



VI МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАР

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ
ГАЗОПРОВОДОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ
КОРРОЗИОННОМУ РАСТРЕСКИВАНИЮ
ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

17–21 октября 2022 г.
г. Кисловодск





НЕОДНОРОДНОСТЬ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ И ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ТОЛЩИНЕ СТЕНКИ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ ИЗ СТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ КАТЕГОРИЙ ПРОЧНОСТИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА СКЛОННОСТЬ К КРН

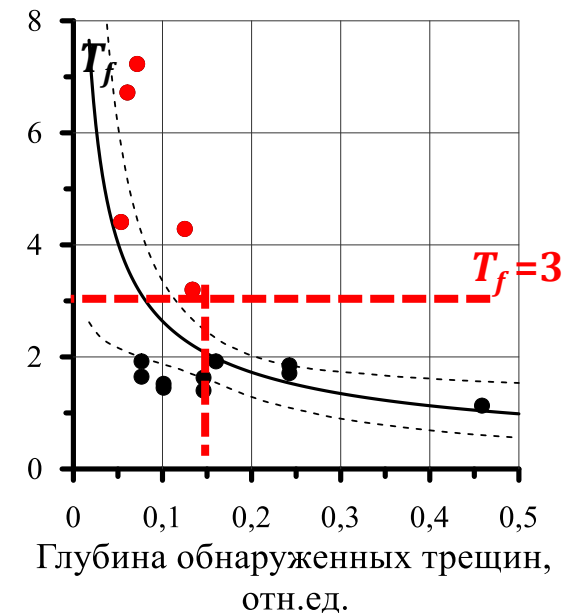
О.А.Крымская, М.Г.Исаенкова, Р.А.Минушкин, Джумаев П.С.
НИЯУ МИФИ





Цель работы:

обобщение данных по неоднородности кристаллографической текстуры и остаточных напряжений в трубах из сталей категории прочности X70 различной номенклатуры, а также сравнение параметров с трубами X80



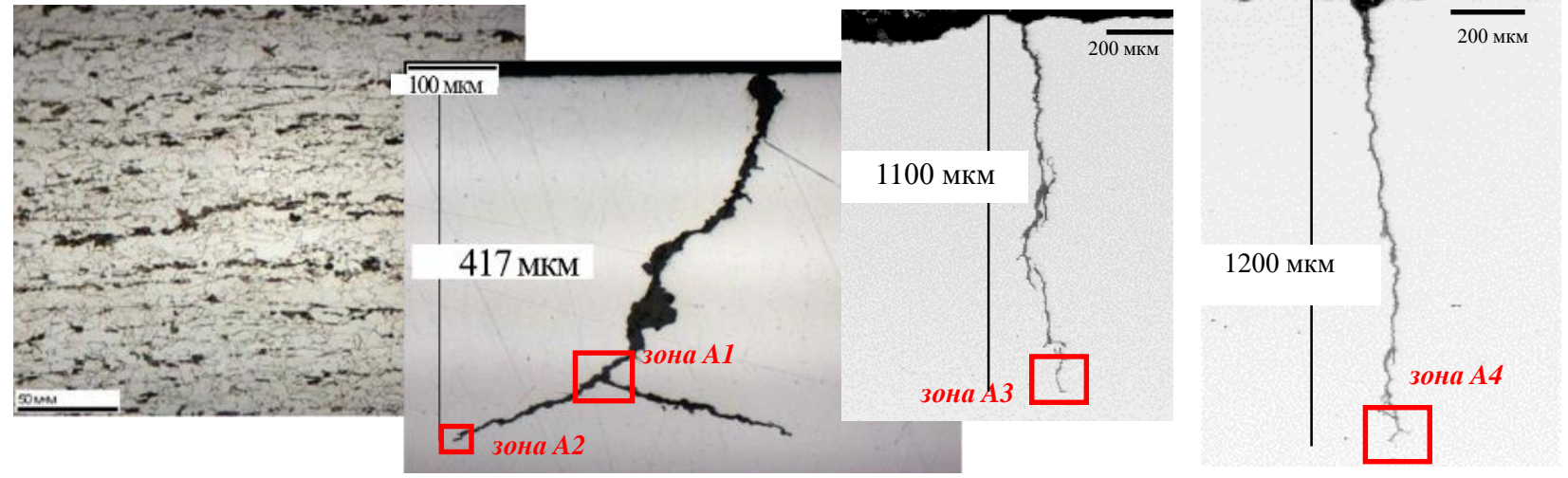
1. Perlovich Yu. A., Ryakhovskikh I. V., Isaenkova M. G., Krymskaya O. A., Morozov N. S., Dzhumaev P. S. // KnE Materials Science, 2018. – pp.179–186. DOI 10.18502/kms.v4i1.214.

2. Крымская О.А., Исаенкова М.Г., Морозов Н.С., Минушкин Р.А., Джумаев П.С. // НТС Вести газовой науки, 2022. – № 1 (49). – с. 31-46.
и др.

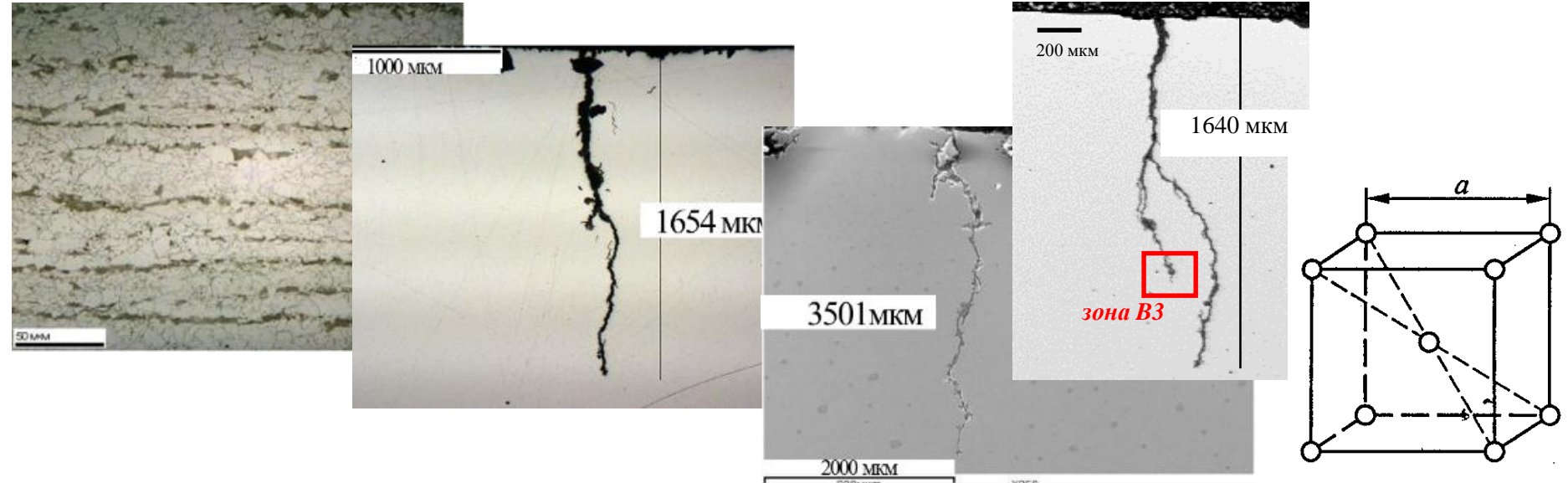


Характер распространения трещин в различных трубах

Трубы группы А

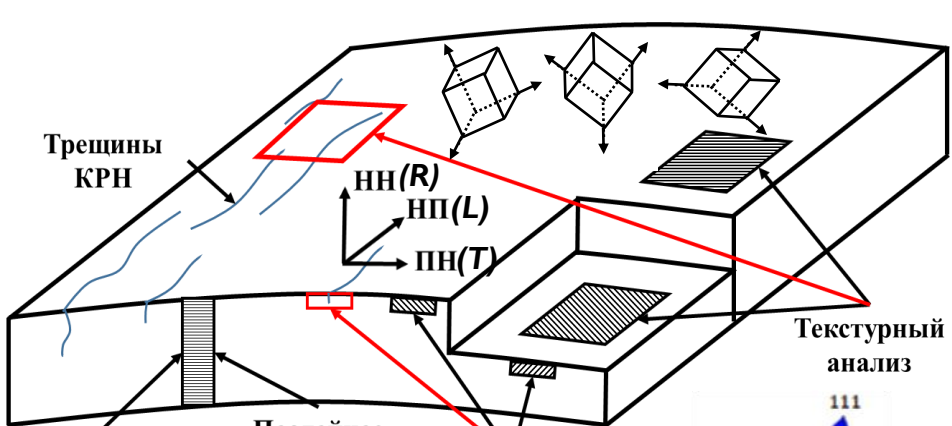


Трубы группы В

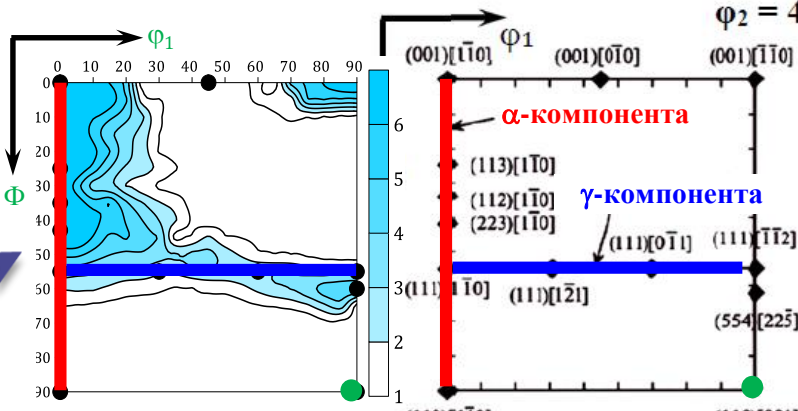
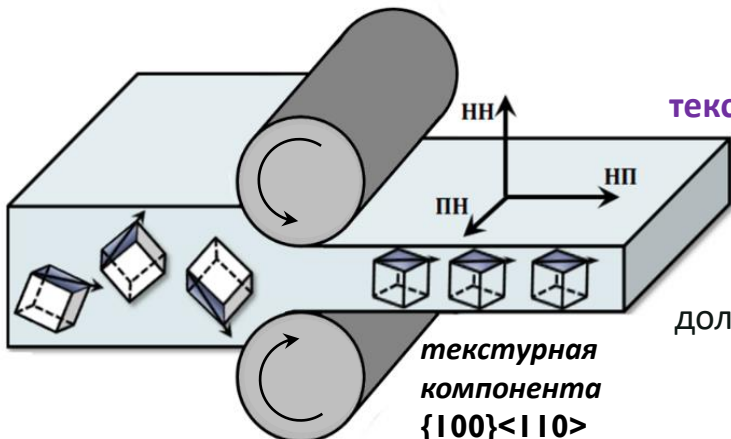
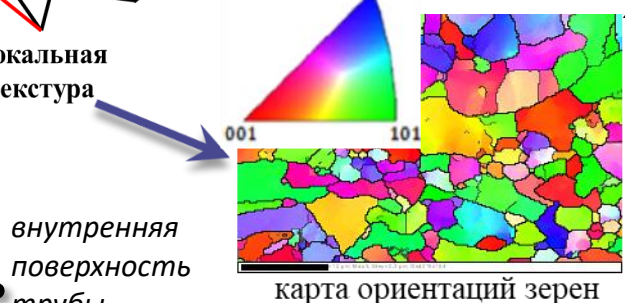
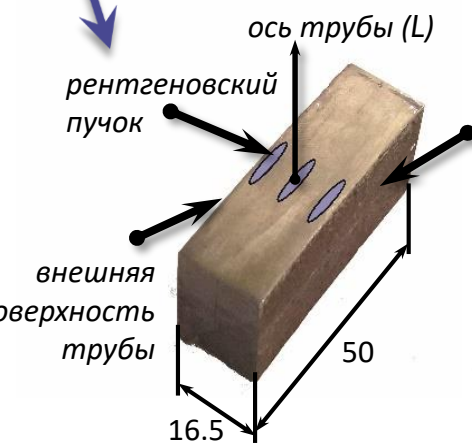




Образцы и методы исследования



Остаточные напряжения
Послойное распределение текстурных компонент
Локальная текстура



характерное для ОЦК металлов сечение ФРО при $\phi_2 = 45^\circ$

основные идеальные ориентировки

кристаллографическая текстура – преимущественная ориентация зёрен (кристаллитов) поликристаллических материалов

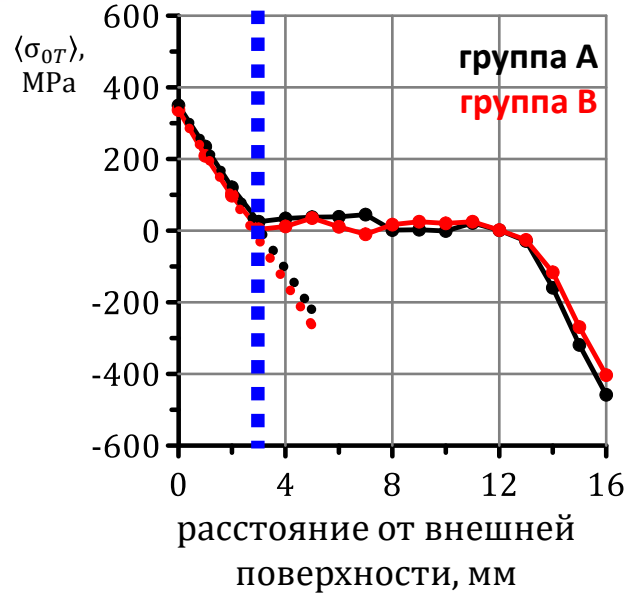
текстурная компонента – группа кристаллитов с одинаковой ориентировкой

функция распределения зёрен по ориентациям (ФРО или $f(g)$) – объемная доля кристаллитов определенной ориентации в поликристалле: $f(g)dg = \frac{dV}{V}$



Остаточные тангенциальные макронапряжения

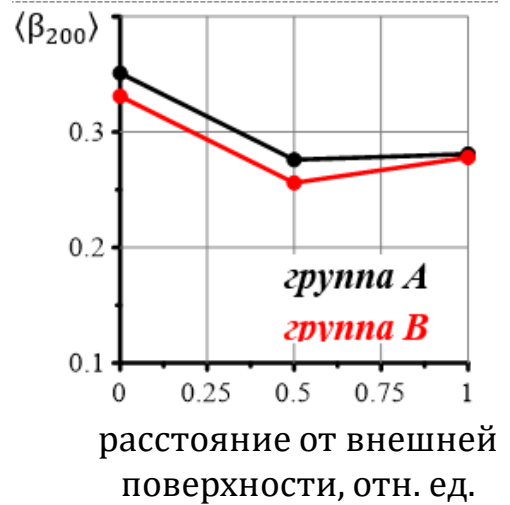
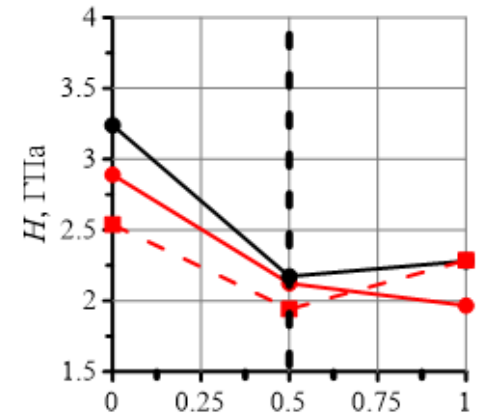
Окружные (тангенциальные) напряжения, вызванные давлением газа + Остаточные напряжения = Общее напряженное состояние



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

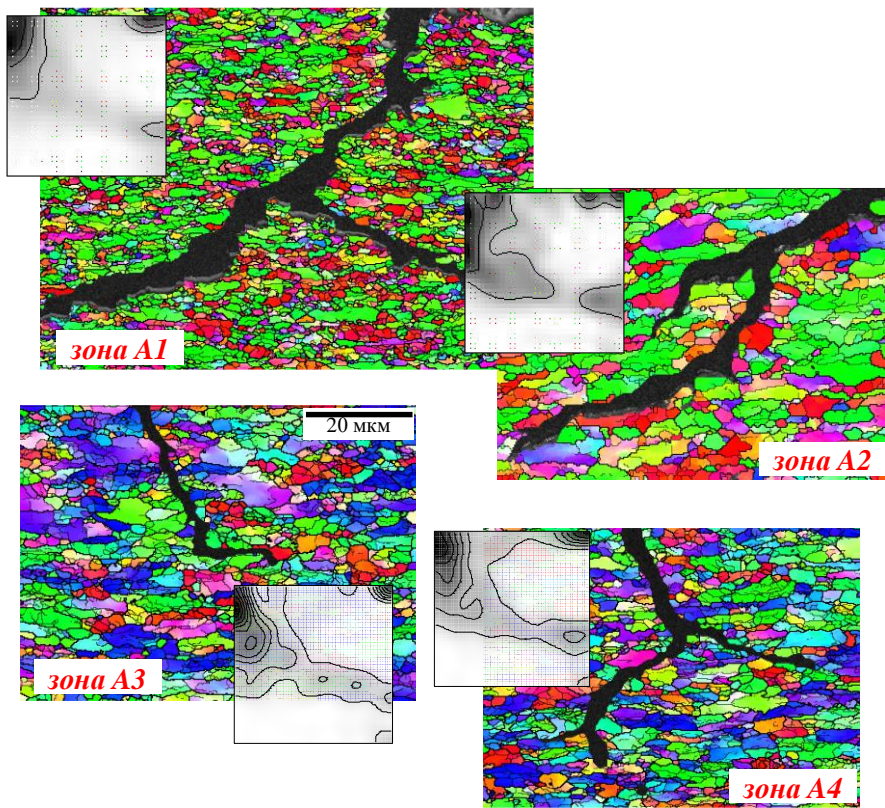
$$\sigma_0 = -111 \cdot t + 328$$

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

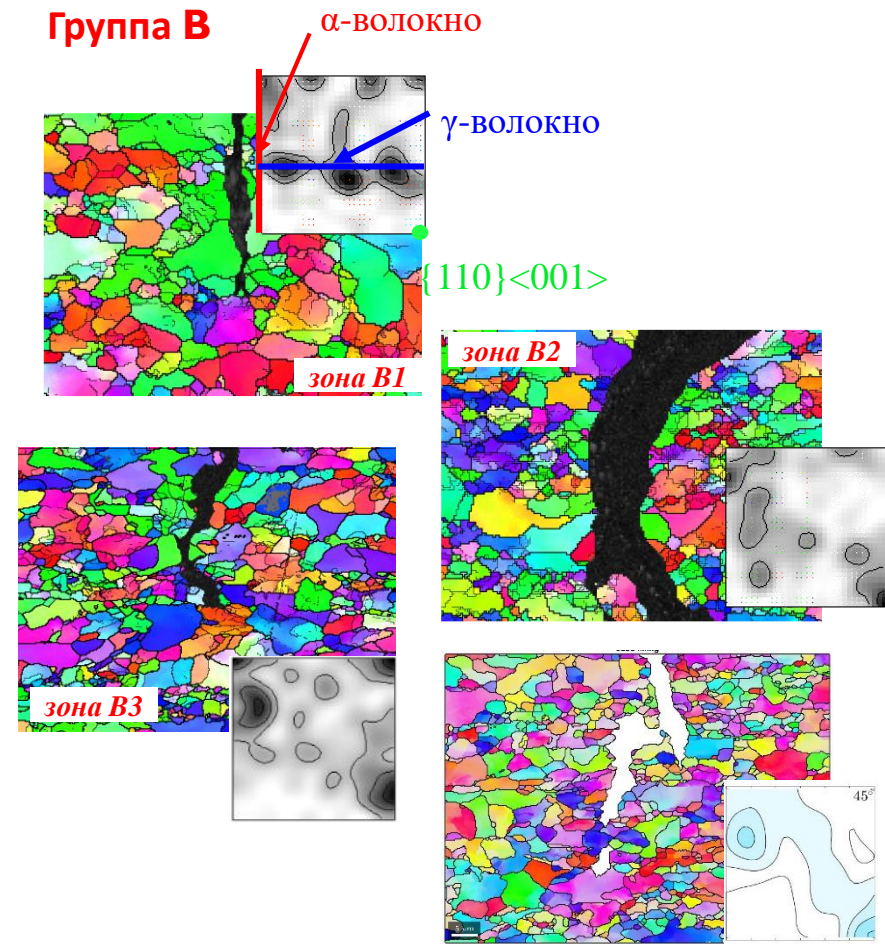


Анализ локальных текстур вблизи трещин

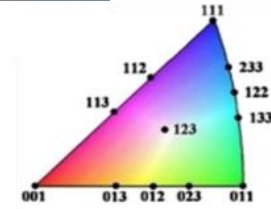
Группа А



Группа В



В области с преобладанием компоненты $\{110\}\langle 001 \rangle$ трещина свободно распространяется в то время, как наличие γ -волокна приводит к ее остановке, а на участках с преобладанием компонент α -волокна трещины, разветвляются на определенном этапе, что замедляет их рост.





Факторы Тейлора для модельных КОМПОНЕНТ

Ориентационный фактор Тейлора (M) используется для оценки склонности материала к пластической деформации в зависимости от его кристаллографической текстуры. Он показывает насколько «жестче/мягче» компонента по отношению к приложенному тензору деформаций, т.е. в каких группах зерен пластическая деформация начнется раньше при достижении напряжений, сопоставимых с пределом текучести

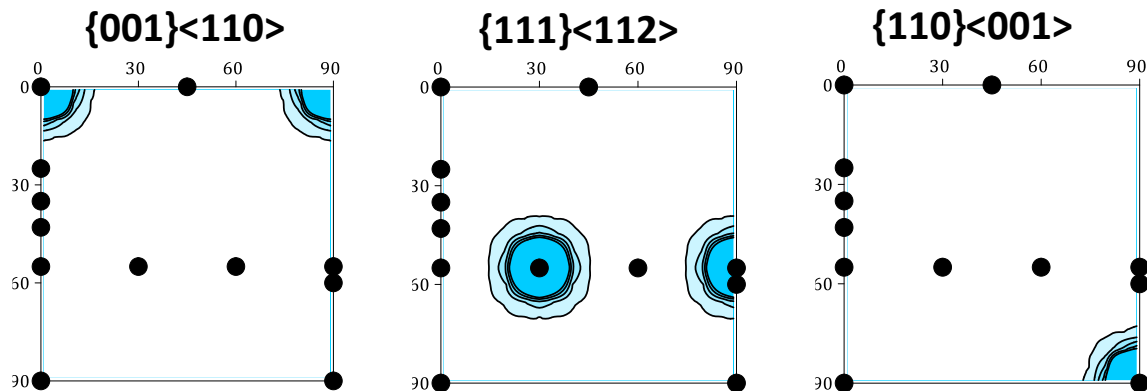
Системы скольжения в
ОЦК-металлах:

- $\{110\}\langle 111\rangle$
- $\{112\}\langle 111\rangle$
- $\{123\}\langle 111\rangle$

Тензор напряжений

$$\sigma_T \neq 0, \sigma_R = \sigma_L = 0$$

$$\sigma_L = 0.5\sigma_T, \sigma_R = 0$$



$$M=2.79$$

$$M=2.79$$

$$M=2.79$$

$$M=3.58$$

$$M=3.76$$

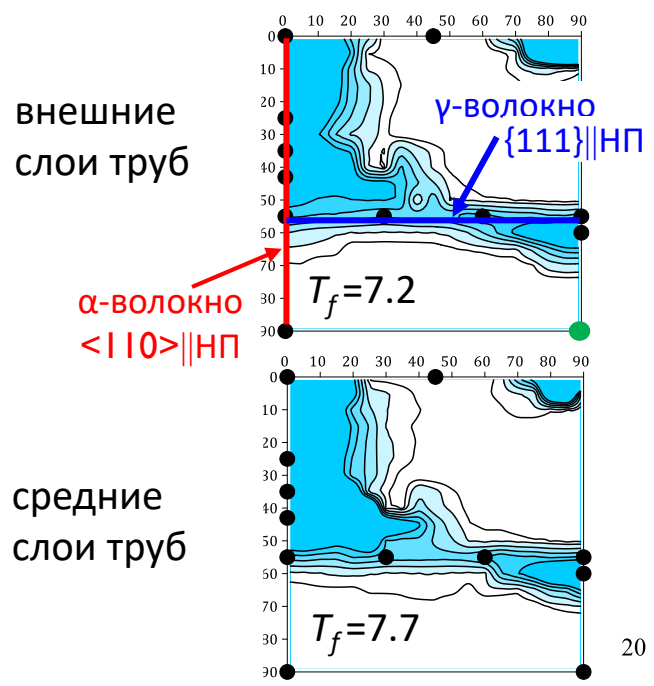
$$M=3.82$$



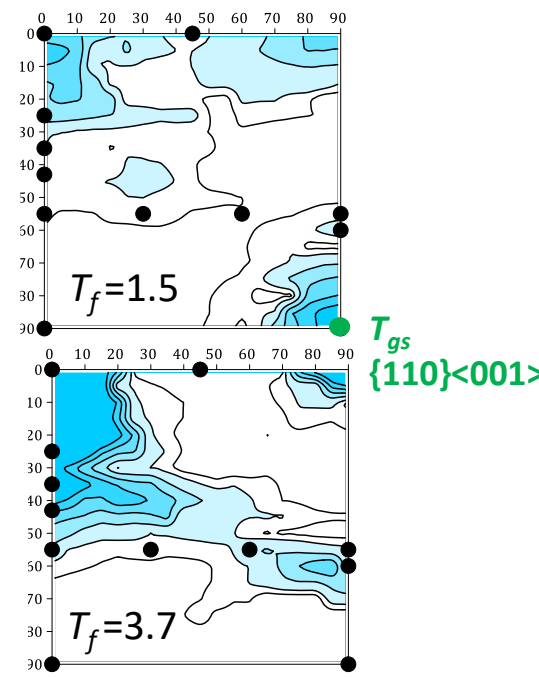


Различие характера послойной текстурной неоднородности труб МГ

Группа А

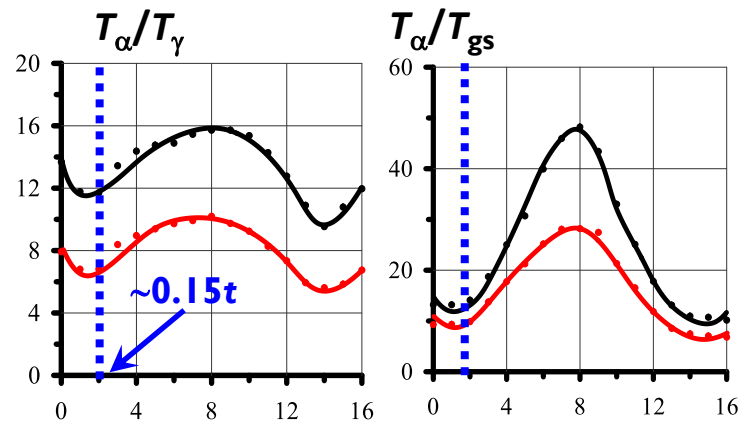


Группа В



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}
- разориентация зерен



расстояние от внешней поверхности трубы, мм

группа А
группа В



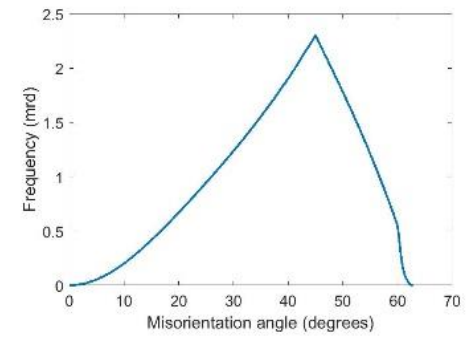
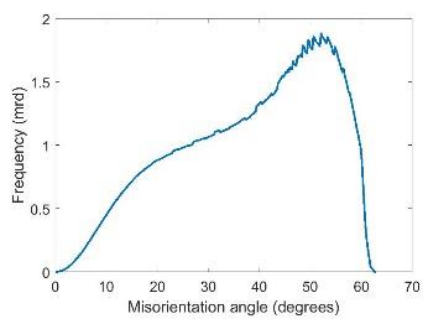


Различие характера послойной текстурной неоднородности труб МГ

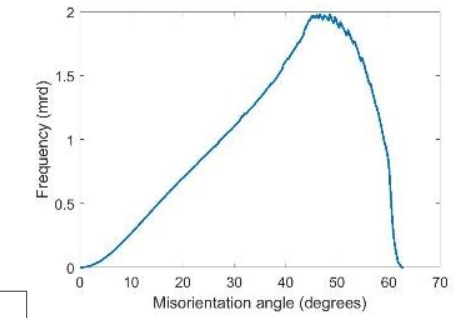
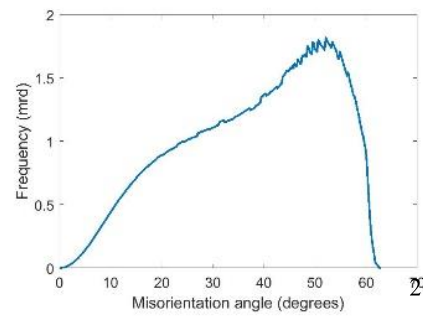
Группа А

Группа В

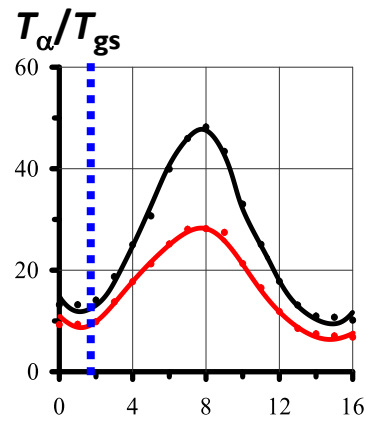
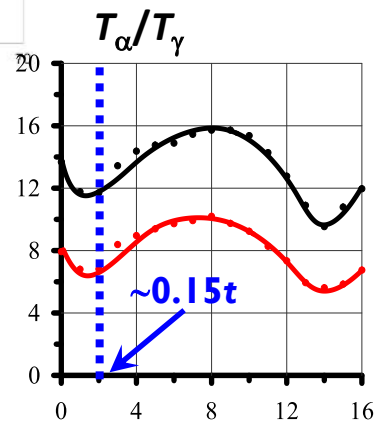
внешние
слои труб



средние
слои труб



Относительная
плотность
разориентации
зерен

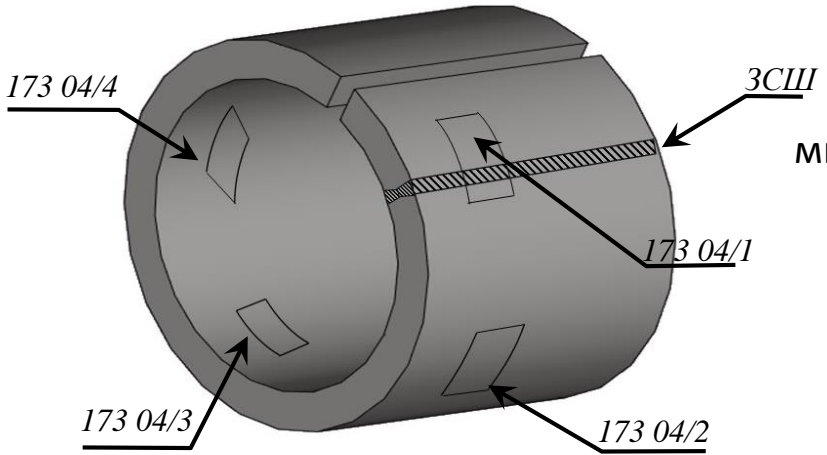


группа А
группа В

расстояние от внешней поверхности трубы, мм



Исследование труб из стали X80



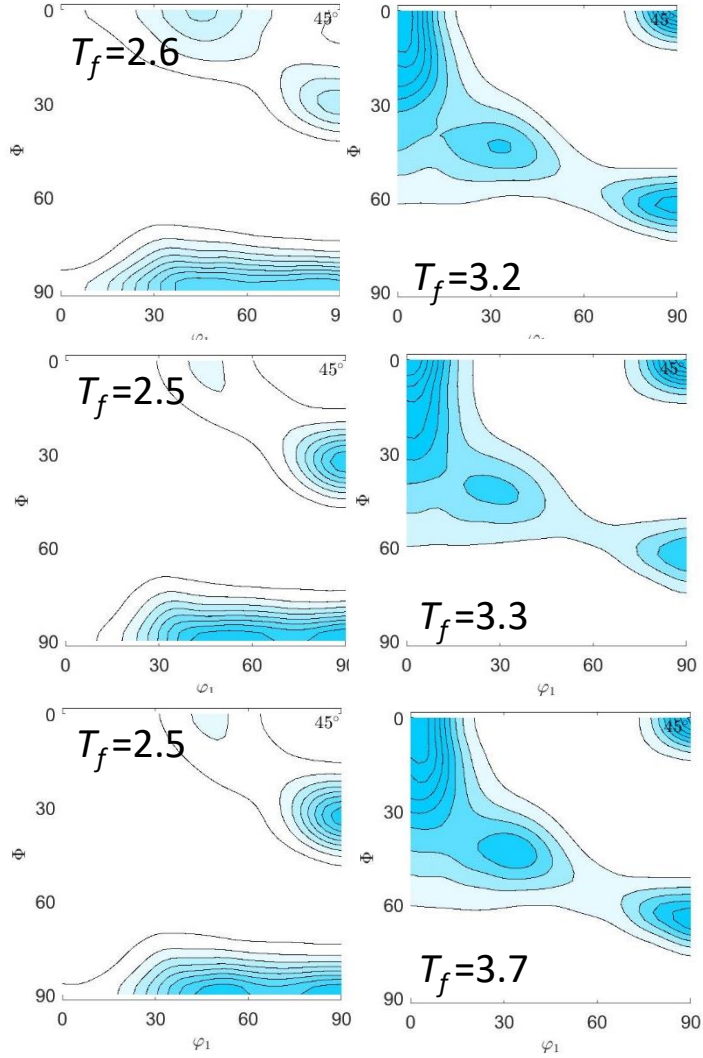
минимальный
радиус
кривизны

НОМИНАЛЬНЫЙ

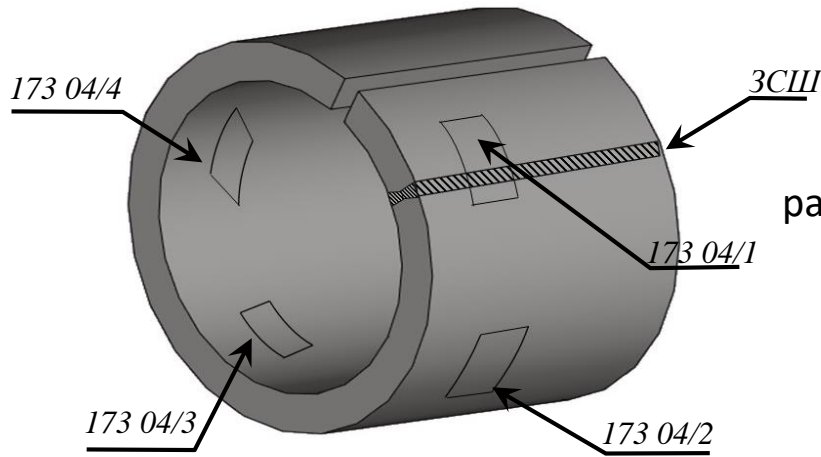
максимальный

внешняя
поверхность

средние слои



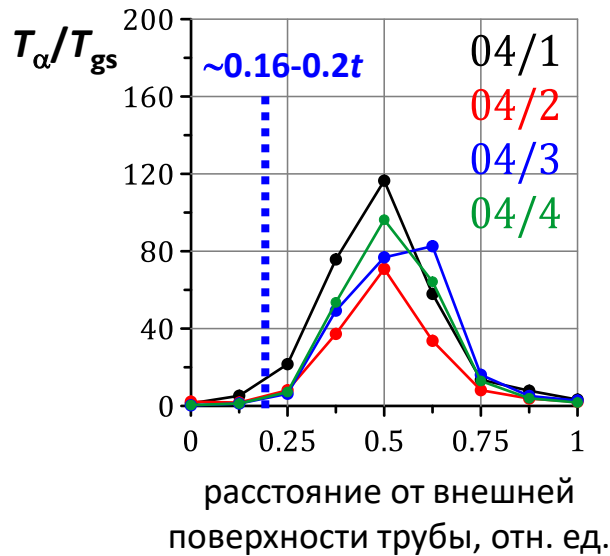
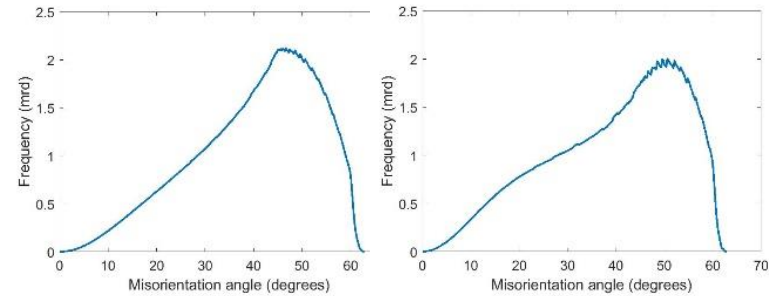
Исследование труб из стали X80



углы разориентации

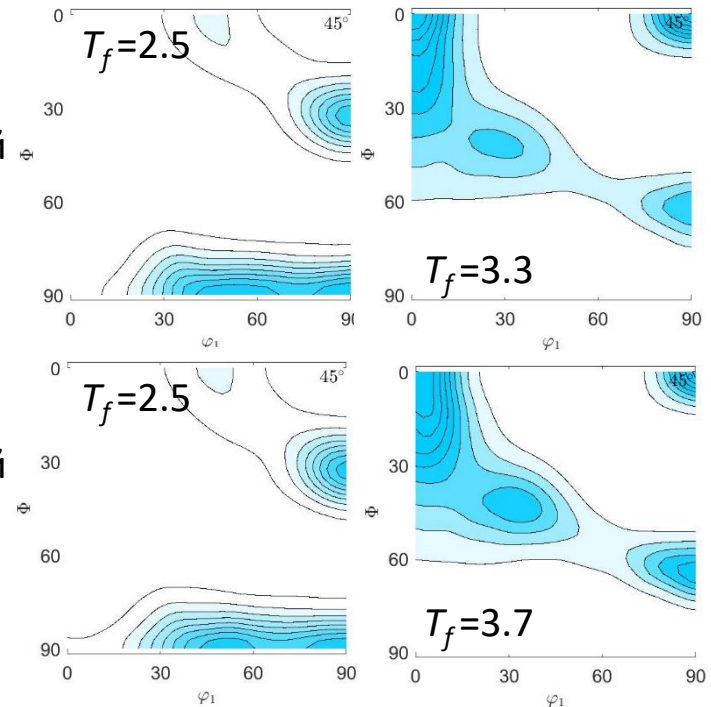
внешняя поверхность

средние слои



НОМИНАЛЬНЫЙ

максимальный





Сравнение с другими типами труб

Группа А
 $\text{Ø}1420 \times 16.5$

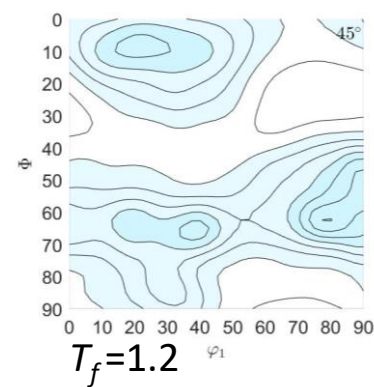
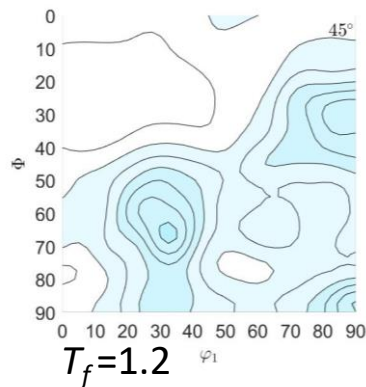
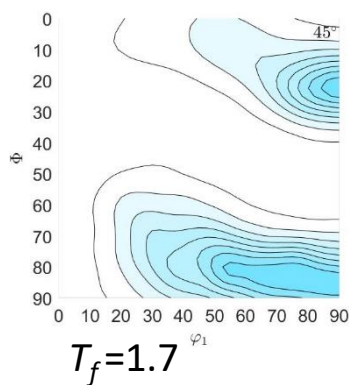
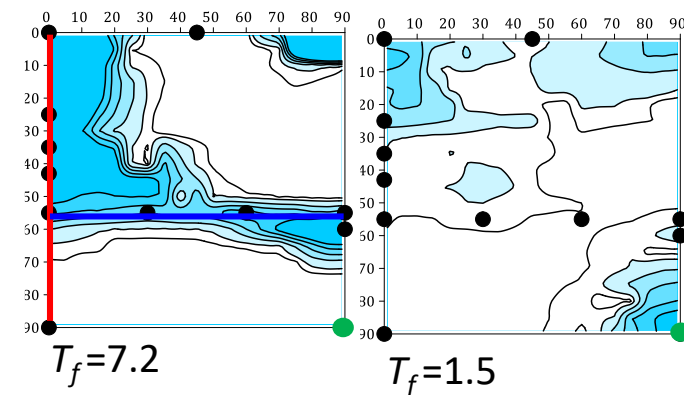
Группа В
 $\text{Ø}1420 \times 16.5$

Двухшовная
 $\text{Ø}1420 \times 15.7$

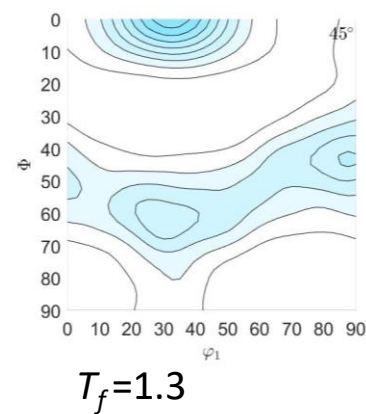
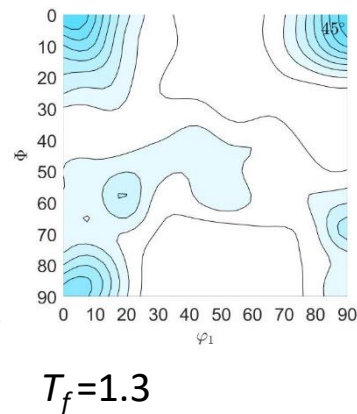
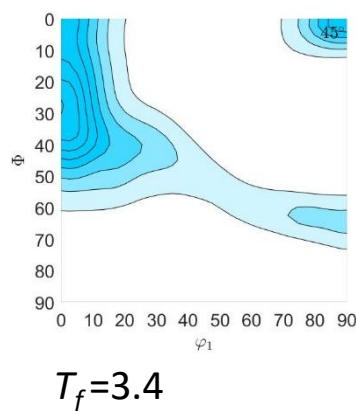
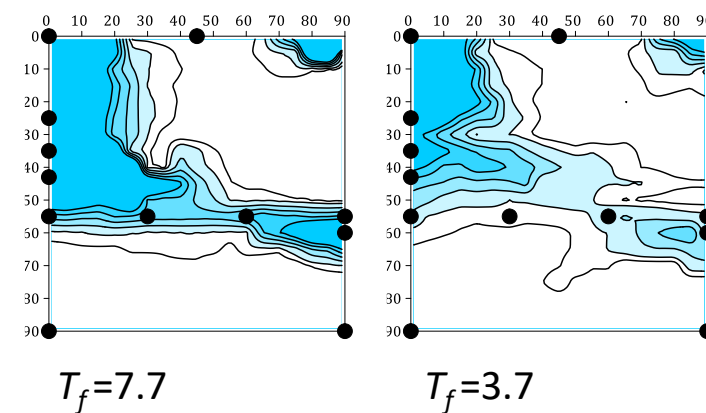
Двухшовная
 $\text{Ø}1220 \times 14.5$

Спиральношовная
 $\text{Ø}1020 \times 9.0$

внешние слои труб



средние слои труб



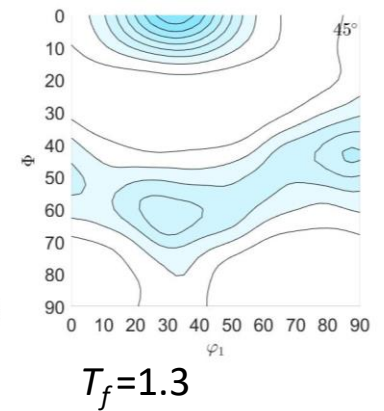
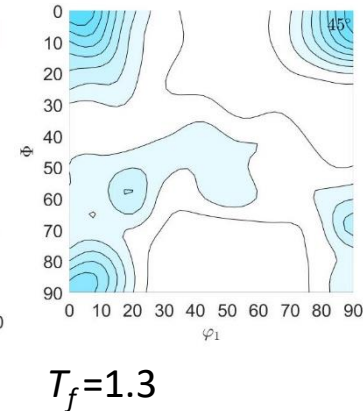
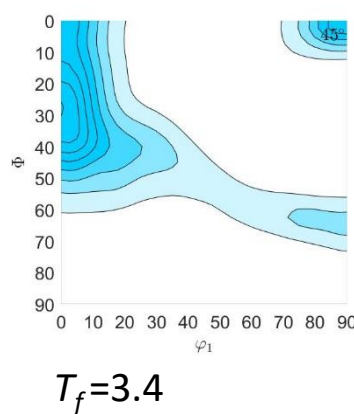
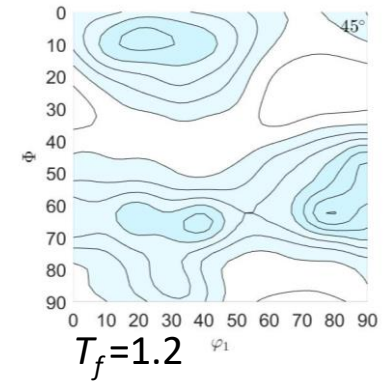
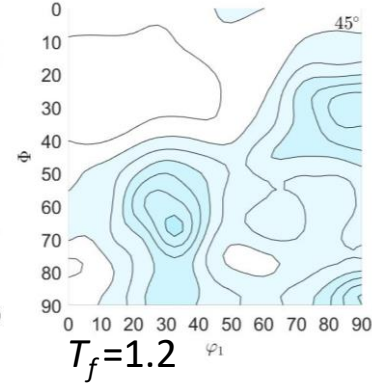
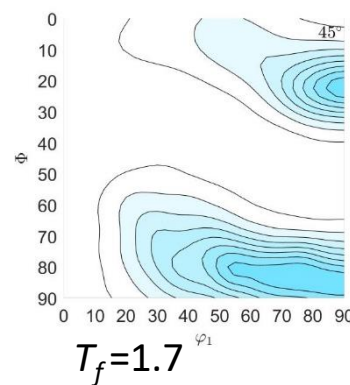
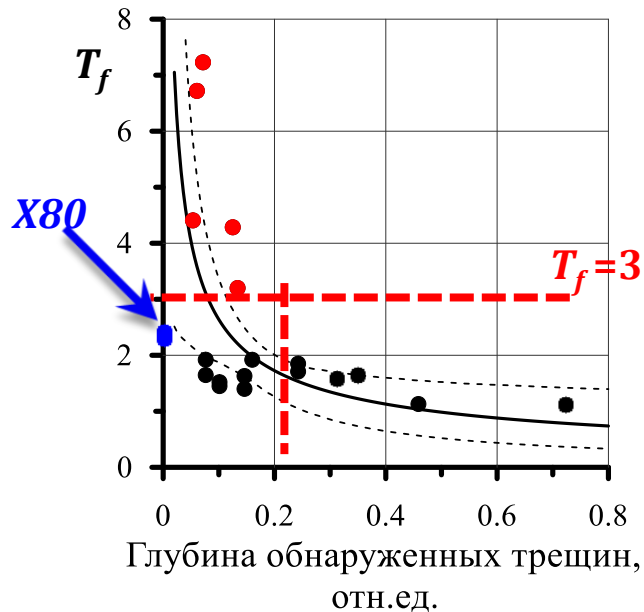


Сравнение с другими типами труб

Двухшовная
 $\Phi 1420 \times 15.7$

Двухшовная
 $\Phi 1220 \times 14.5$

Спиральношовная
 $\Phi 1020 \times 9.0$





Заключение

- Установлено, что текстура поверхностных слоев труб из стали X80 отличается от ранее исследованных труб X70 преобладанием компонент $\{112\}\langle 111 \rangle$ и $\{110\}\langle 001-112 \rangle$, при этом степень остроты текстуры T_f во внешних слоях этих труб ниже 3.
- Послойные распределения соотношений различных компонент текстуры по толщине стенки труб из стали X80 показывают, что по сравнению с ранее исследованными трубами X70 толщина слоя резкого изменения текстуры отличается незначительно, однако, характер изменения параметров более резкий, а величина T_α/T_{gs} в центральных слоях достигает значений не менее 80, тогда как в трубах X70 она не превышала 50. Это является фактором, препятствующим продвижению транскристаллитных трещин, для которых требуются более высокие растягивающие напряжения. Наряду с более низким уровнем остаточных окружных напряжений на внешней поверхности исследованных труб по сравнению с трубами X70. Таким образом трубы из стали X80 должны обладать более высокой стойкостью против 2й стадии КРН, что необходимо подтвердить коррозионными испытаниями.
- На основе анализа труб из стали X70 других типоразмеров и распределения разориентаций подтверждены ранее установленные 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.



Результаты сотрудничества

- Защита в НИЯУ МИФИ шести дипломов бакалавриата и специалитета в период с 2016 по 2020 гг.)
- Защита в 2022 г. выпускной аспирантской работы и диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности «физика конденсированного состояния»
- 8 докладов на международных конференциях и семинарах, 7 статей, в том числе в журналах ВАК/Scopus

HTC Вести газовой науки, 2022. – № 1 (49). – с. 31-46.

KnE Materials Science, 2018. pp.179–186. DOI 10.18502/kms.v4i1.214

Materials Science Forum, 2017. – Vol. 879. – pp. 1025-1030 DOI

10.4028/www.scientific.net/MSF.879.1025)

Вести газовой науки, 2016. -№3(27), с. 23-29

IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2016. – Vol. 130. – p. 012009.

AIP Conference Proceedings, 2016. -1769. -130011. –pp. 1-5.

Коррозия Территории нефтегаз, 2015. - №2(31). - с. 48-51.





Благодарю за внимание!

olgakrym@inbox.ru

isamarg@inbox.ru

