



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

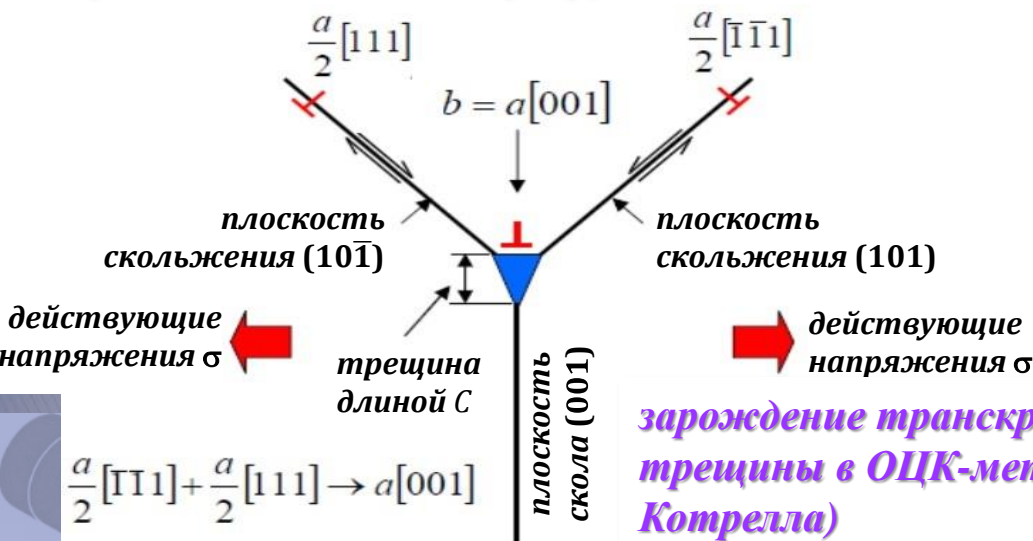
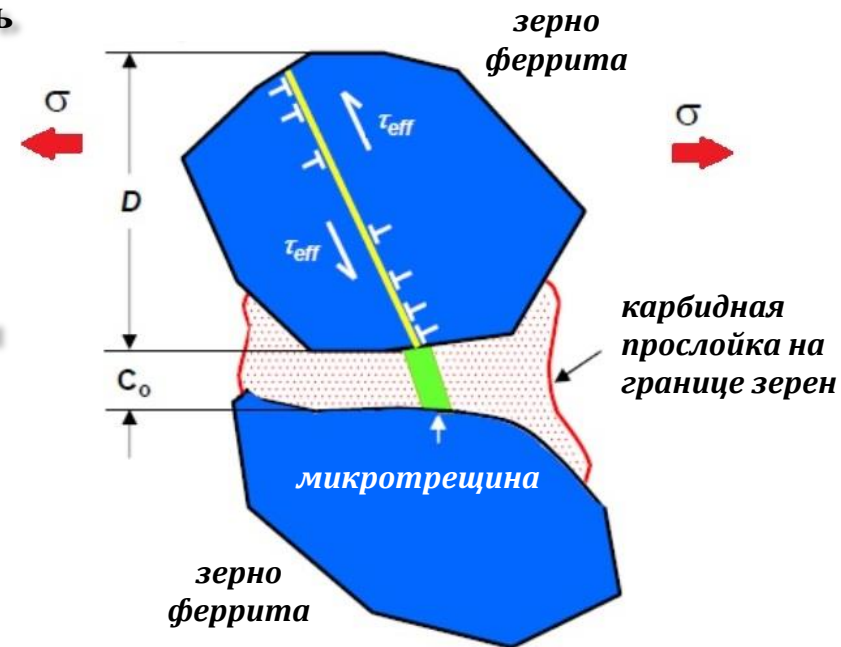




Основные стадии развития процесса КРН в стальных трубах

- 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

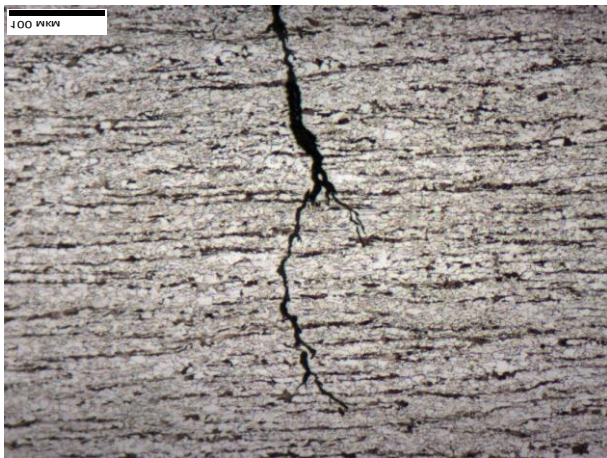
зарождение трещины по модели Смита



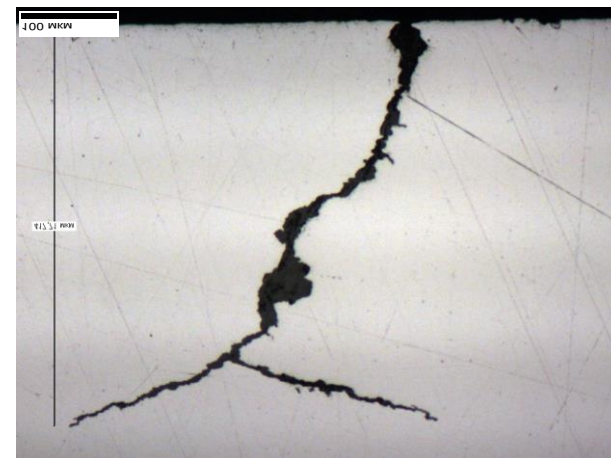
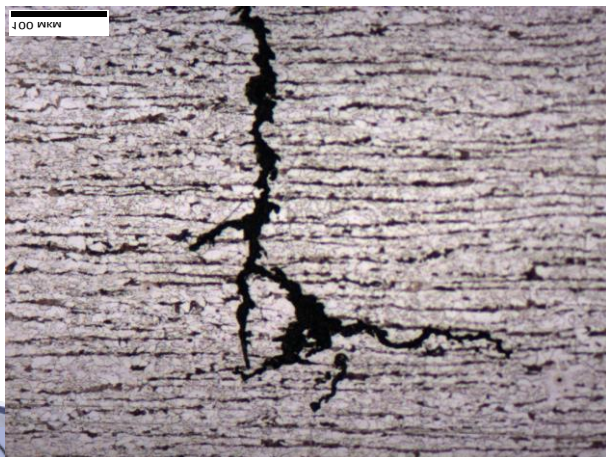
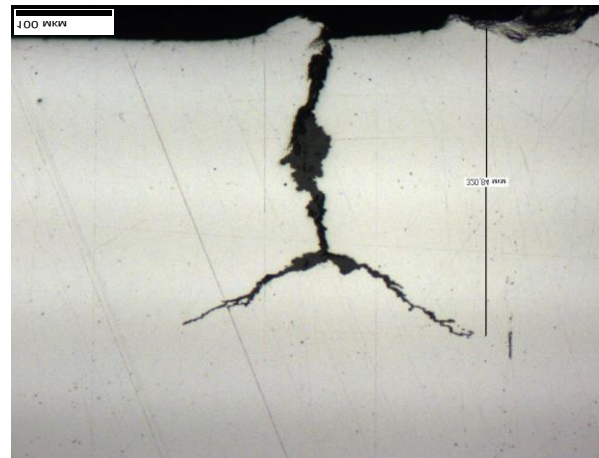


Характер распространения трещин в трубах различных производителей

тип 1

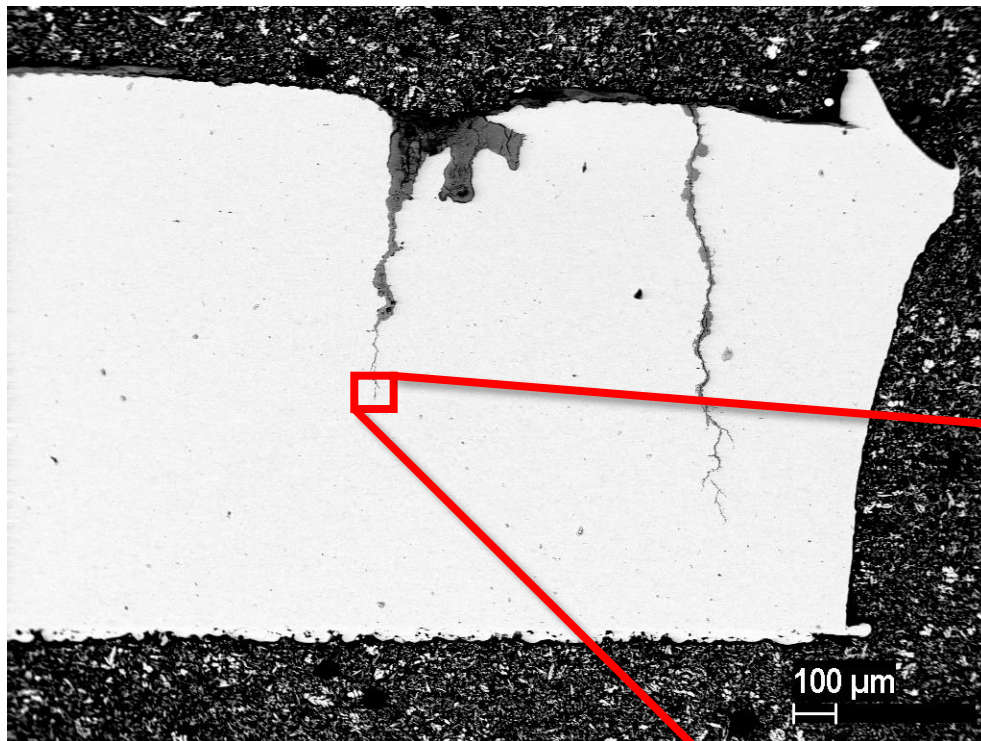


тип 2

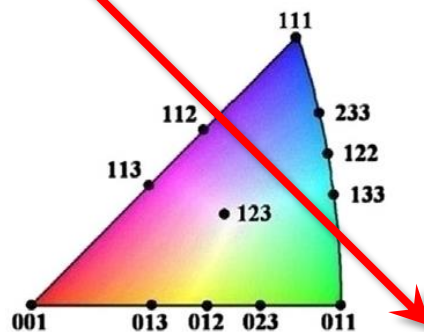




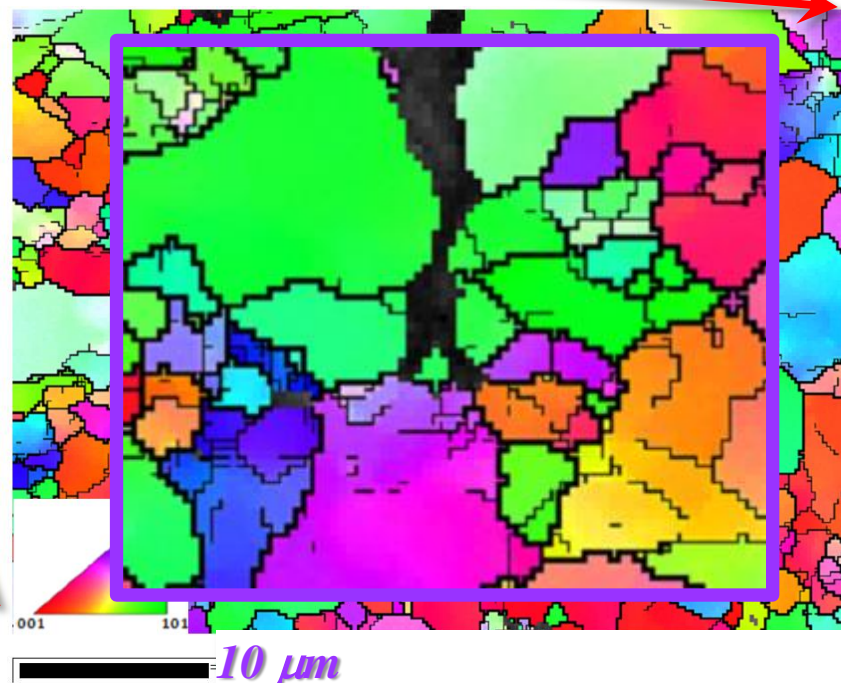
Влияние кристаллографической текстуры на процесс КРН



блокировка роста трещины при
наличии послойной текстурной
неоднородности



EBSD карта

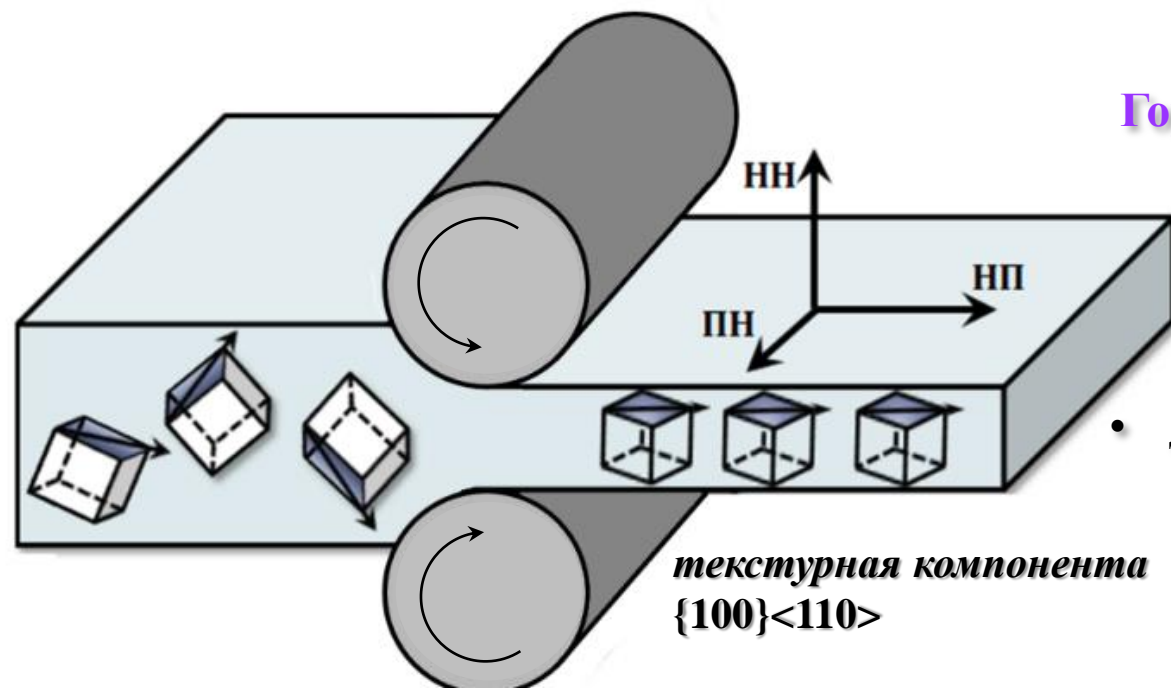




Формирование текстуры при горячей прокатке стали

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

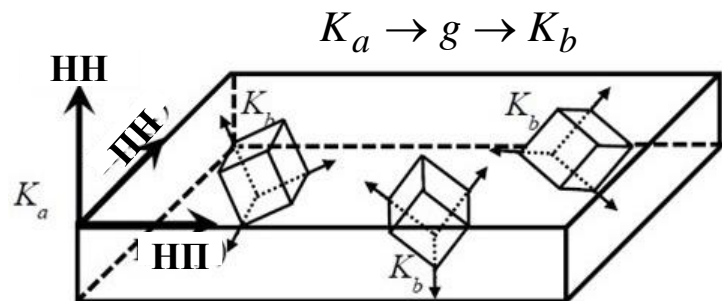


Горячая прокатка стальных листов включает следующие механизмы развития текстуры:

- 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

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

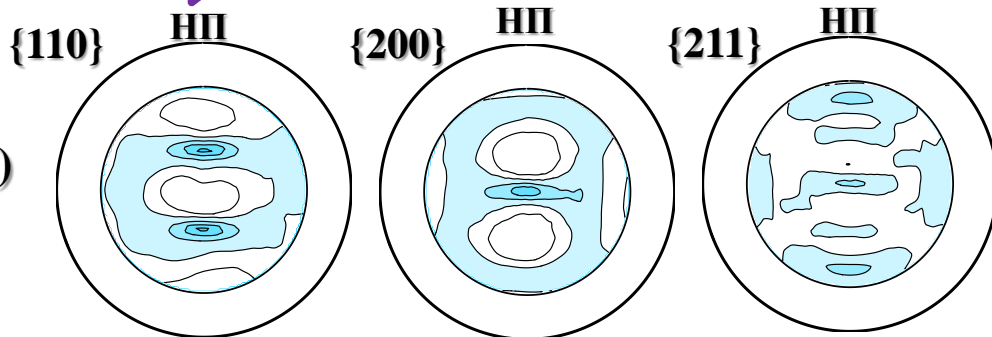
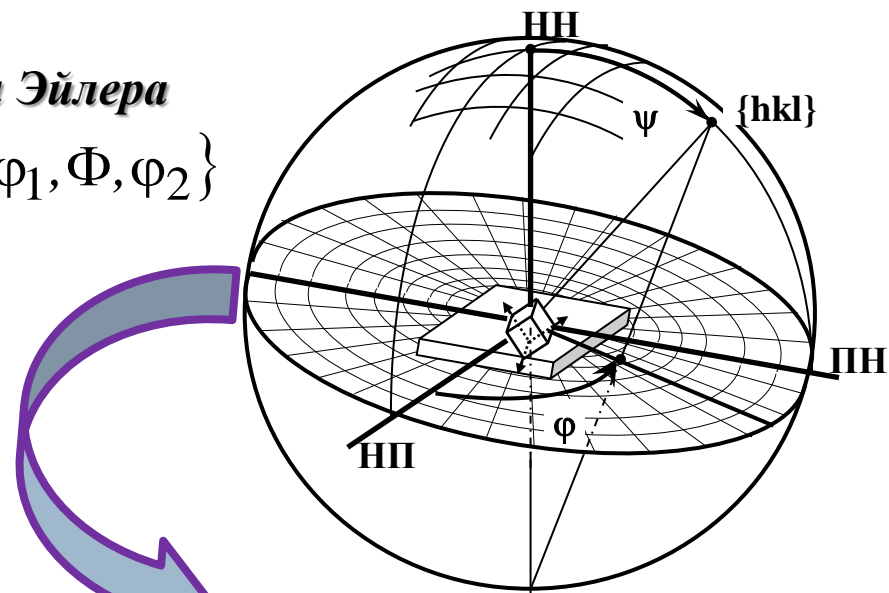
ориентация кристаллитов (g) в поликристалле

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

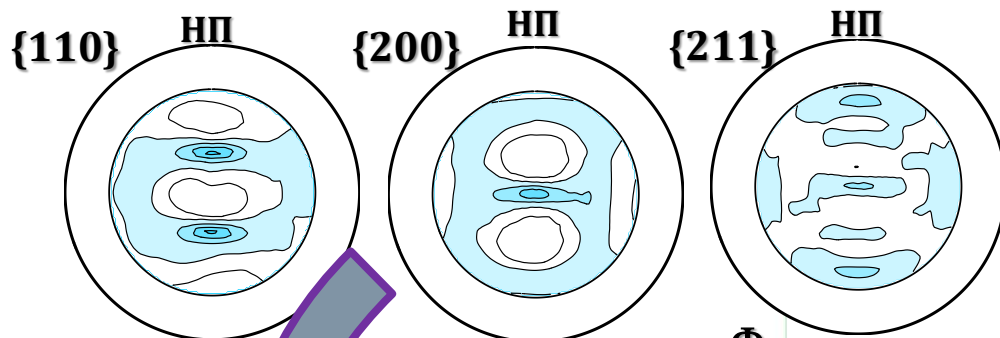
$$\text{ППФ: } P_{hkl}(\psi\varphi) = \frac{1}{2\pi} \int_{(\psi\varphi)} f(g) d\psi$$



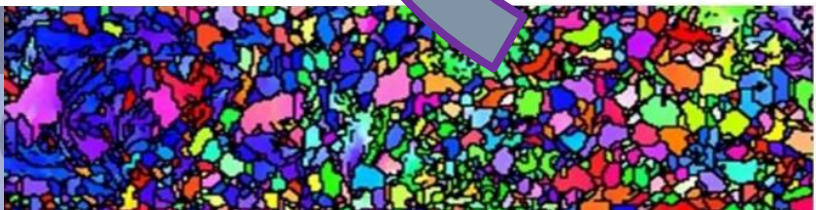
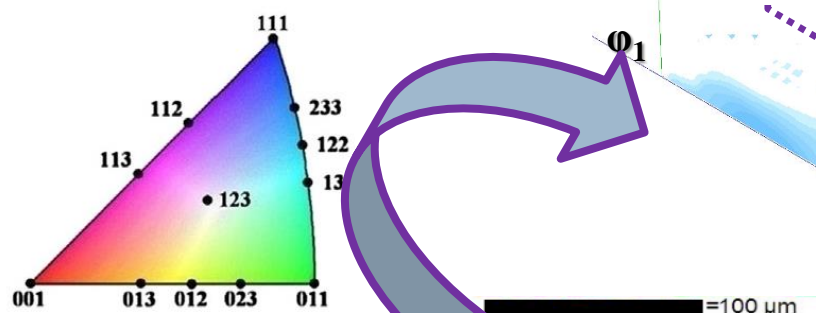
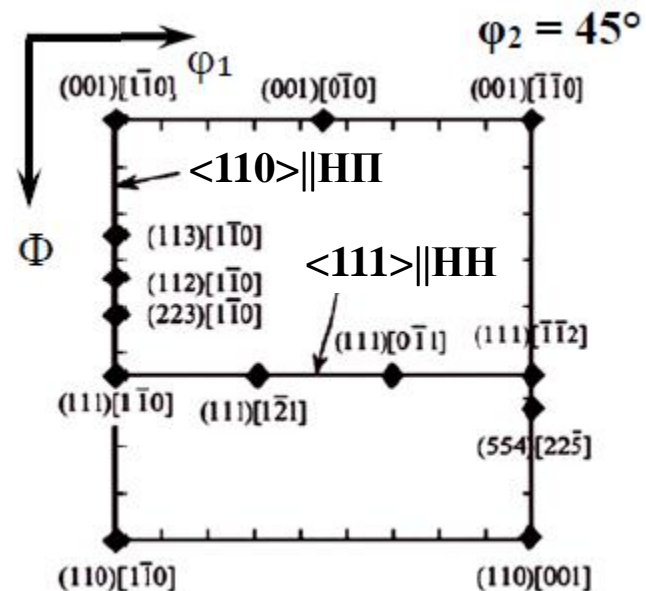
ППФ{hkl} стальной трубы



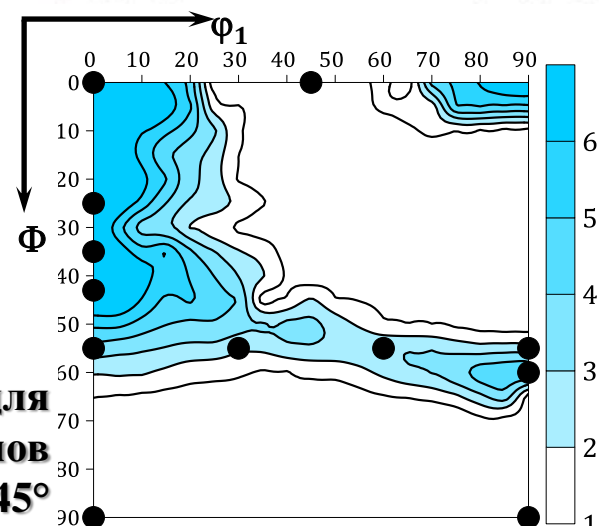
Построение и анализ ФРО кубических металлов



основные идеальные
ориентировки

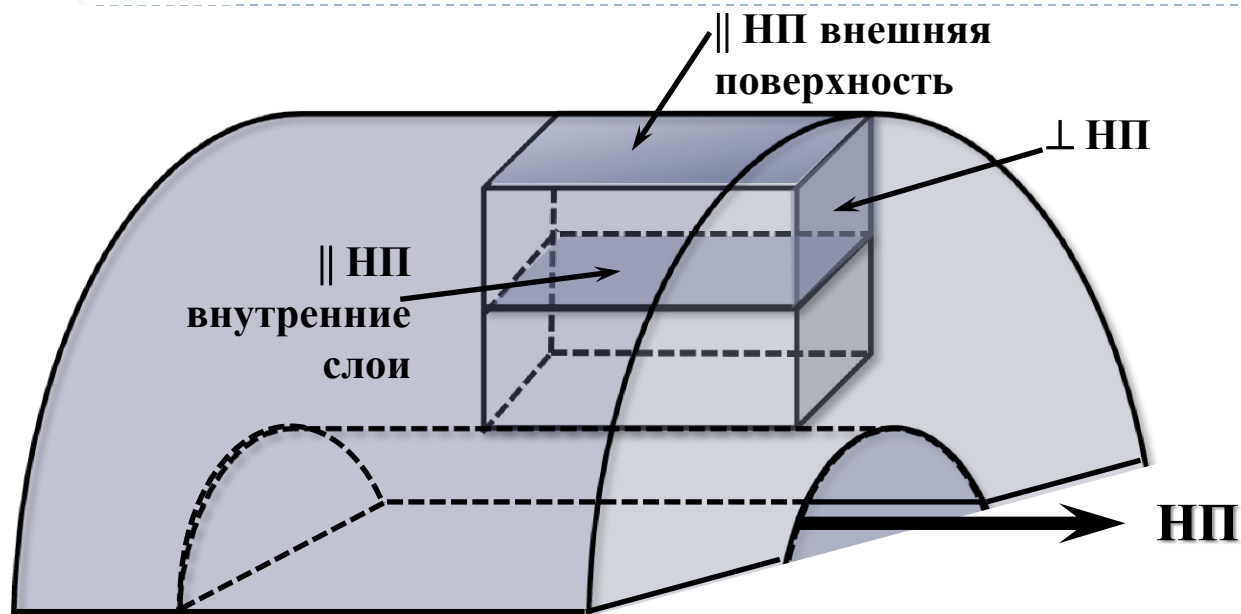


характерное для
кубических металлов
сечение ФРО $\varphi_2 = 45^\circ$

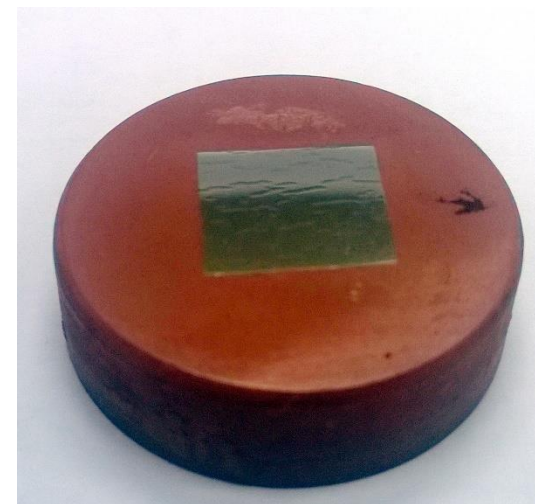




Приготовление образцов труб МГ для исследований



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

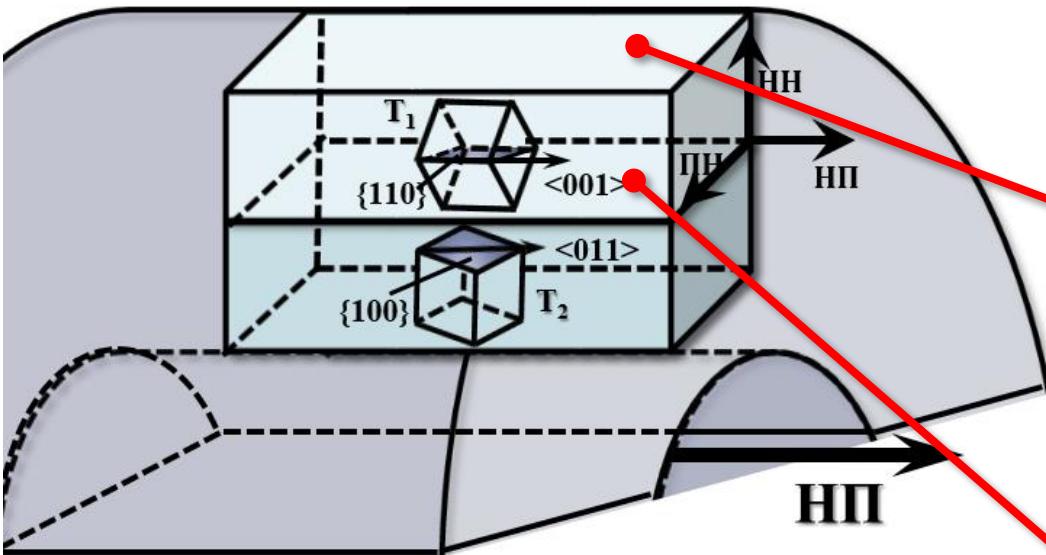
сталь X70

контролируемая прокатка

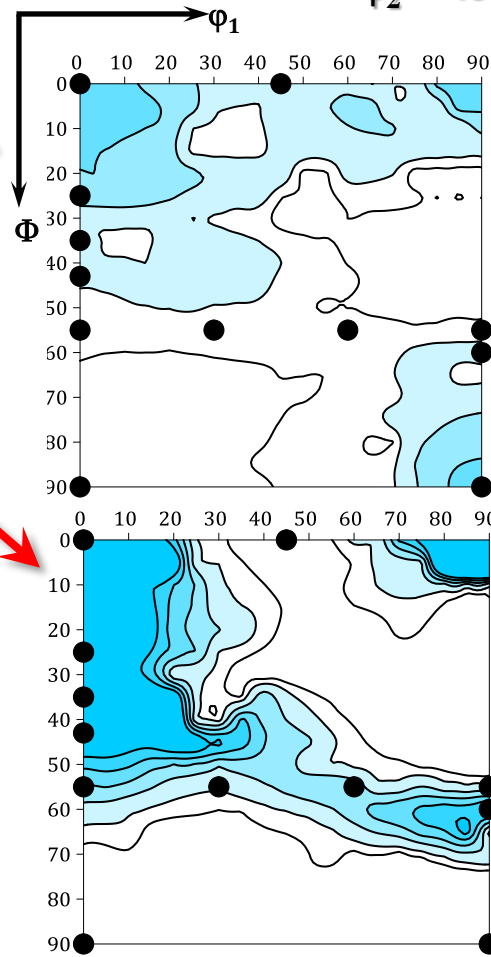
Участок МГ	ТУ/ условия эксплуатации / производитель	$d \times t$ стенки трубы, мм	Средняя/ макс. температура газа, °С	Среднее рабочее давление, МПа	σ_T/σ_L МПа	Глубина трещин КРН (по актам ВТД), мм
1	ТУ 14-3-995-81 около 30 лет Пермский край ХТЗ	1420×16,5	11	5,8	~240/	0.5-2.0
						не обнаружены
2	ТУ 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
 $\phi_2 = 45^\circ$

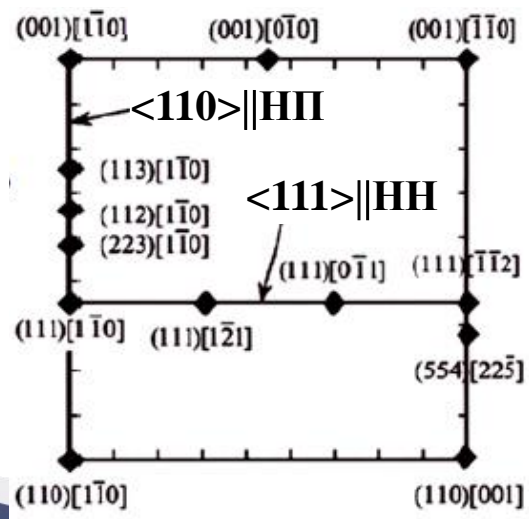


внешняя поверхность || НП

внутренние слои || НП

основные текстурные компоненты

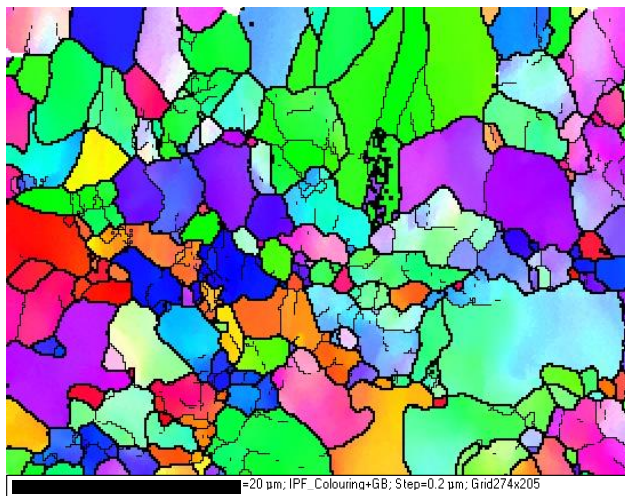
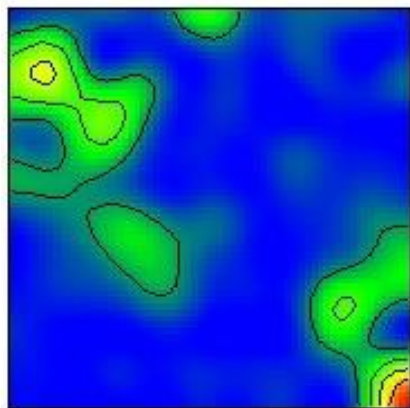
- $\{110\}\langle 001\rangle - T_1$
- $\{001-111\}\langle 110\rangle - T_2$
- $\{111\}\langle 112\rangle - T_3$



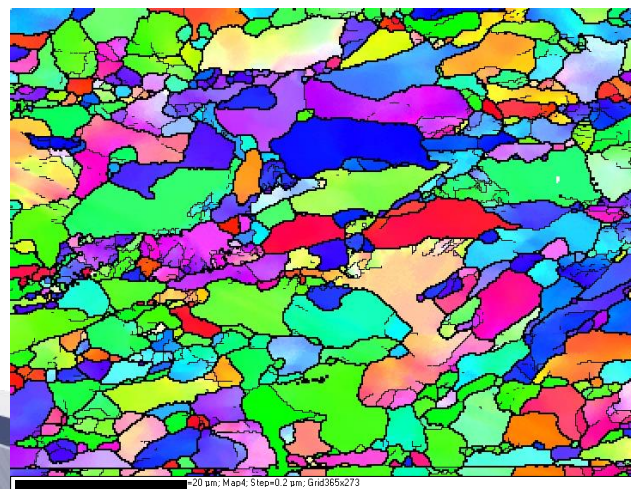
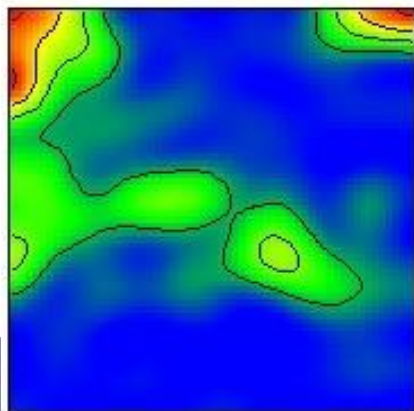


Послойная текстурная неоднородность труб МГ1

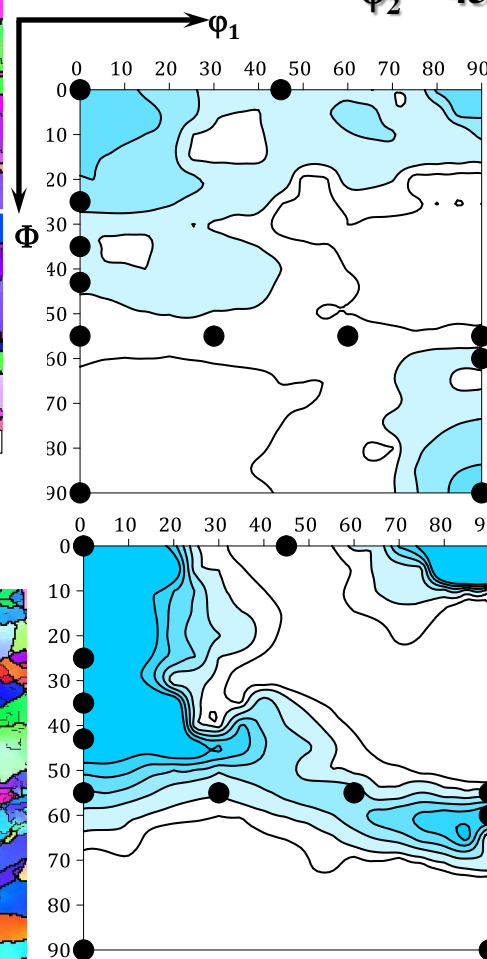
сечение ФРО
 $\varphi_2 = 45^\circ$



EBSD карты



сечение ФРО
 $\varphi_2 = 45^\circ$

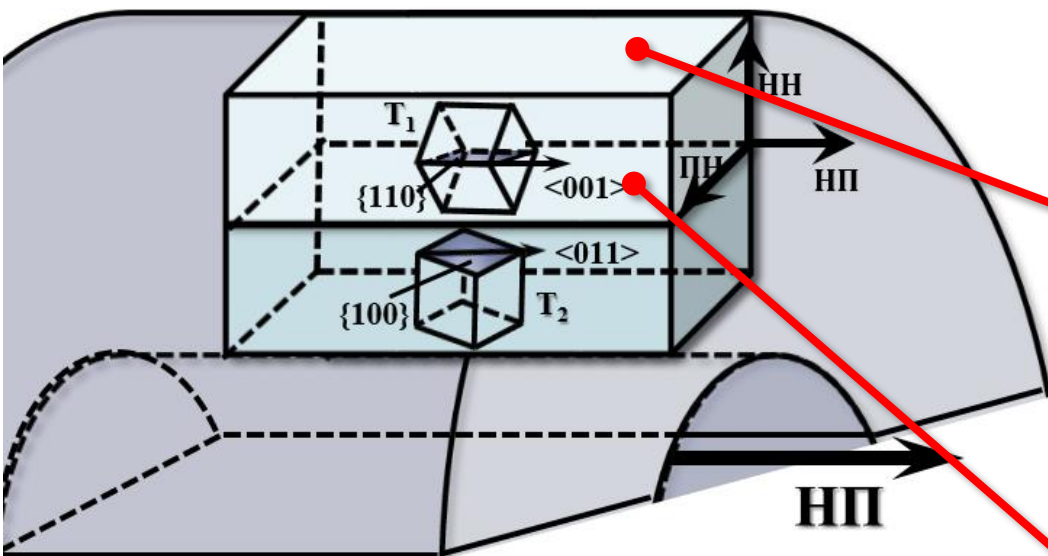


внешняя
поверхность
||НП

внутренние
слои ||НП

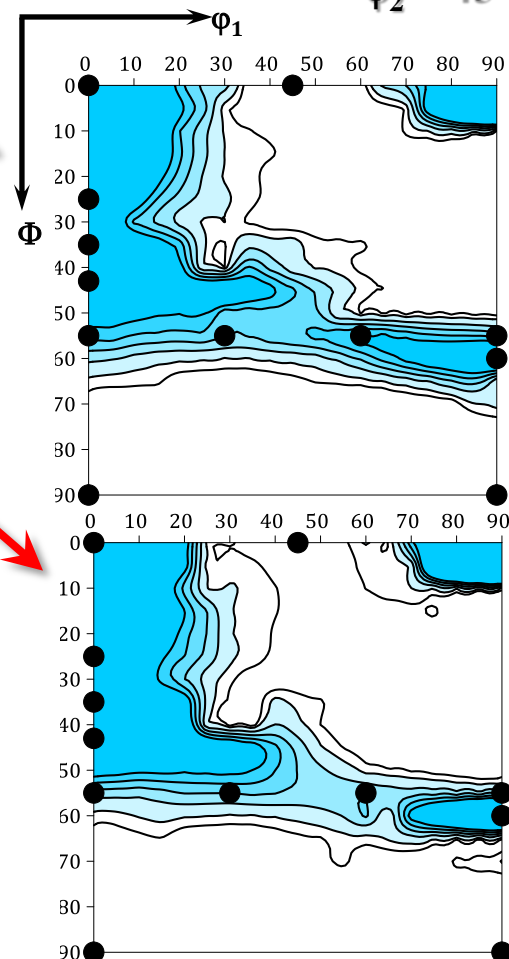


Послойная текстурная неоднородность труб МГ2



сечение ФРО

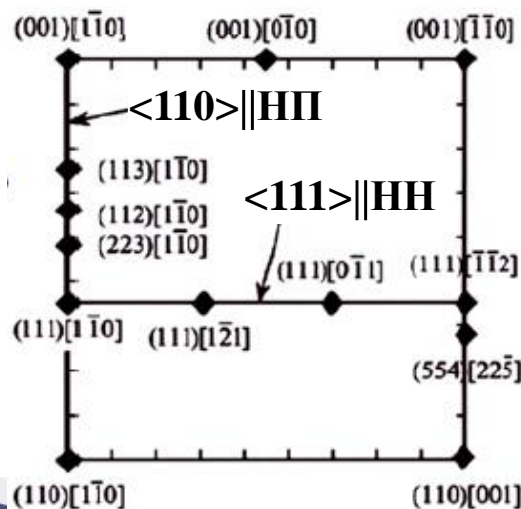
$\phi_2 = 45^\circ$



внешняя
поверхность

внутренние
слои || НП

НП



основные текстурные
компоненты

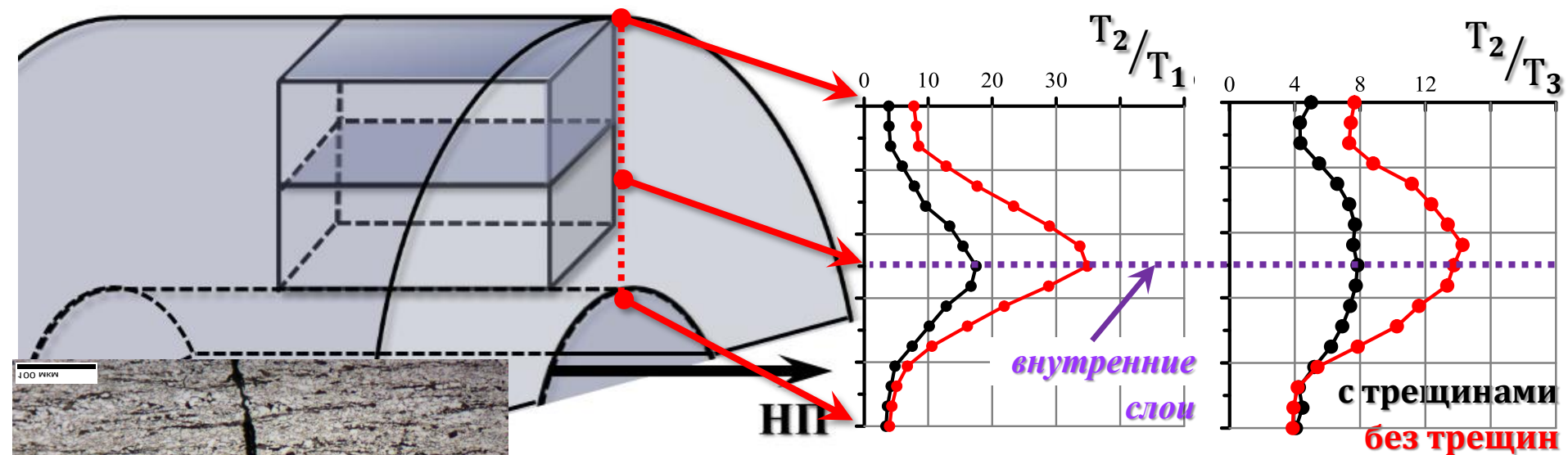
$\{110\}\langle 001\rangle - T_1$

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

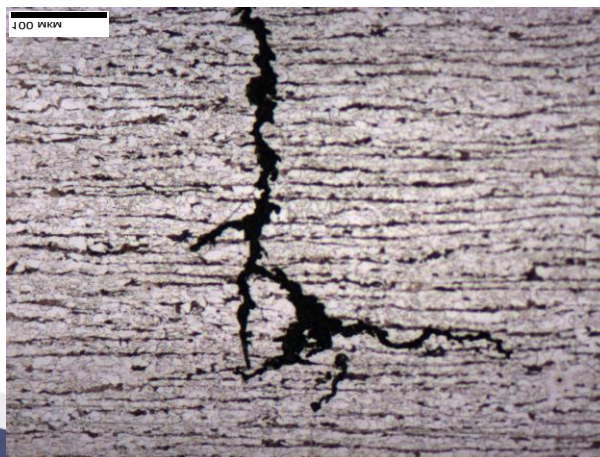
$\{111\}\langle 112\rangle - T_3$



Послойная текстурная неоднородность труб МГ1

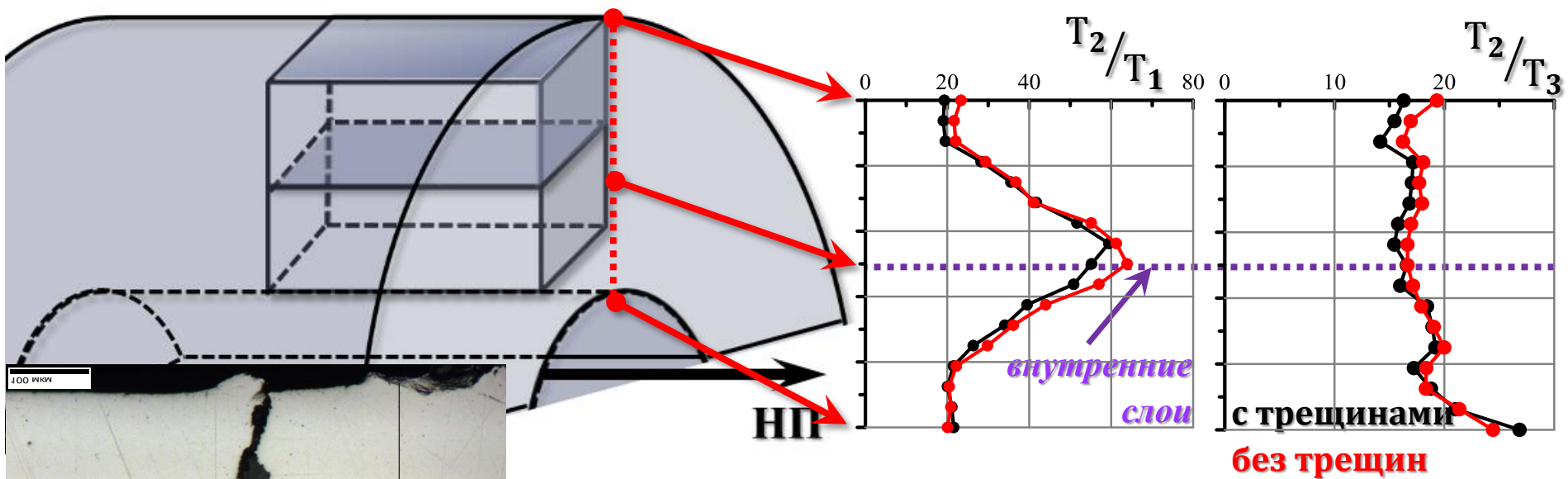


распределение соотношений
основных текстурных
компонент по толщине
стенки трубы

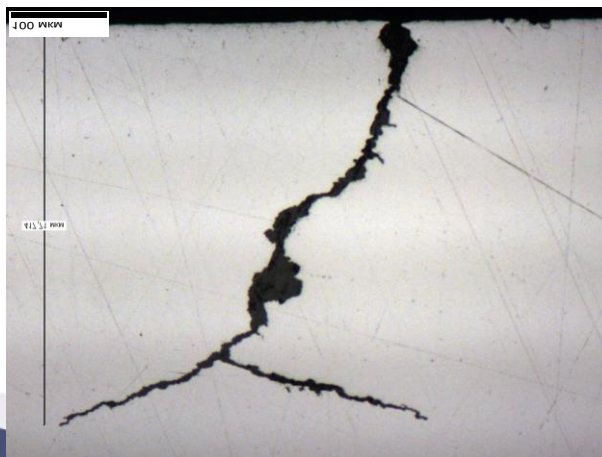
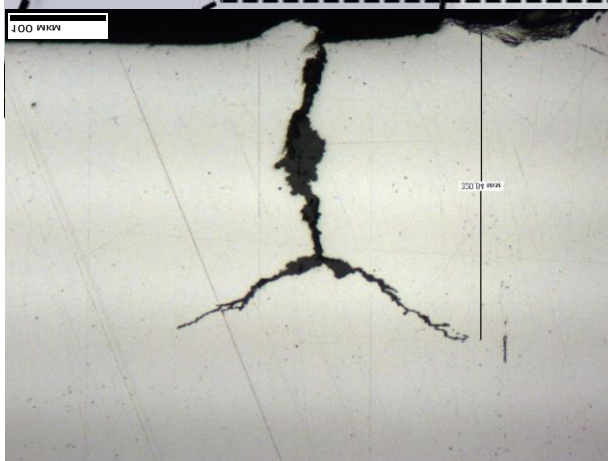




Послойная текстурная неоднородность труб МГ2

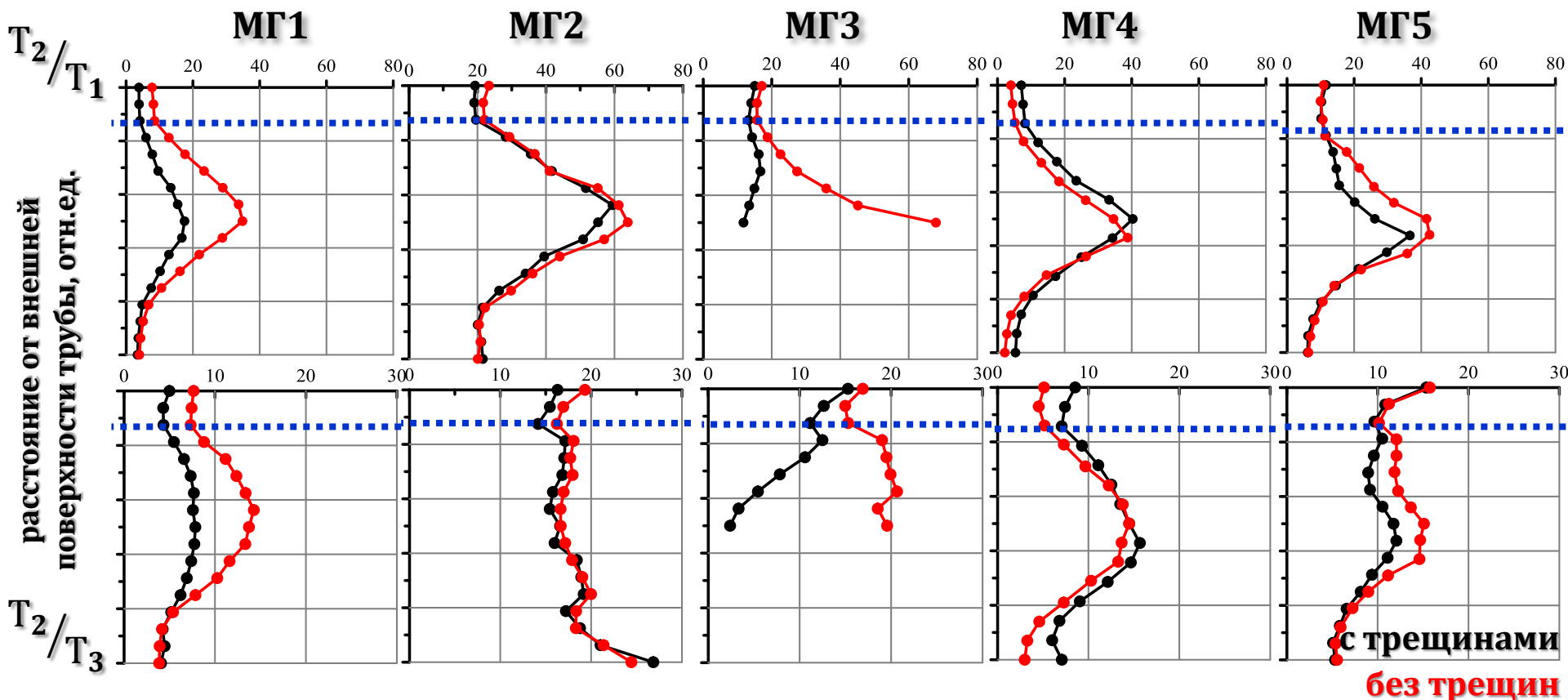


распределение соотношений
 основных текстурных
 компонент по толщине
 стенки трубы





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

