



ВЛИЯНИЕ ПОСЛОЙНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ НА РАЗВИТИЕ ТРЕЩИН КРН В СТАЛЬНЫХ ТРУБАХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

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

И.В. Ряховских

ООО «Газпром ВНИИГАЗ»





Цель работы:

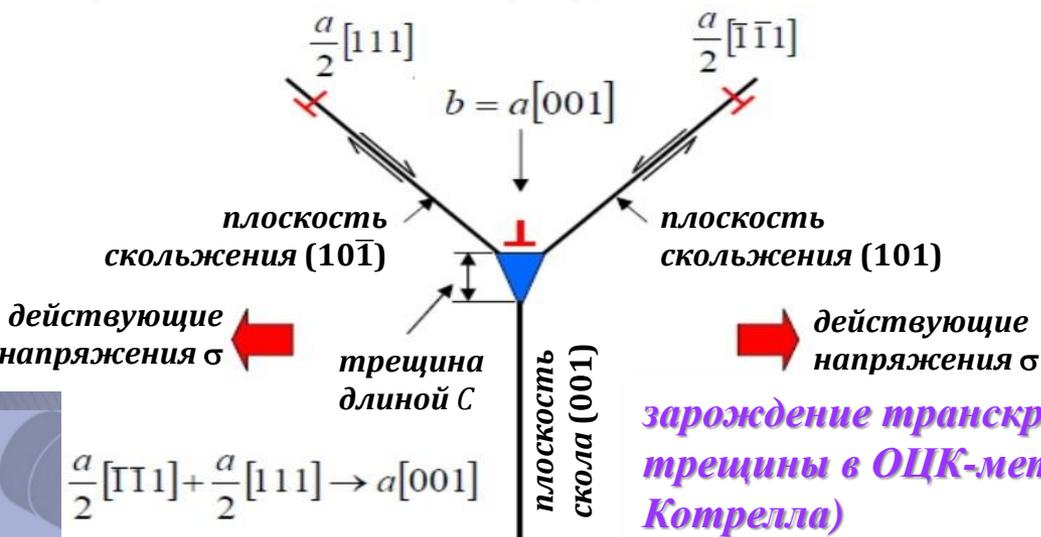
определение количественных характеристик текстурной неоднородности стальных труб магистральных газопроводов (МГ), способствующих стабилизации трещин КРН





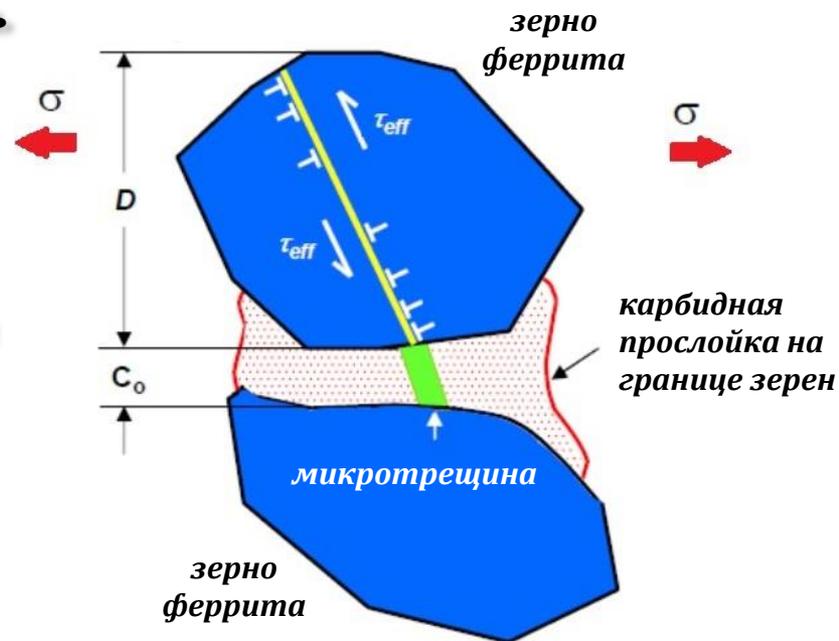
Основные стадии развития процесса КРН в стальных трубах

- Проникновение электролита к поверхности трубы и формирование среды, инициирующей КРН
- Первоначальное быстрое зарождение отдельных трещин и формирование колоний трещин, скорость развития которых падает до некоторой константы через определенное время
- Стадия распространения отдельных единичных трещин колонии
- Слияние трещин в магистральную с последующим развитием вплоть до разрушения



зарождение транскристаллитной трещины в ОЦК-металлах (модель Коттрелла)

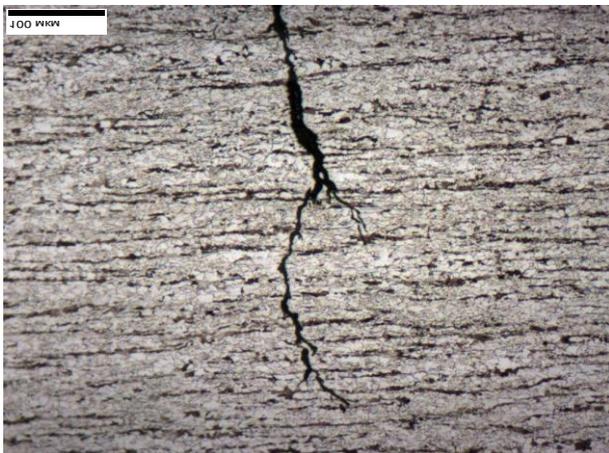
зарождение трещины по модели Смита



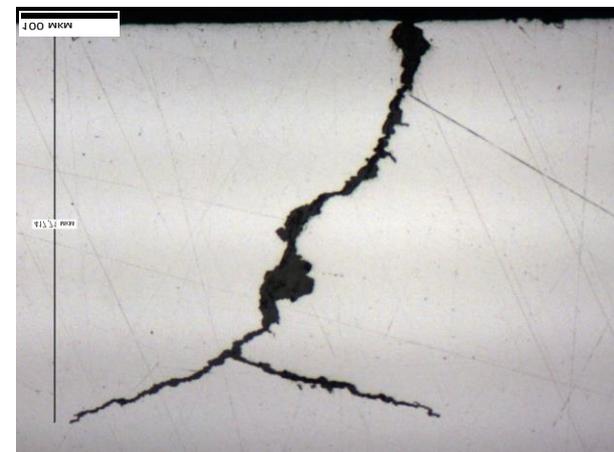
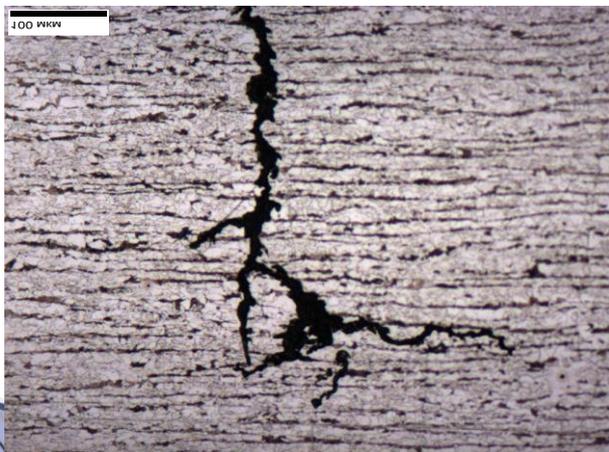
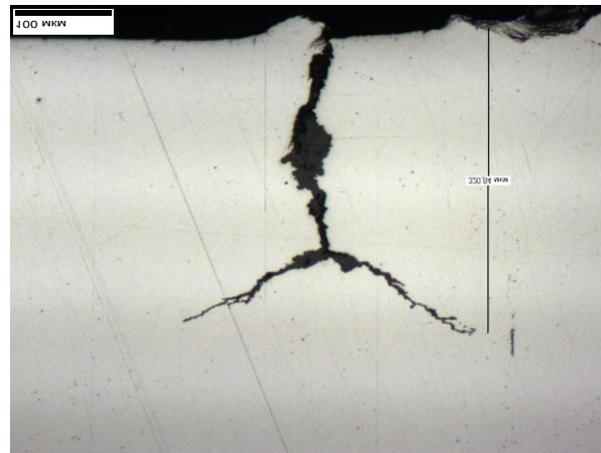


Характер распространения трещин в трубах различных производителей

тип 1

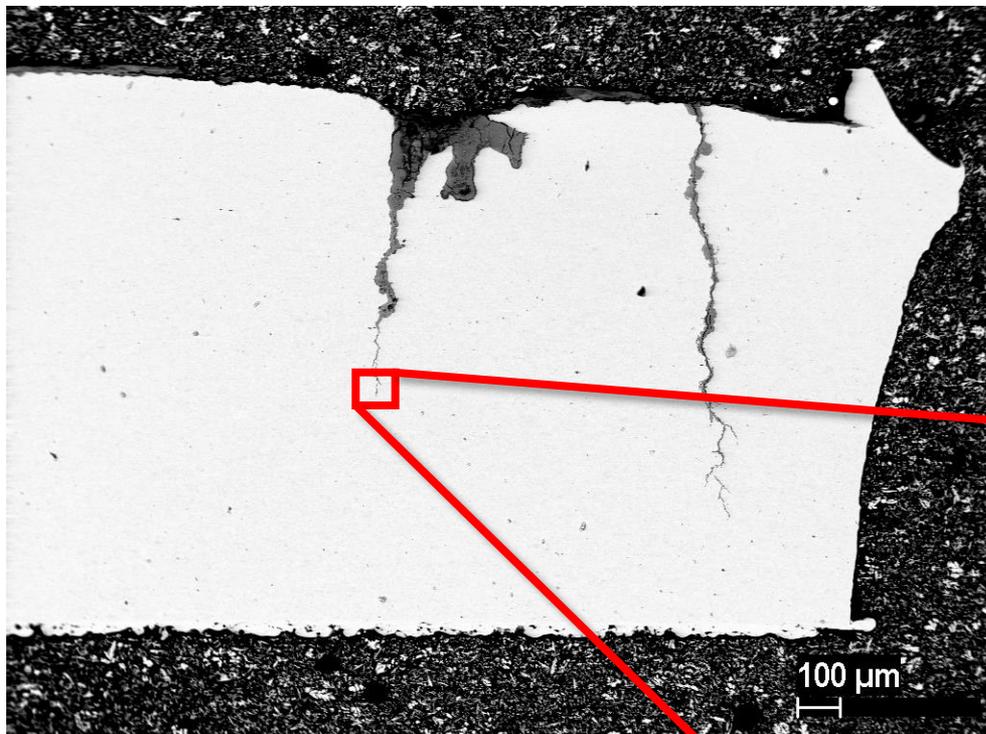


тип 2

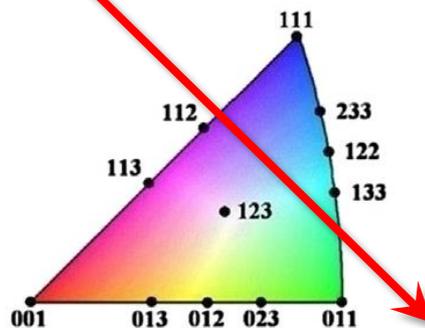




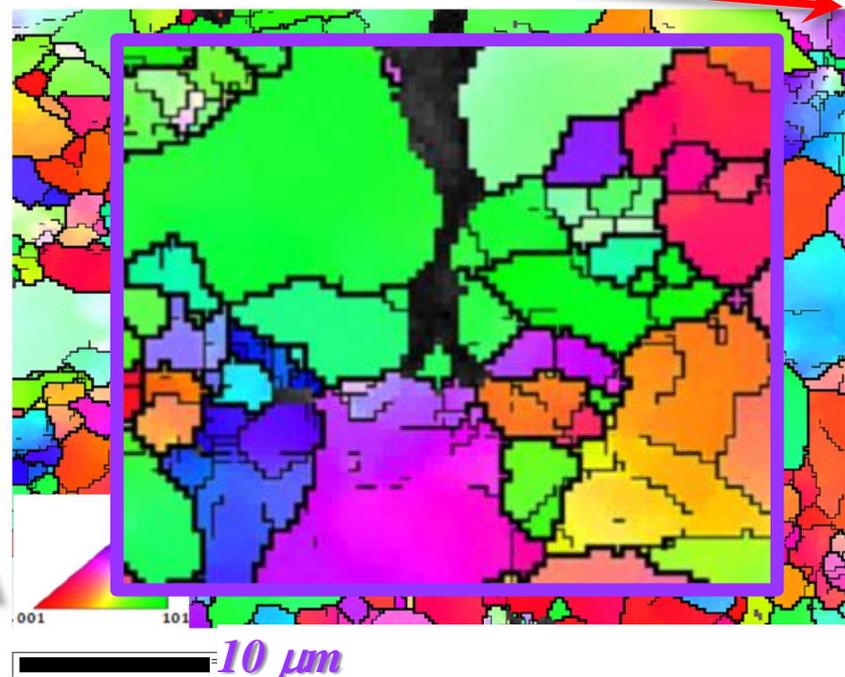
Влияние кристаллографической текстуры на процесс КРН



блокировка роста трещины при
наличии послойной текстурной
неоднородности



EBSD карта

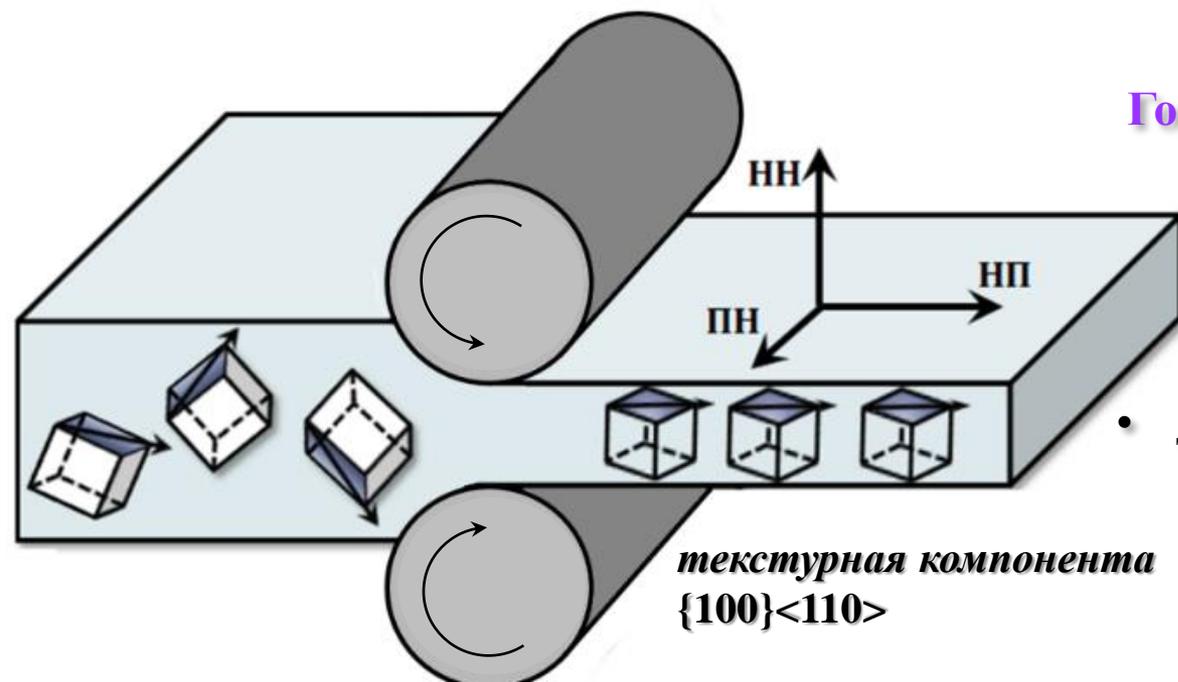




Формирование текстуры при горячей прокатке стали

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

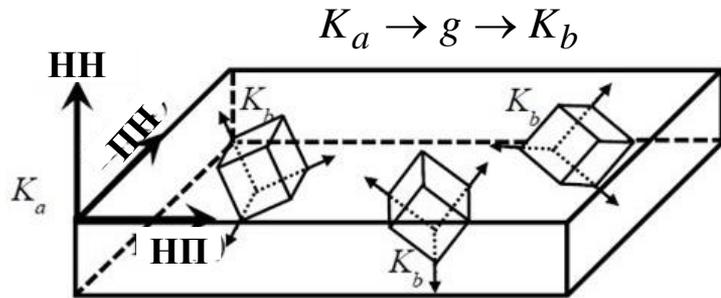


Горячая прокатка стальных листов включает следующие механизмы развития текстуры:

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



Методы текстурного анализа



$$K_a \rightarrow g \rightarrow K_b$$

углы Эйлера

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

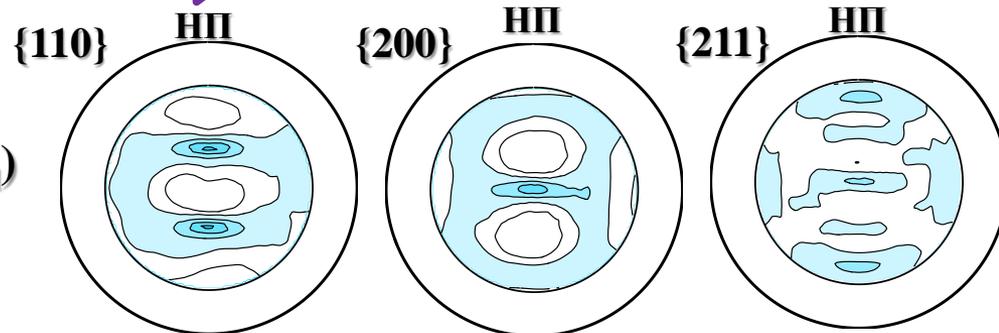
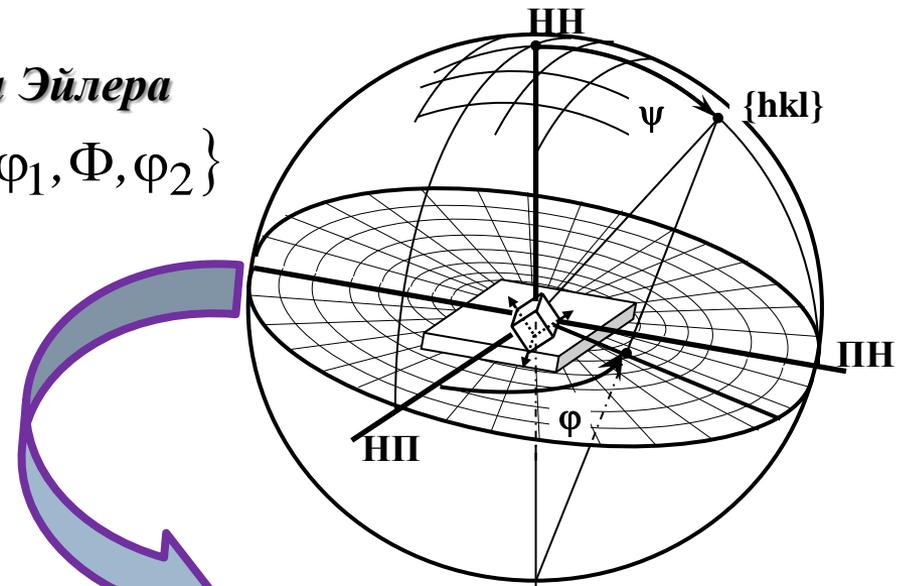
ориентация кристаллитов (g) в поликристалле

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

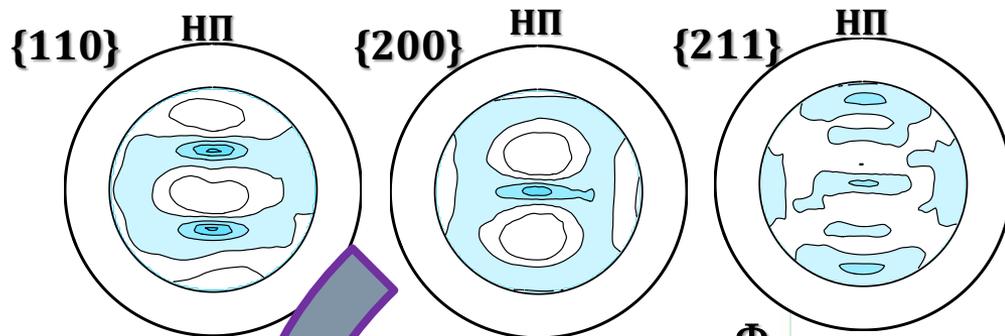
$$\text{ППФ: } P_{hkl}(\psi\varphi) = \frac{1}{2\pi} \int_{(\psi\varphi)} f(g) d\psi$$



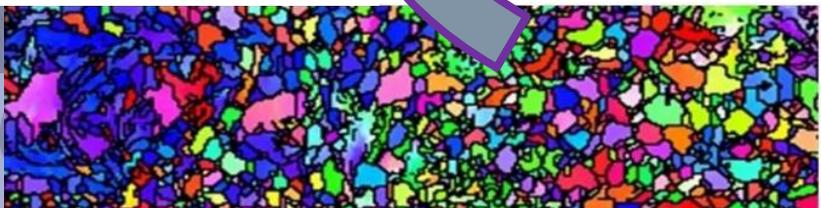
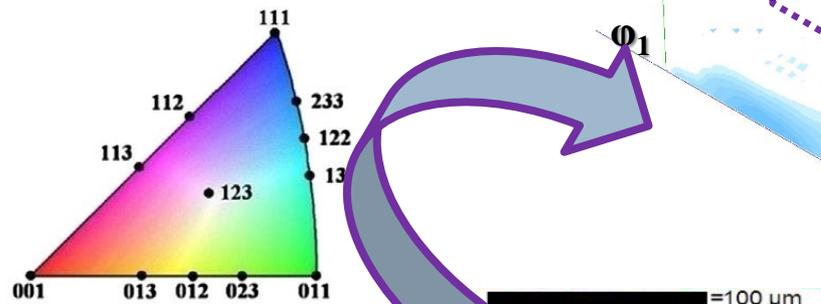
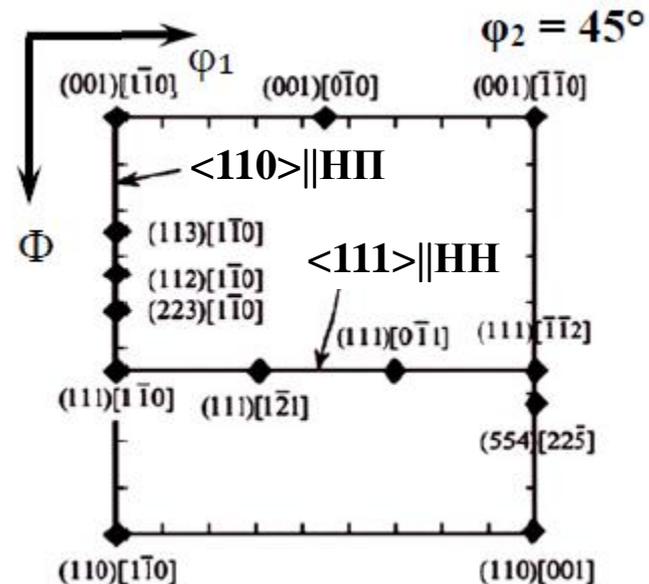
ППФ{hkl} стальной трубы



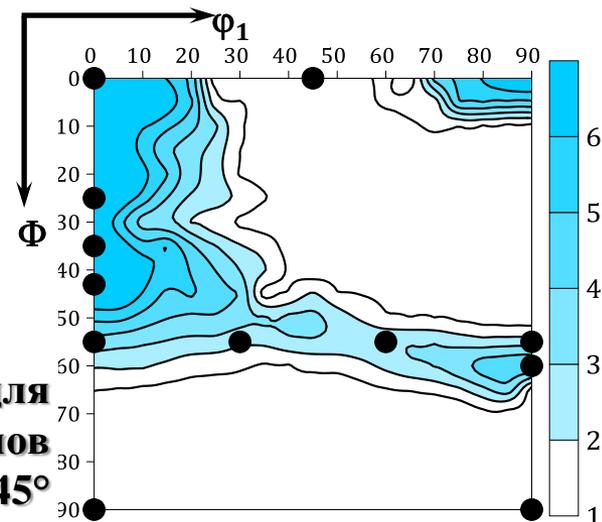
Построение и анализ ФРО кубических металлов



основные идеальные
ориентировки

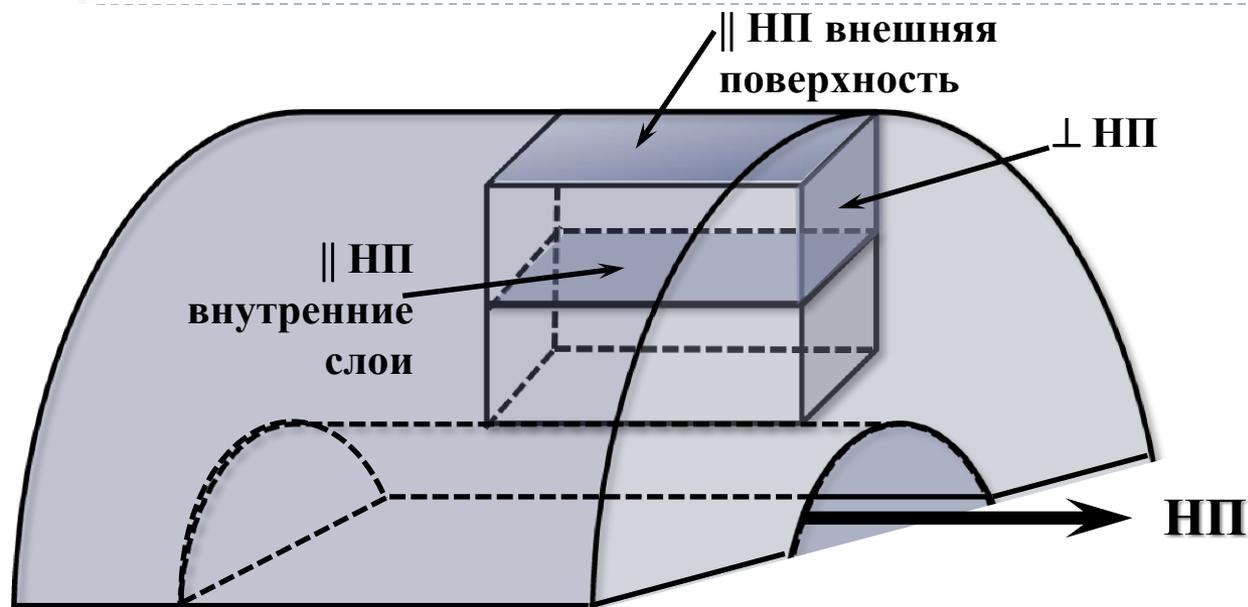


характерное для
кубических металлов
сечение ФРО $\varphi_2 = 45^\circ$

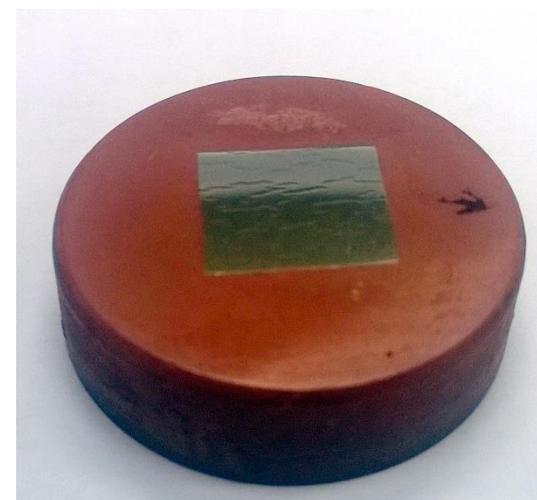




Приготовление образцов труб МГ для исследований



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

Микроструктурные исследования

Построение карт EBSD



Исследованные трубы

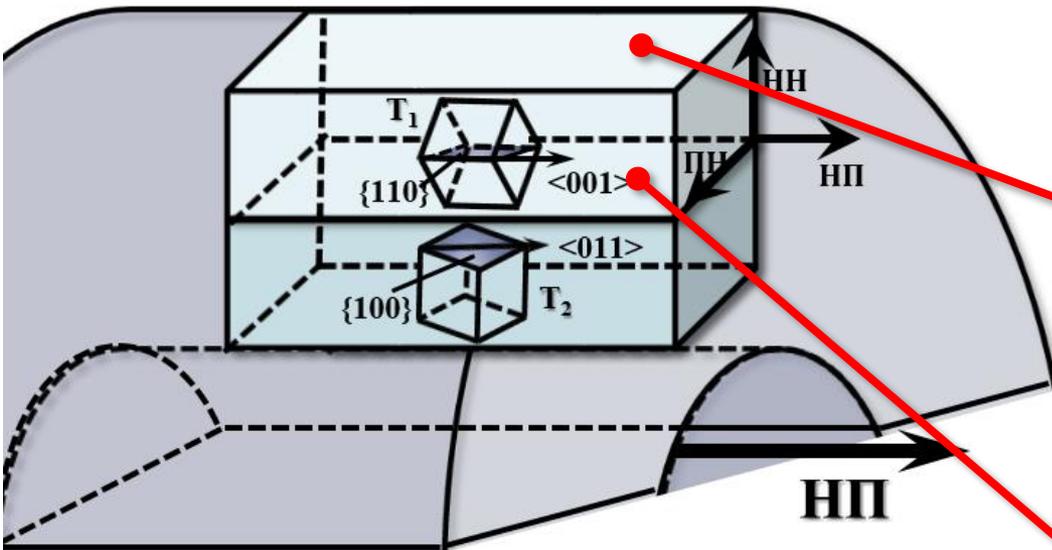
сталь Х70

контролируемая прокатка

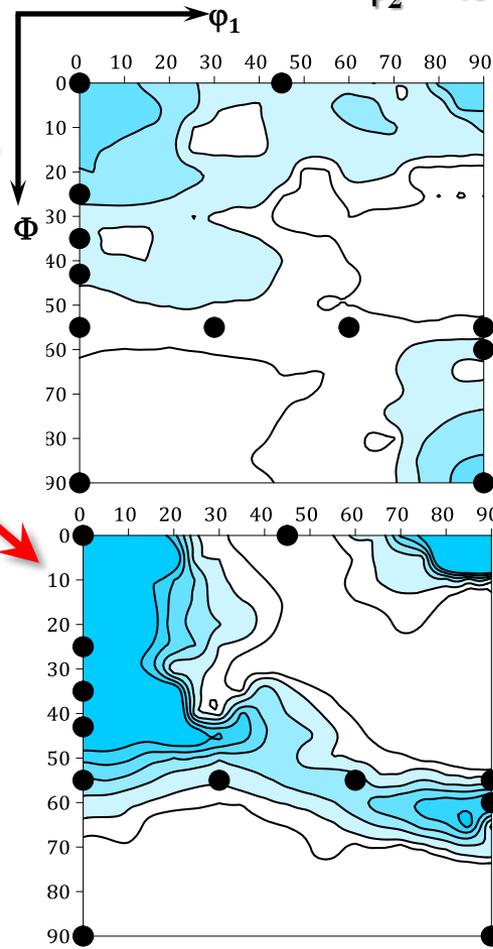
Участок МГ	ТУ/ условия эксплуатации / производитель	$d \times t$ стенки трубы, мм	Средняя/ макс. температура газа, °С	Среднее рабочее давление, МПа	σ_T/σ_L МПа	Глубина трещин КРН (по актам ВТД), мм
1	ТУ 14-3-995-81 около 30 лет Пермский край ХТЗ	1420×16,5	11	5,8	~240/	0.5-2.0
						не обнаружены
2	ТУ 20-28-40-48-56-79 около 30 лет Пермский край Mannesman	1420×16,5	11	5,8	~240/	0.5-1.5
						не обнаружены
3	ТУ 20-28-40-48-56-79 около 25 лет Тюменская область Mannesman	1420×18,7	15	7,3	~265/	1.7-2.5
						не обнаружены
4	ТУ 20-28-40-48 79 более 30 лет Архангельская область	1020×14,0	14	5,0	~205/	1.0-2.0
						не обнаружены
5	ТУ 20-28-40-48 79 более 30 лет Архангельская область	1020×16,0	30	6,6	~210/	0.6-2.0
						не обнаружены



Послойная текстурная неоднородность труб МГ1

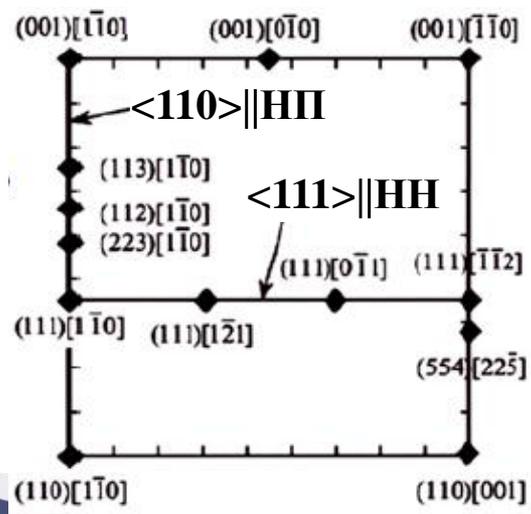


сечение ФРО
 $\phi_2 = 45^\circ$



основные текстурные компоненты

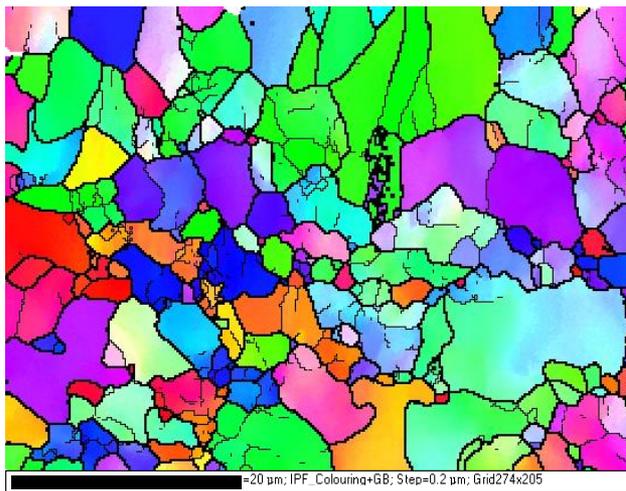
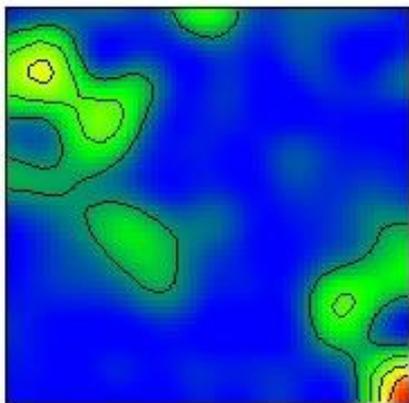
- $\{110\}\langle 001 \rangle$ - T_1
- $\{001-111\}\langle 110 \rangle$ - T_2
- $\{111\}\langle 112 \rangle$ - T_3



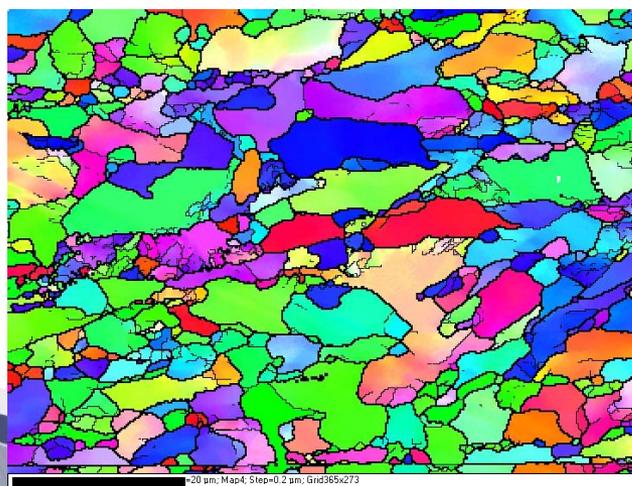


Послойная текстурная неоднородность труб МГ1

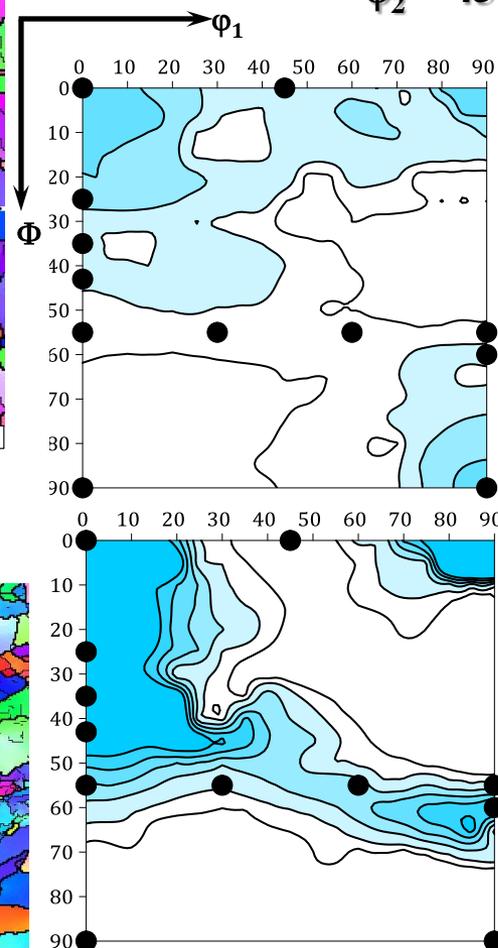
сечение ФРО
 $\varphi_2 = 45^\circ$



EBSD карты



сечение ФРО
 $\varphi_2 = 45^\circ$

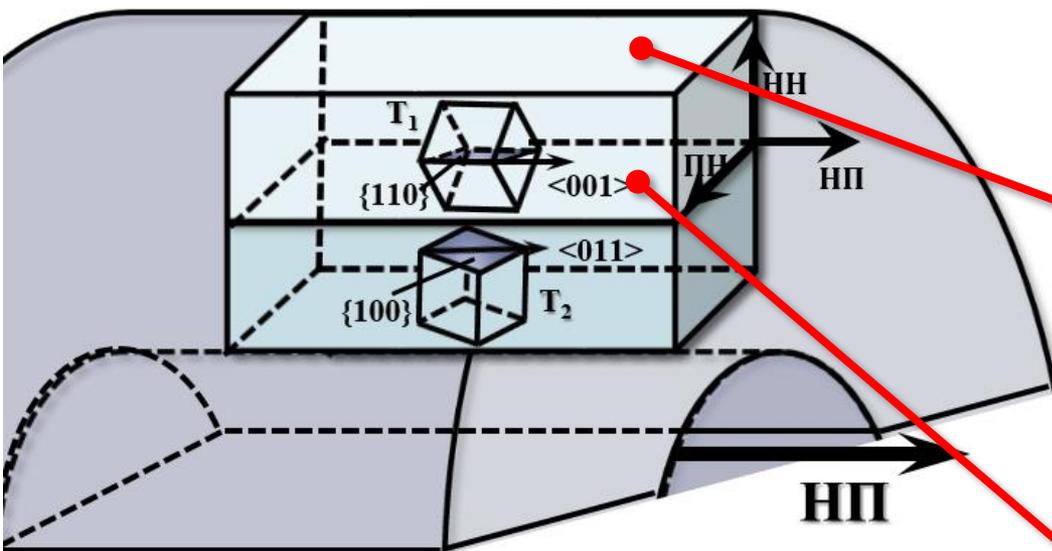


внешняя
поверхность
||НП

внутренние
слои ||НП

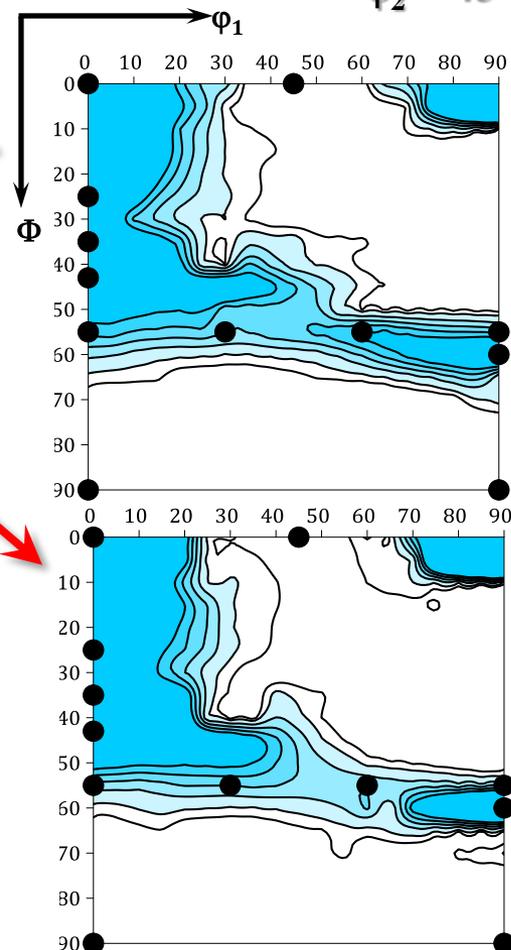


Послойная текстурная неоднородность труб МГ2



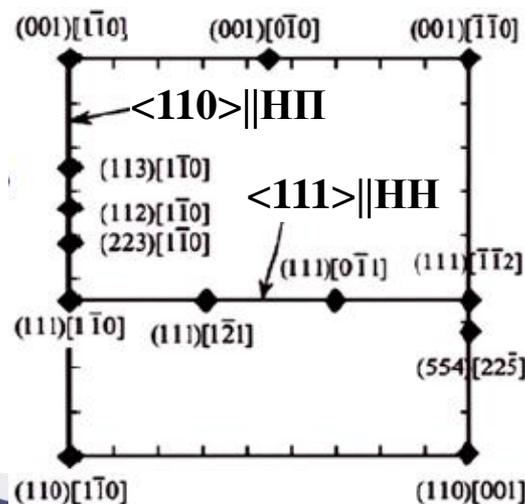
сечение ФРО

$\phi_2 = 45^\circ$



внешняя
поверхность

внутренние
слои || НП



основные текстурные
компоненты

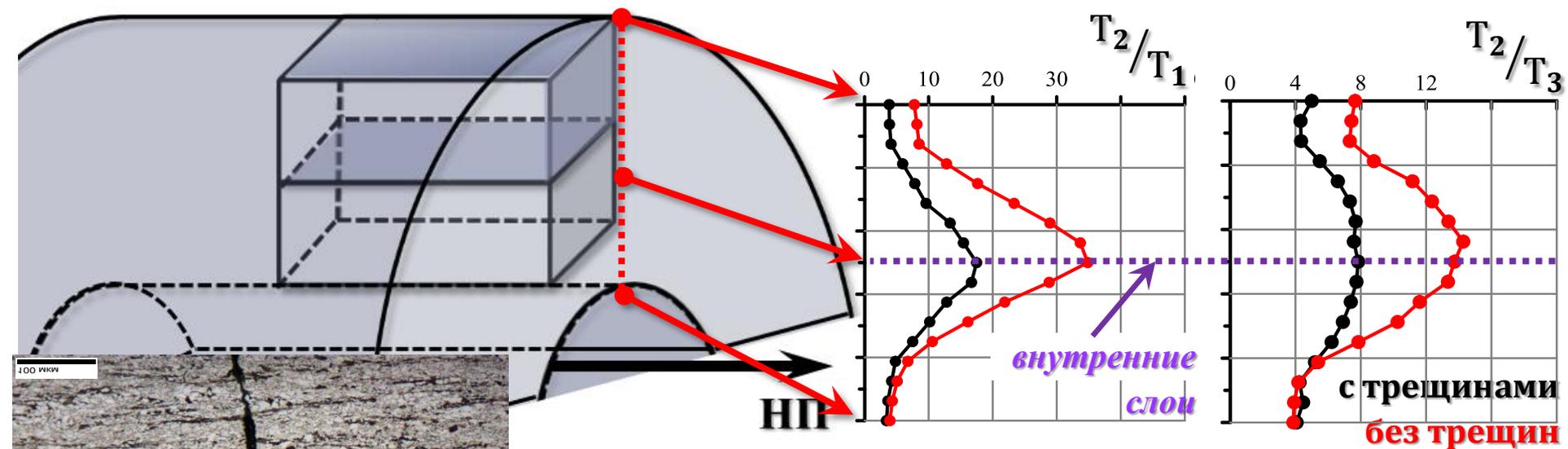
$\{110\}\langle 001\rangle - T_1$

$\{001-111\}\langle 110\rangle - T_2$

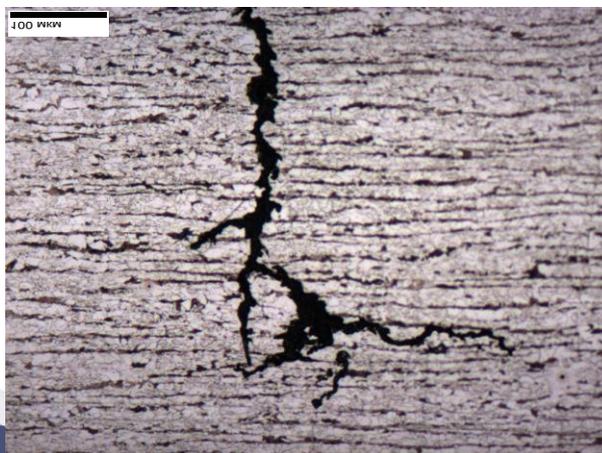
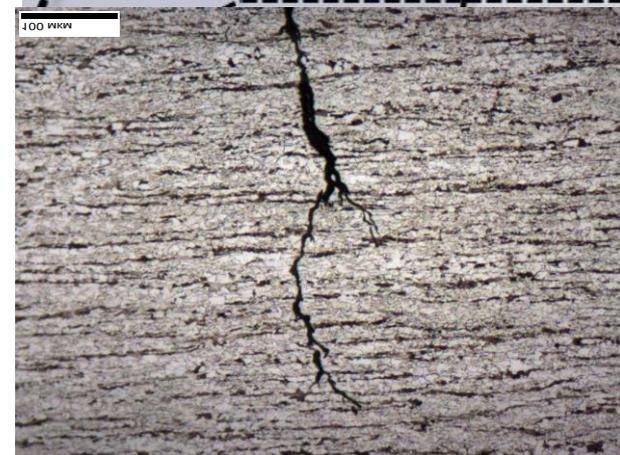
$\{111\}\langle 112\rangle - T_3$



Послойная текстурная неоднородность труб МГ1

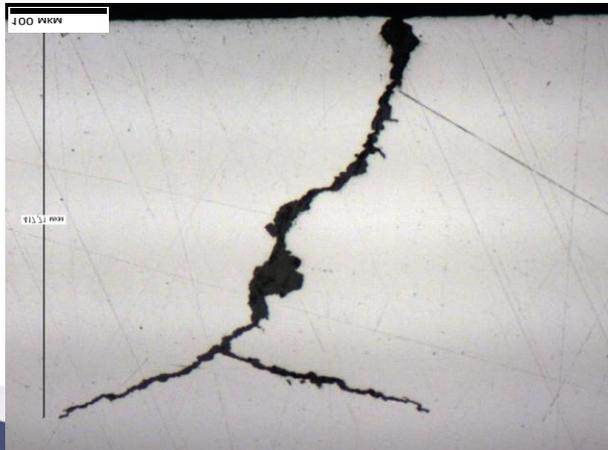
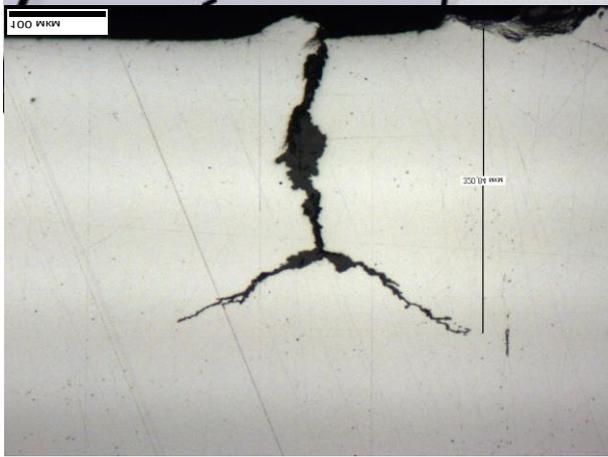
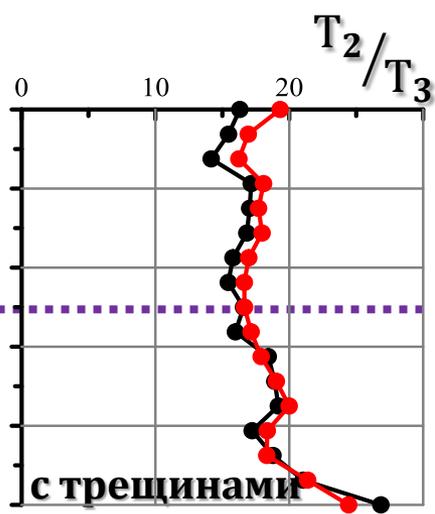
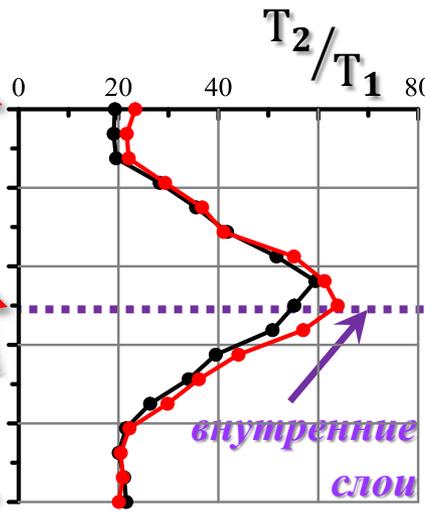
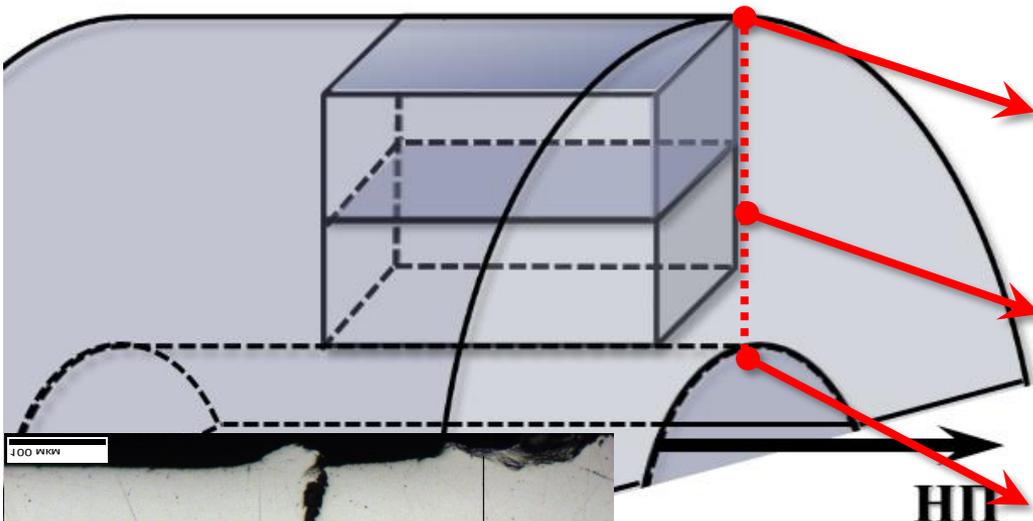


распределение соотношений
основных текстурных
компонент по толщине
стенки трубы





Послойная текстурная неоднородность труб МГ2

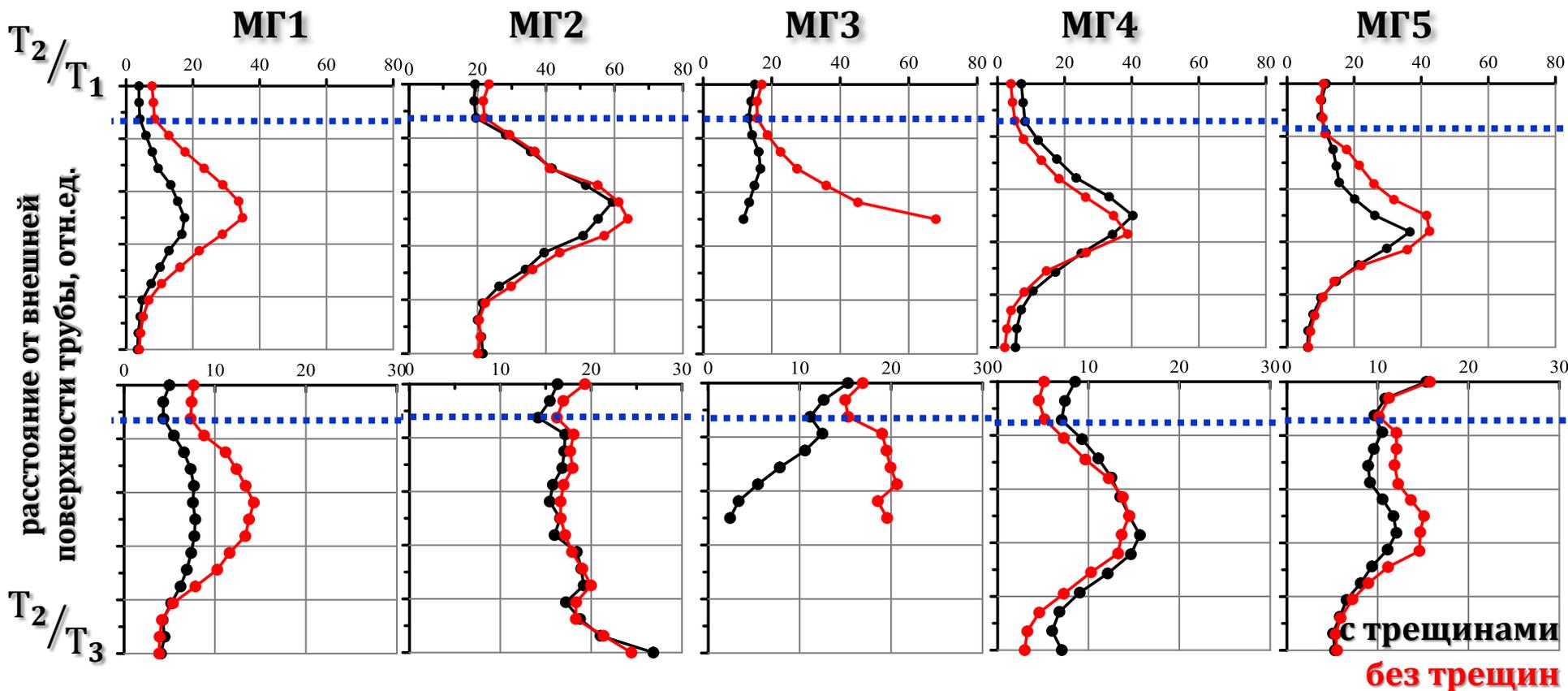


без трещин

**распределение соотношений
основных текстурных
компонент по толщине
стенки трубы**



Влияние послойной текстурной неоднородности на КРН



	МГ 1	МГ 2	МГ 3	МГ 4	МГ 5
Глубина обнаруженных трещин в зонах с КРН, мм	0.5-2.0	0.5-1.5	1.7-2.5	1.0-2.0	0.6-2.0
Глубина слоя изменения текстуры, мм	1.6-2.0	1.6-2.0	1.9-2.9	1.4-2.1	1.6-2.4



Заключение

Выявлена значительная послойная текстурная неоднородность материала труб магистральных газопроводов, полученных различными производителями. Показано, что в рамках одной технологии прокатки текстура труб существенно различается в зависимости от конкретных режимов

Обнаружена корреляция между глубиной выявленных трещин КРН, составляющей 10-15% от толщины стенки трубы, и величиной поверхностного слоя с измененной текстурой

Показано, что более неоднородное послойное распределение текстурных характеристик может приводить к разветвлению трещин и изменению направления их распространения, что способствует замедлению их роста

Таким образом, существенное различие внутренних и внешних слоев металла труб по текстуре способствует снижению склонности к КРН, вследствие пересечения трещиной слоев с измененной текстурой с высокой взаимной разориентацией зерен и необходимостью изменения плоскости движения трещины



Благодарю за внимание!

YuPerl@mail.ru

OAKrymskaya@mephi.ru

