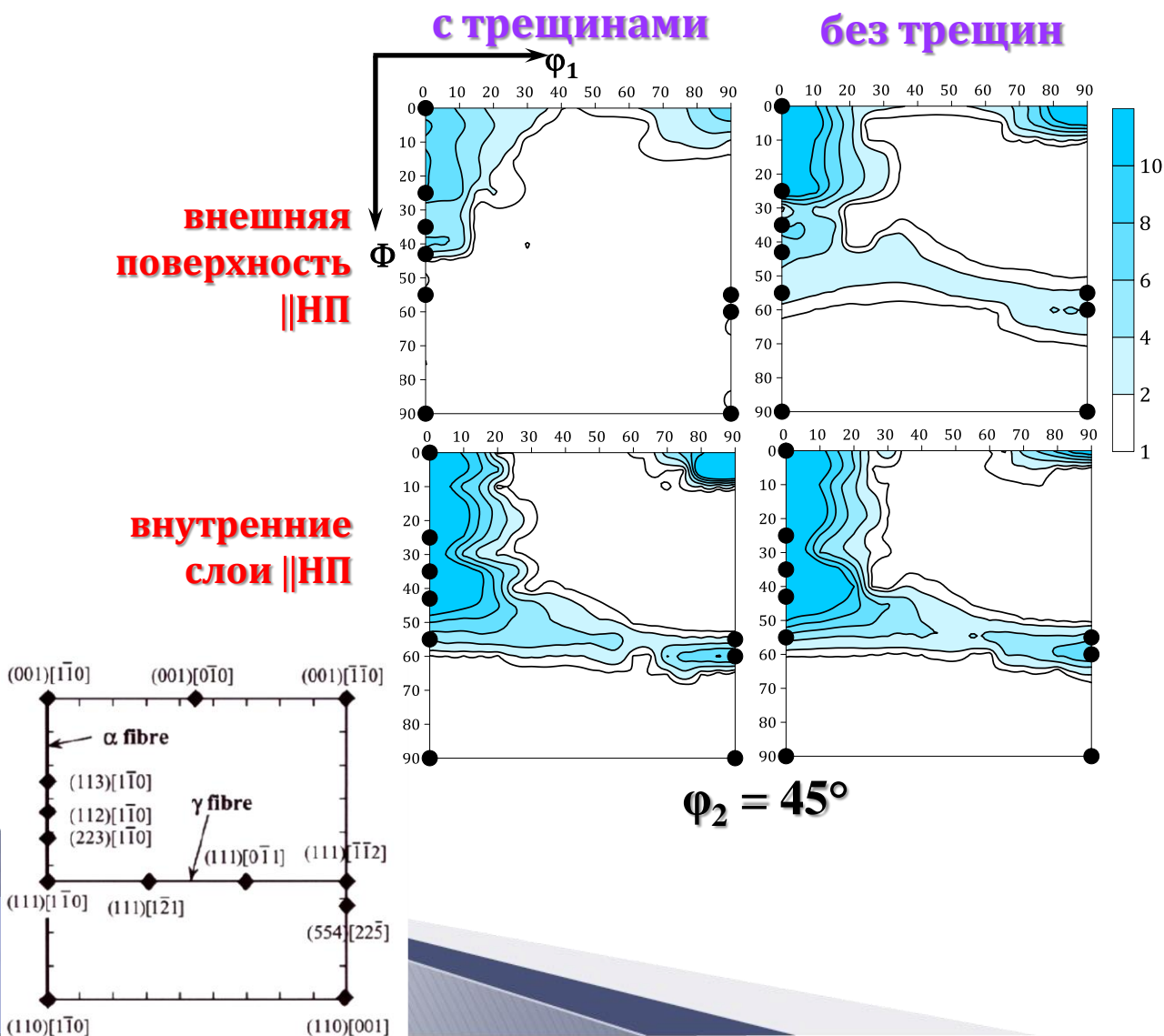
аварийный запас



$\Phi_2 = 45^\circ$



Текстурная неоднородность труб Ø1420×18.7мм (Mannesmann)





Текстурная неоднородность труб, полученных контролируемой прокаткой

Образец	Характеристика трубной стали / условия эксплуатации	$d \times t$ стенки трубы, мм	Средняя темп. газа, °С	Среднее рабочее давление, МПа	σ_p , МПа	Характеристики зоны КРН (по актам дефектоскопии)
						глубина трещин, мм
1	сталь X70, контролируемая прокатка ТУ 20-28-40-48-56-79/ около 25 лет, Тюменская область	1420×18,7	15	7,31	267	1.7-2.5
2						не обнаружены

Образец	Характеристика трубной стали / условия эксплуатации	$d \times t$ стенки трубы, мм	Средняя темп. газа, °С	Среднее рабочее давление, МПа	σ_p , МПа	Характеристики зоны КРН (по актам дефектоскопии)
						глубина трещин, мм
1	сталь X70, контролируемая прокатка ХТЗ ТУ 14-3-1464-87/ около 25 лет, Беларусь	1420×15,7	15	7,31	267	1.7-2.5
2						не обнаружены

