



СТАБИЛИЗАЦИЯ ТРЕЩИН КРН ЗА СЧЕТ ПОСЛОЙНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ И ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛЬНЫХ ТРУБАХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

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

И.В. Ряховских
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»





Цель работы:

разработка рекомендаций по учету количественных характеристик кристаллографической текстуры и остаточных напряжений в расчетно-экспериментальной модели коррозионного растрескивания под напряжением

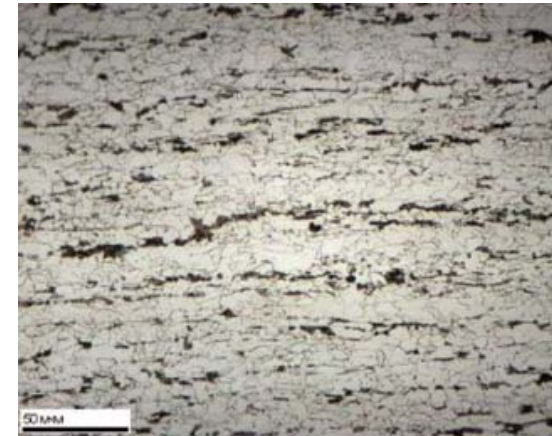
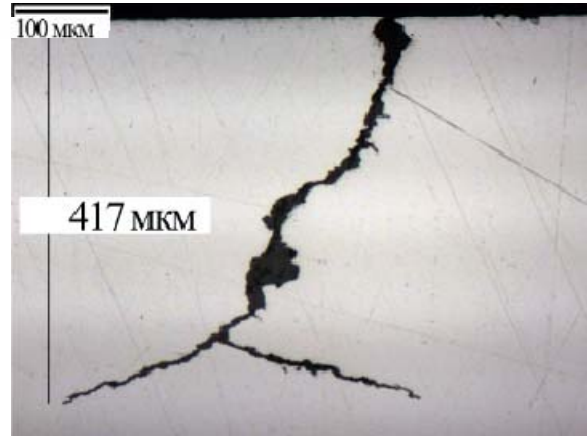
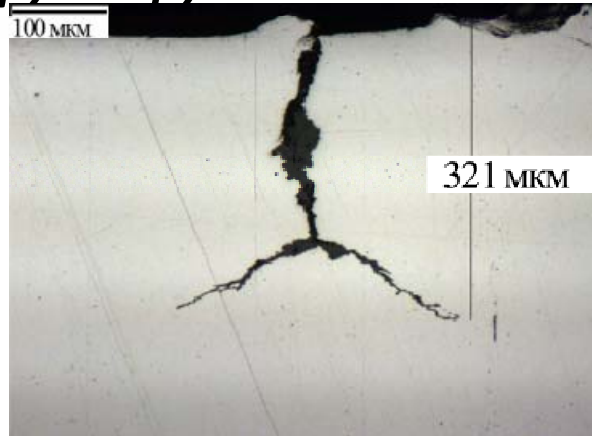




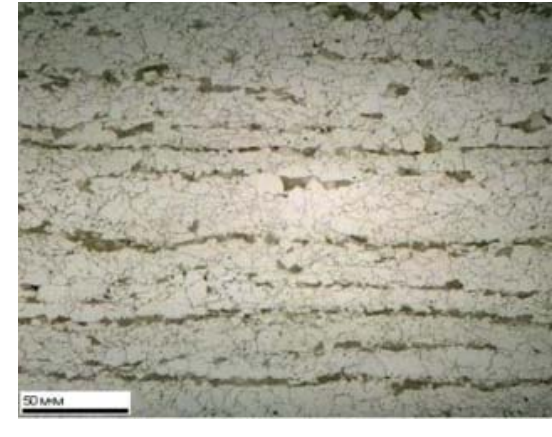
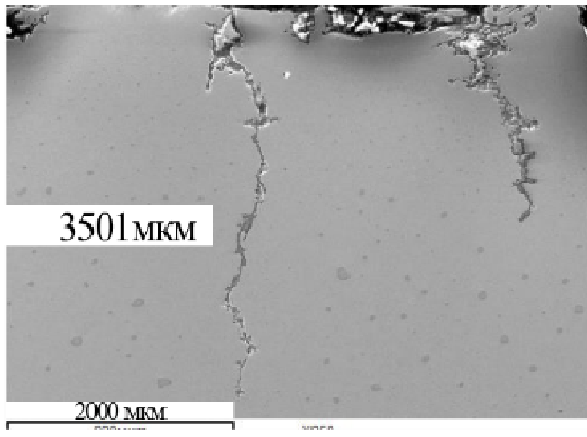
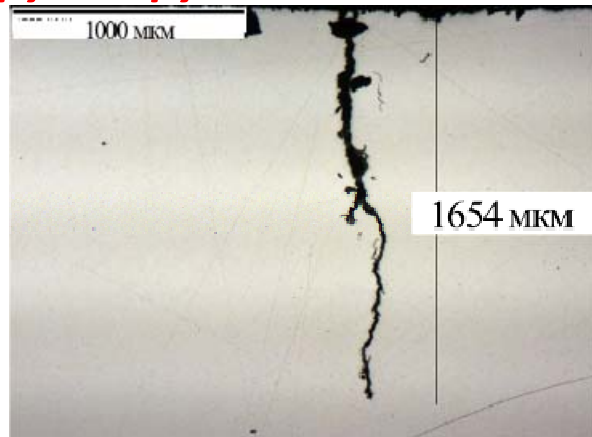
Характер распространения трещин в различных трубах

3

Трубы группы А



Трубы группы В





Формирование послойной текстурной неоднородности в трубах МГ

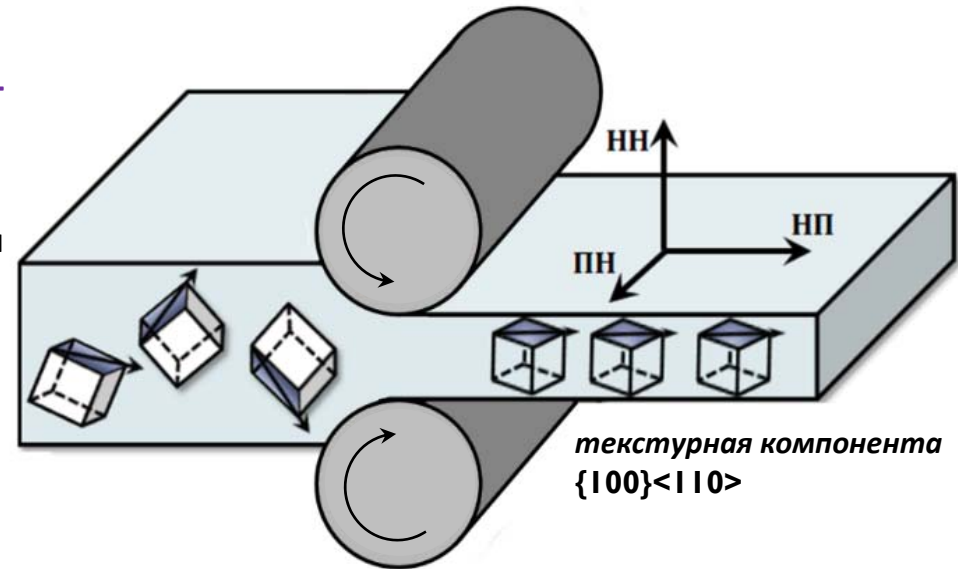
4

Горячая прокатка стальных листов включает следующие механизмы развития текстуры:

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

Причины послойной текстурной неоднородности при горячей прокатке:

- неоднородность деформации по толщине листа
- градиент температуры по толщине листа
- насыщение поверхностного слоя примесями внедрения из атмосферы
- последующая термообработка
- динамическая рекристаллизация аустенита или феррита в различных слоях



кристаллографическая текстура – преимущественная ориентация зёрен (кристаллитов) поликристаллических материалов

текстурная компонента – группа кристаллитов с одинаковой ориентировкой

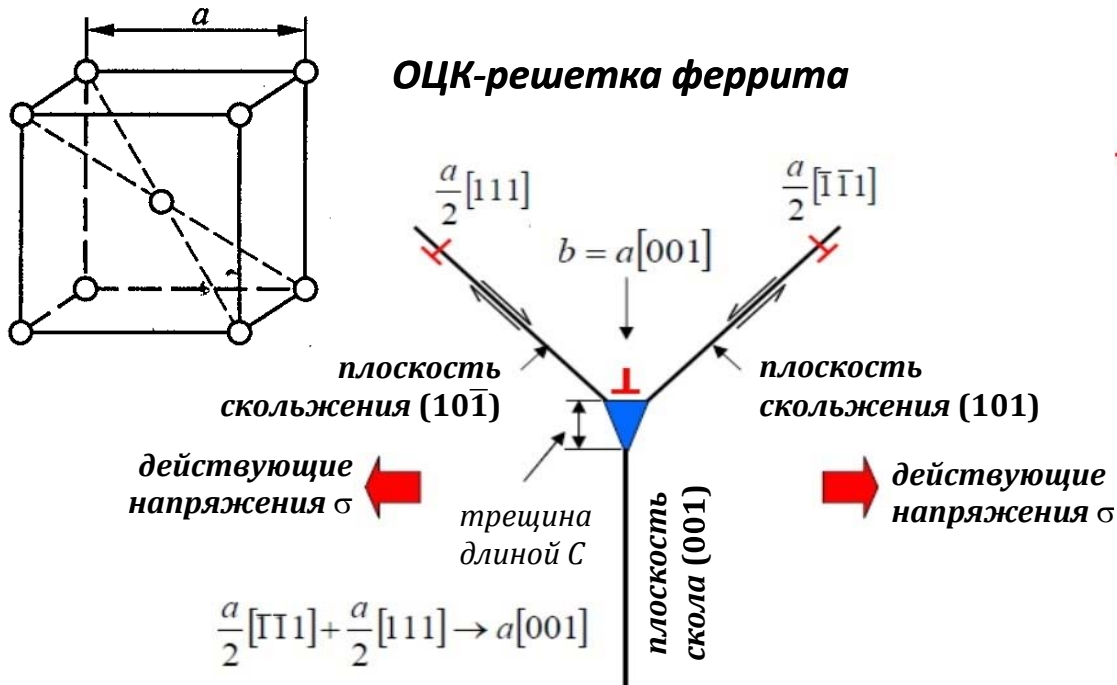
функция распределения зёрен по ориентациям (ФРО или $f(g)$)
– объемная доля кристаллитов определенной ориентации в поликристалле:

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

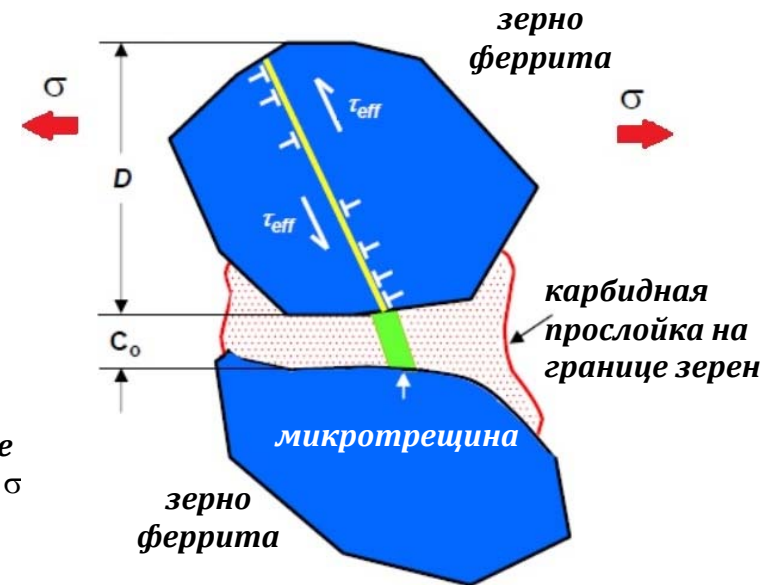


Распространение трещин в стальных трубах

5



распространение **транскристаллитной** трещины по модели Коттрелла



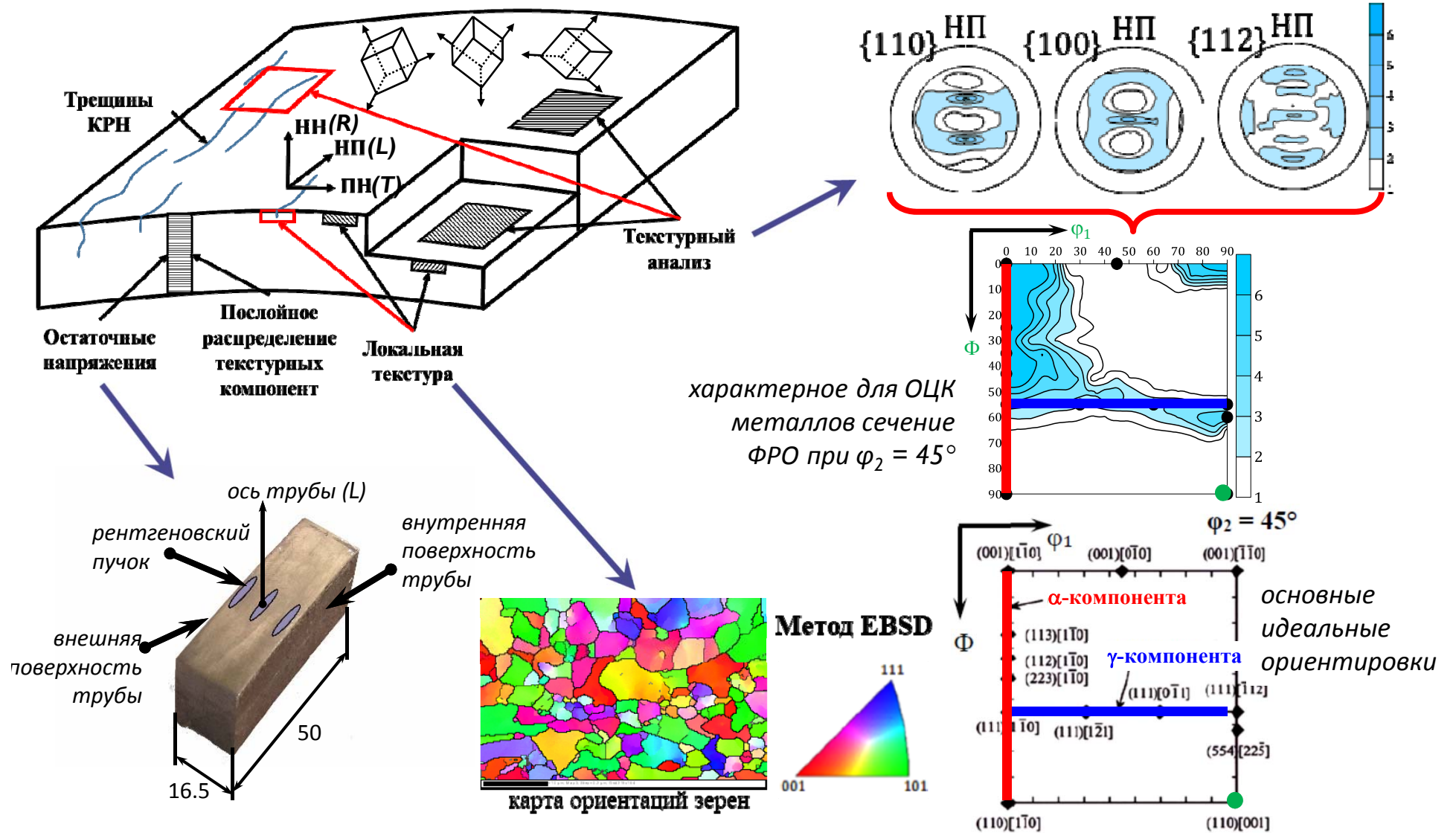
развитие **интеркристаллитной** трещины по модели Смита

Механизмы развития/стабилизации трещин КРН:

- транскристаллитным трещинам препятствует резкая переориентация зерен на их пути – КРН-трещины при этом замедляют свой рост.
- движение интеркристаллитных трещин активизируется при усилении взаимной разориентации зерен в области распространения трещин

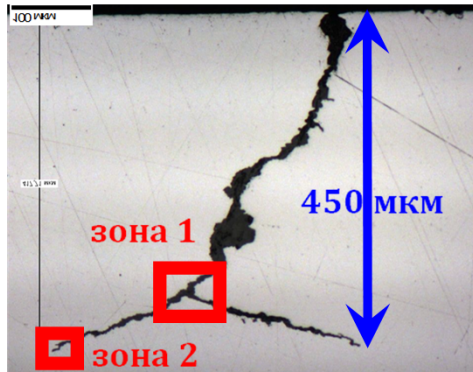


Образцы и методы исследования

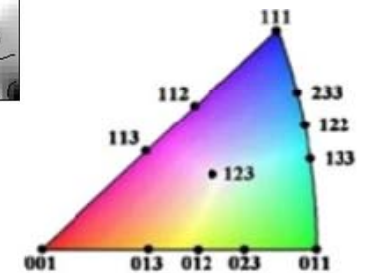
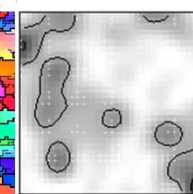
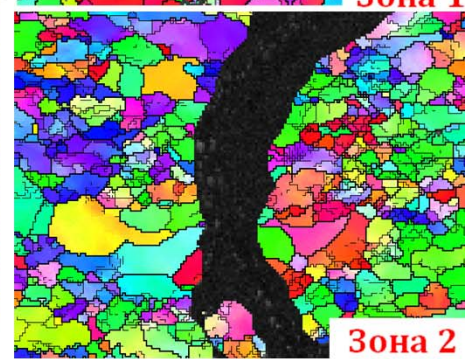
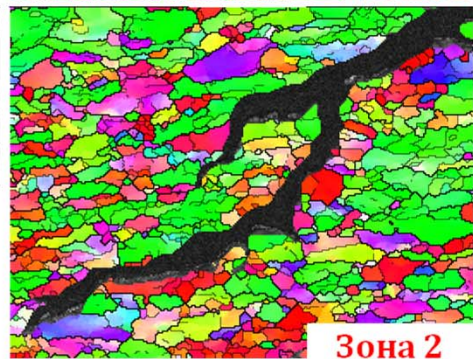
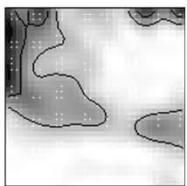
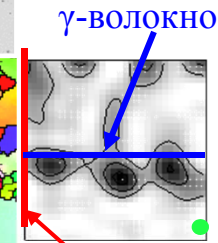
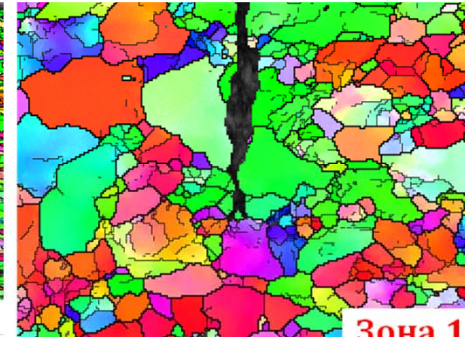
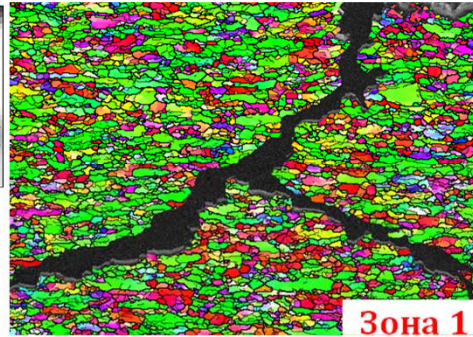
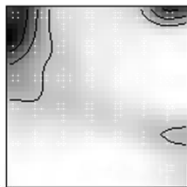
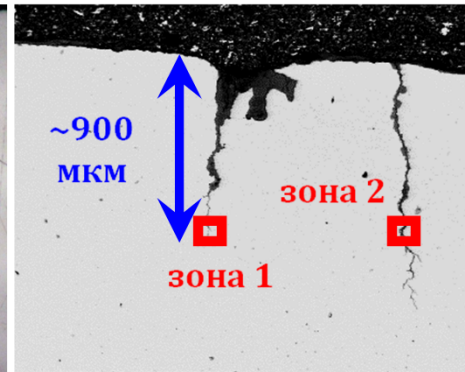


Анализ локальных текстур вблизи трещин

Группа А



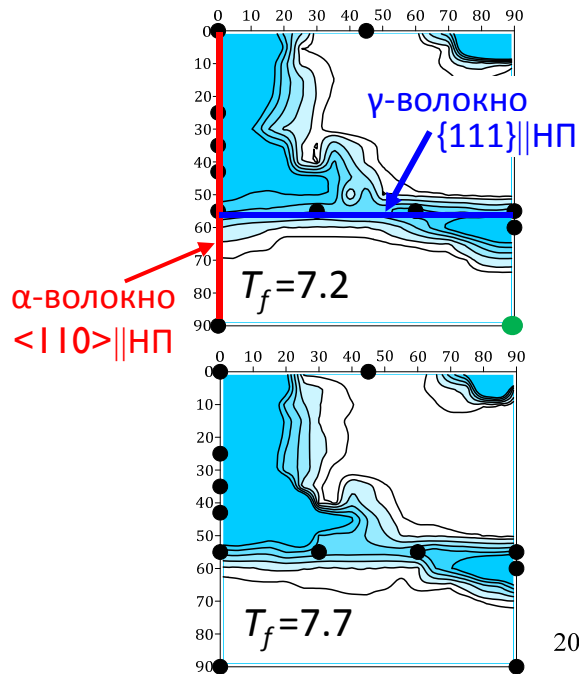
Группа В





Различие характера послойной текстурной неоднородности труб МГ ⁸

внешние слои труб **Группа А**

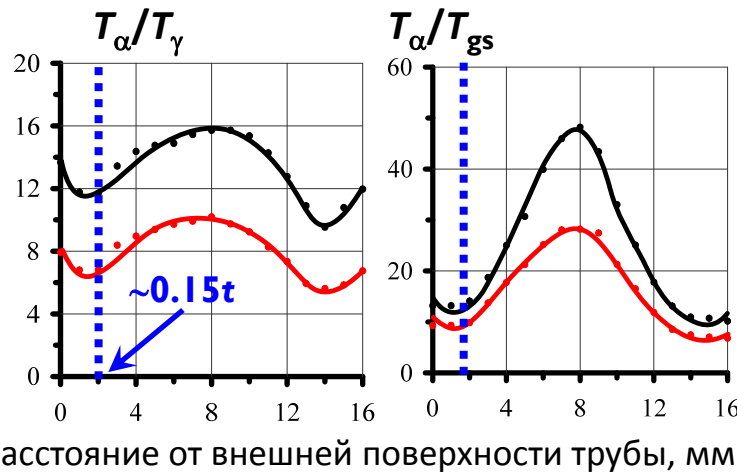
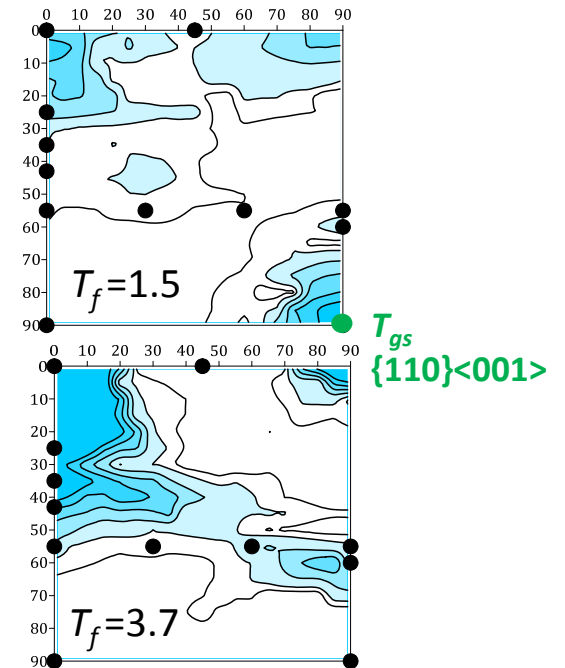


средние слои труб

Количественные параметры текстуры:

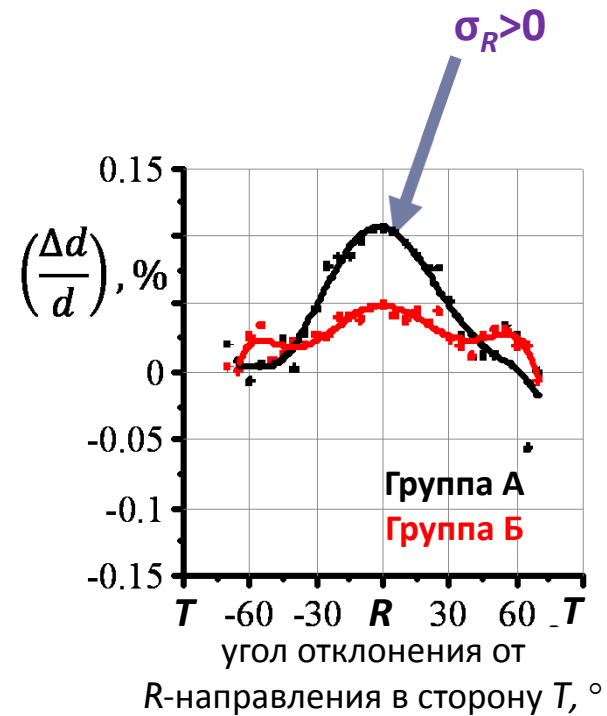
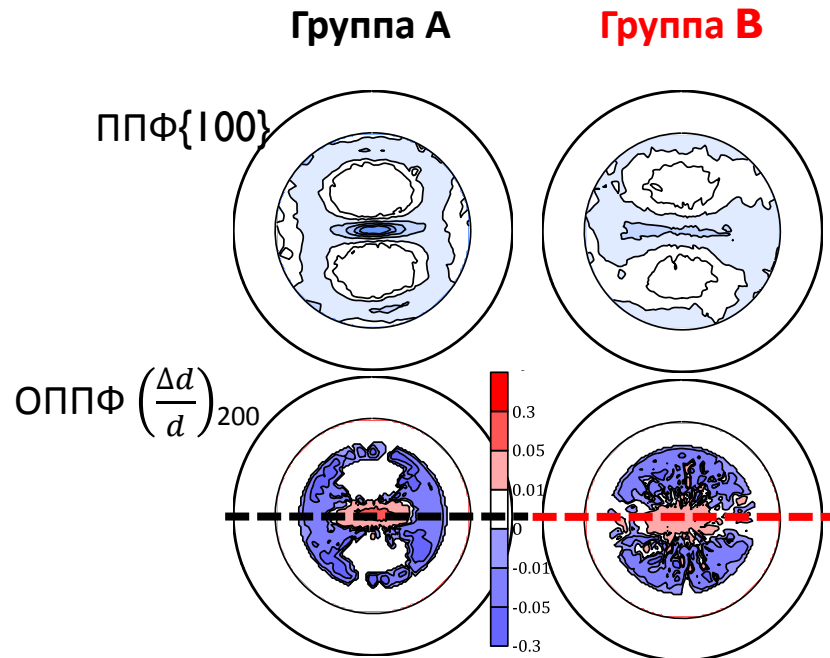
- степень «остроты» текстуры $T_f = \oint f(g)^2 dg$
- соотношения объемных долей текстурных компонент T_α/T_γ и T_α/T_{gs}

Группа Б



группа А
группа В





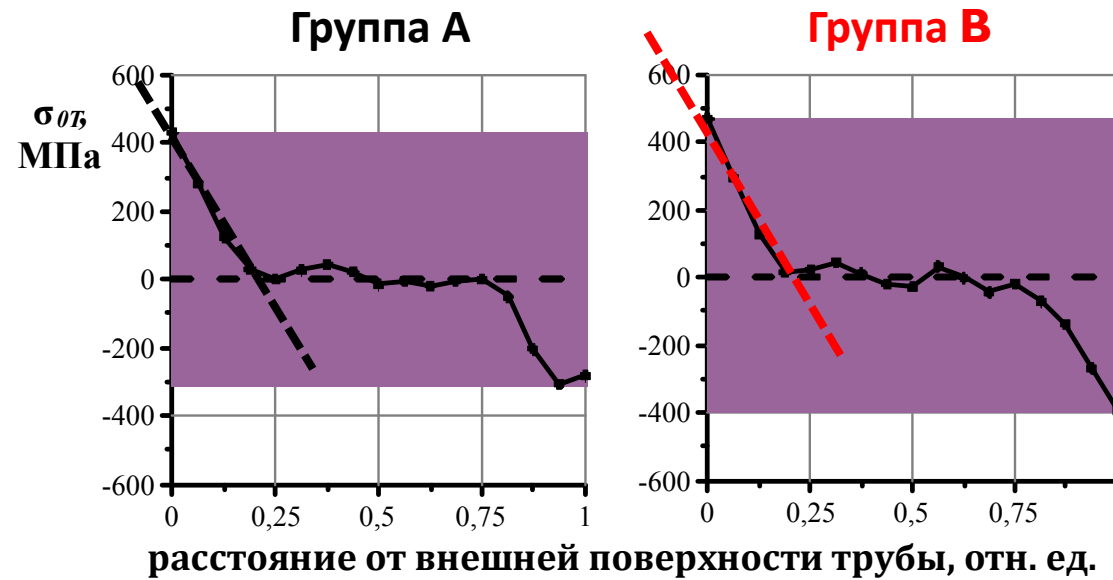
Наличие **радиальных** микронапряжений способствует переориентации трещин и их отклонению от перпендикулярного поверхности трубы распространения



Остаточные тангенциальные макронапряжения

10

Кольцевые (тангенциальные) напряжения, вызванные давлением газа + Остаточные напряжения = Общее напряженное состояние



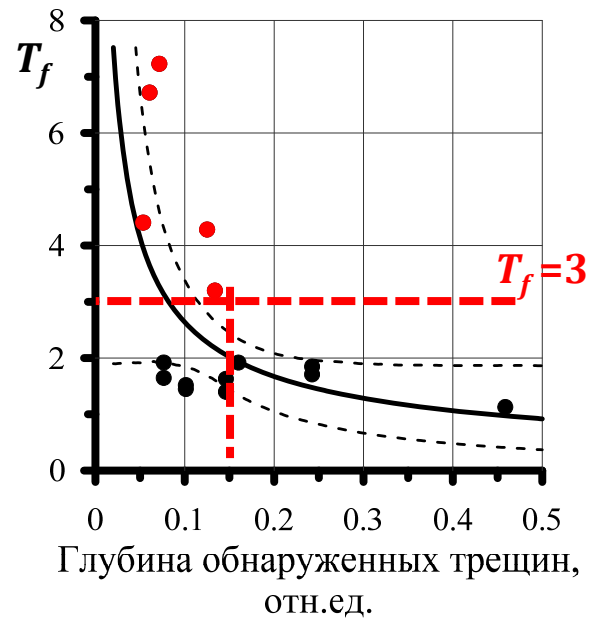
$$\sigma = \sigma_{0T}(1 + k \cdot t)$$





Рекомендации по учету количественных характеристик текстуры и остаточных напряжений

Учет кристаллографической текстуры

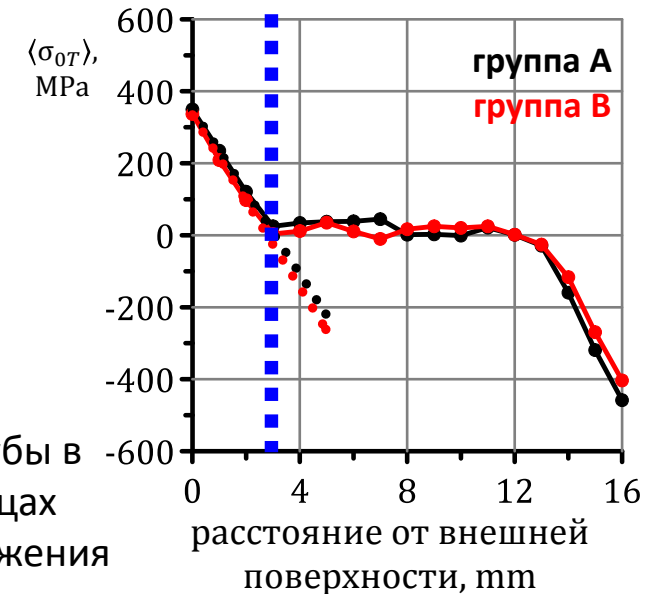


Учет остаточных тангенциальных напряжений

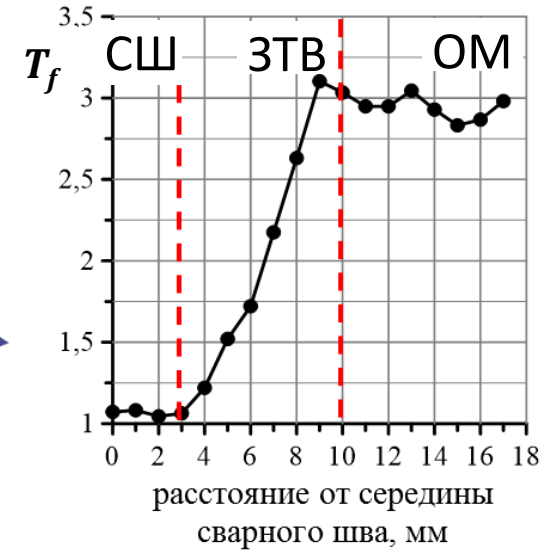
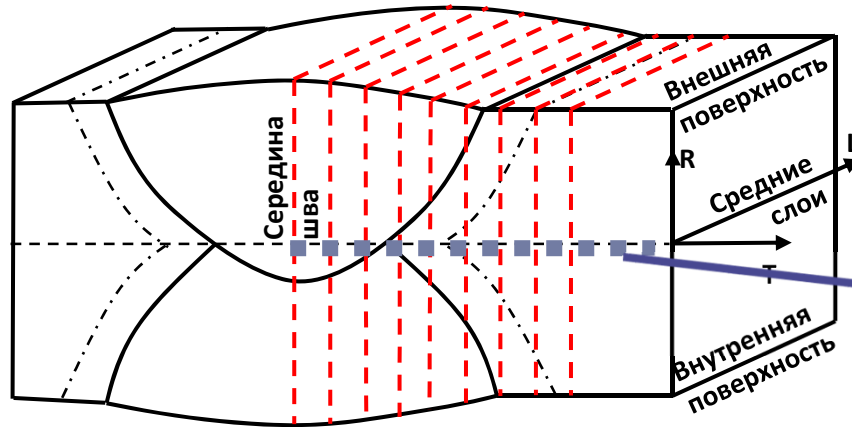
$$\sigma_0 = -109 \cdot t + 342$$

$$\sigma_0 = -111 \cdot t + 328$$

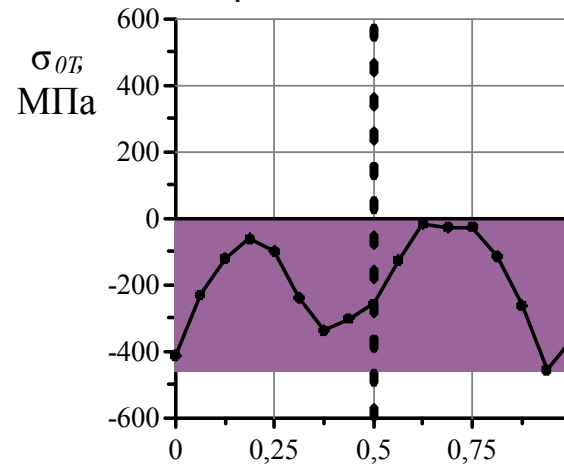
t - толщина стенки трубы в относительных единицах
 σ - суммарные напряжения
 σ_3 - напряжения, создаваемые давлением газа
 σ_0 - напряжения на поверхности



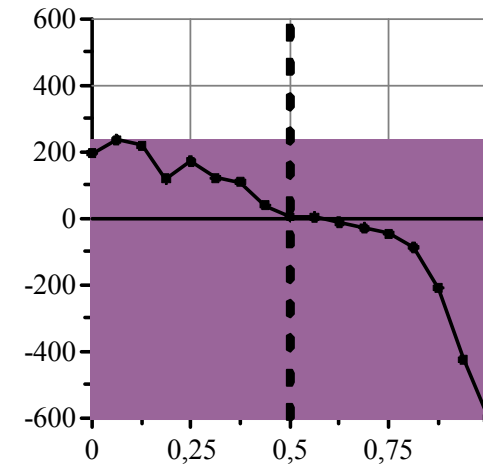
Исследование сварных швов



Зона термического влияния



Основной металл



расстояние от внешней поверхности трубы, отн. ед.



Заключение

- Выявлена значительная послойная текстурная неоднородность труб магистральных газопроводов, изготовленных различными производителями. Показано, что текстурная неоднородность труб различна в зависимости от режимов прокатки при одной технологии их изготовления.
- Установлено, что более высокая степень «остроты» текстуры повышает стойкость материала труб к КРН, выработан критерий классификации труб по остроте текстуры во внешних слоях: параметр остроты $T_f > 3$ (группа А) и $T_f < 3$ (группа Б).
- Предложены механизмы торможения КРН-трещин в зависимости от текстурной неоднородности материала труб МГ: в трубах группы А при достижении транскристаллитными КРН-трещинами, движущимися по определенным кристаллографическим плоскостям, границы между слоями с разными текстурами и, следовательно, с разными ориентациями зерен, изменение плоскости распространения требует дополнительных напряжений. Кроме того наличие растягивающих радиальных микронапряжений способствует ветвлению трещин и отклонению от развития перпендикулярно внешней поверхности трубы



Заключение

- В трубах группы В взаимная разориентация зерен, относящихся к разным текстурным компонентам, существенно выше, что, наряду с повышенным рассеянием текстуры, свидетельствует о преобладании там интеркристаллитных КРН-трещин, которые распространяются при меньших напряжениях, чем транскристаллитные и поэтому оказываются более глубокими.
- Толщина слоя торможения трещин КРН определяется совместным действием двух факторов – во-первых, ослаблением тангенциальных растягивающих макронапряжений по мере удаления рассматриваемого слоя от внешней поверхности трубы, и во-вторых, наличием в пределах этого слоя послойной текстурной неоднородности
- Существенные различия в текстуре труб групп А и В, выражающиеся в большей степени текстурной неоднородности первых, приводят к увеличению их стойкости против КРН за счёт ветвления трещин на начальных стадиях роста. При значениях текстурного параметра T_f выше 3 большинство трещин с высокой степенью вероятности не развивается глубже 15% от толщины стенки трубы.



Благодарю за внимание!

olgakrym@inbox.ru

isamarg@inbox.ru

