

«Экспериментальная оценка эксплуатационной надежности элементов магистральных газопроводов с концентраторами напряжений в виде растрескиваний, образовавшихся в результате КРН»

Выполнил: инженер ЛКДО

Мишарин Дмитрий Андреевич

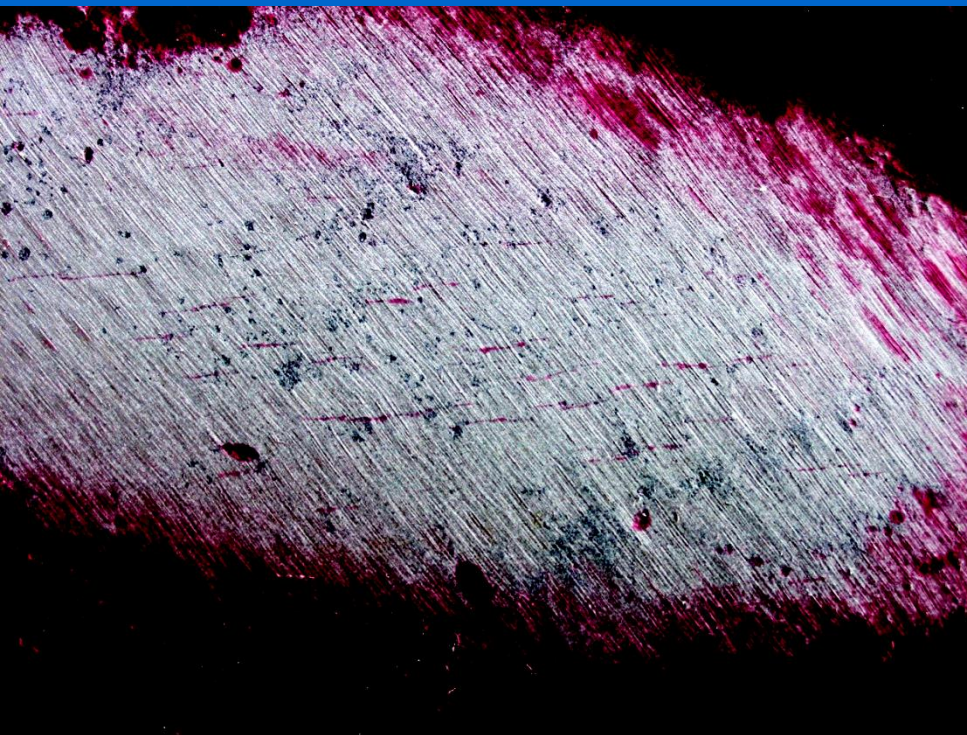
Руководитель: заместитель начальника ИТЦ
по диагностике

Абросимов Павел Владимирович

В соответствии с СТО Газпром 2-2.3-575-2011 ООО «Газпром трансгаз Чайковский» имеет наивысший рейтинг по подверженности его МГ к КРН, так как основная их часть пролегает в коррозионно-активных грунтах и имеет пленочное защитное покрытие, нанесенное в трассовых условиях.



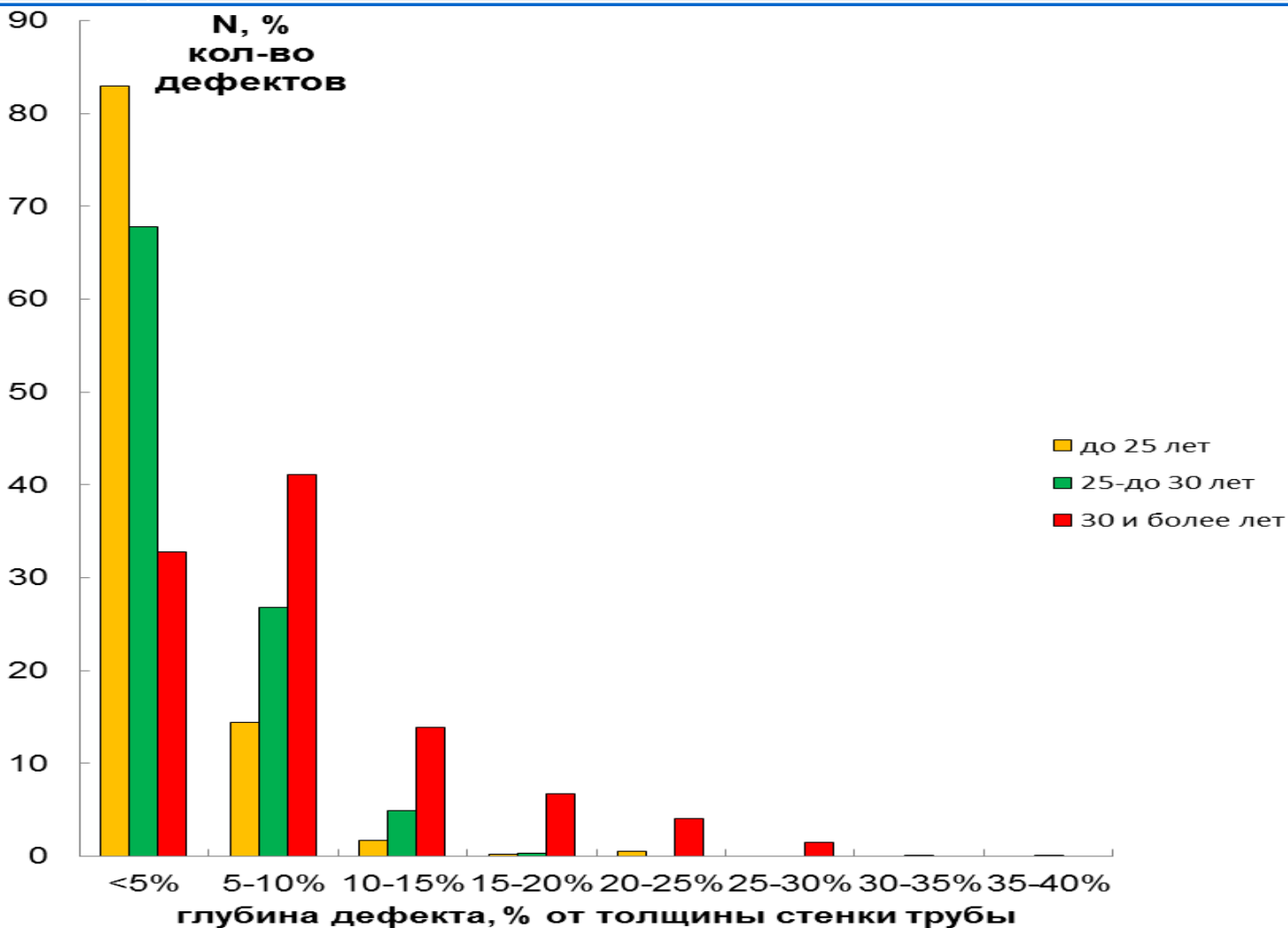
На подключающих шлейфах компрессорной станции нашего Общества впервые в Газпроме в 2004 году выявлены колонии стресс-коррозии.



ООО «Газпром трансгаз Чайковский» систематически проводит натурные испытания трубных плетей с дефектами КРН



Распределение количества дефектов КРН по глубине в зависимости от срока эксплуатации ТТ КС ООО «Газпром трансгаз Чайковский»



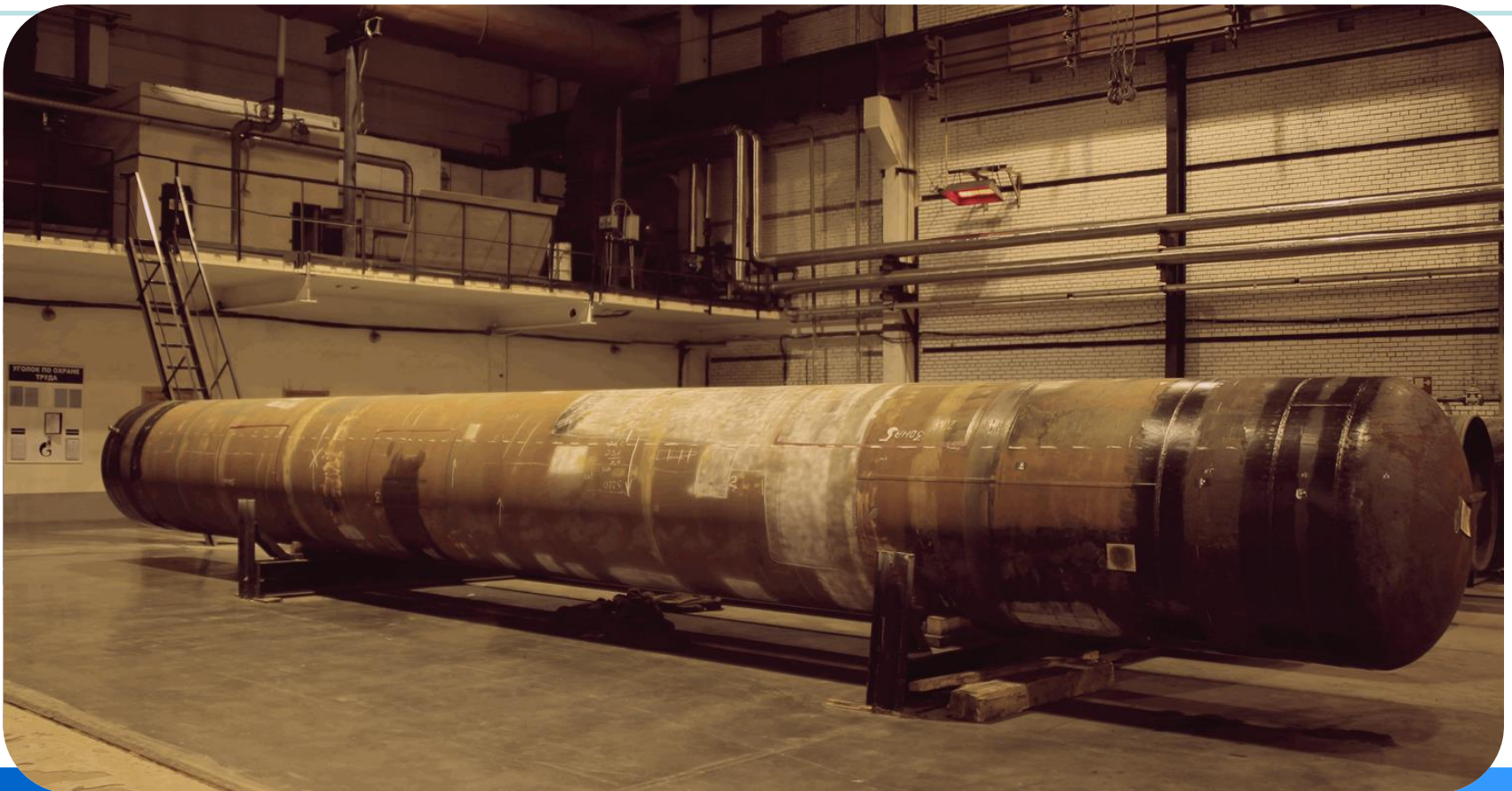
Физическое явление КРН
действительно, чрезвычайно
опасный процесс, особенно в случае его
неконтролируемости.

Степень опасности дефекта КРН глубиной до 10% от толщины стенки трубы, тем более для трубопровода, отремонтированного методом качественного нанесения современного изоляционного покрытия это уже вопрос для обсуждения и проведения различных экспериментальных исследований.

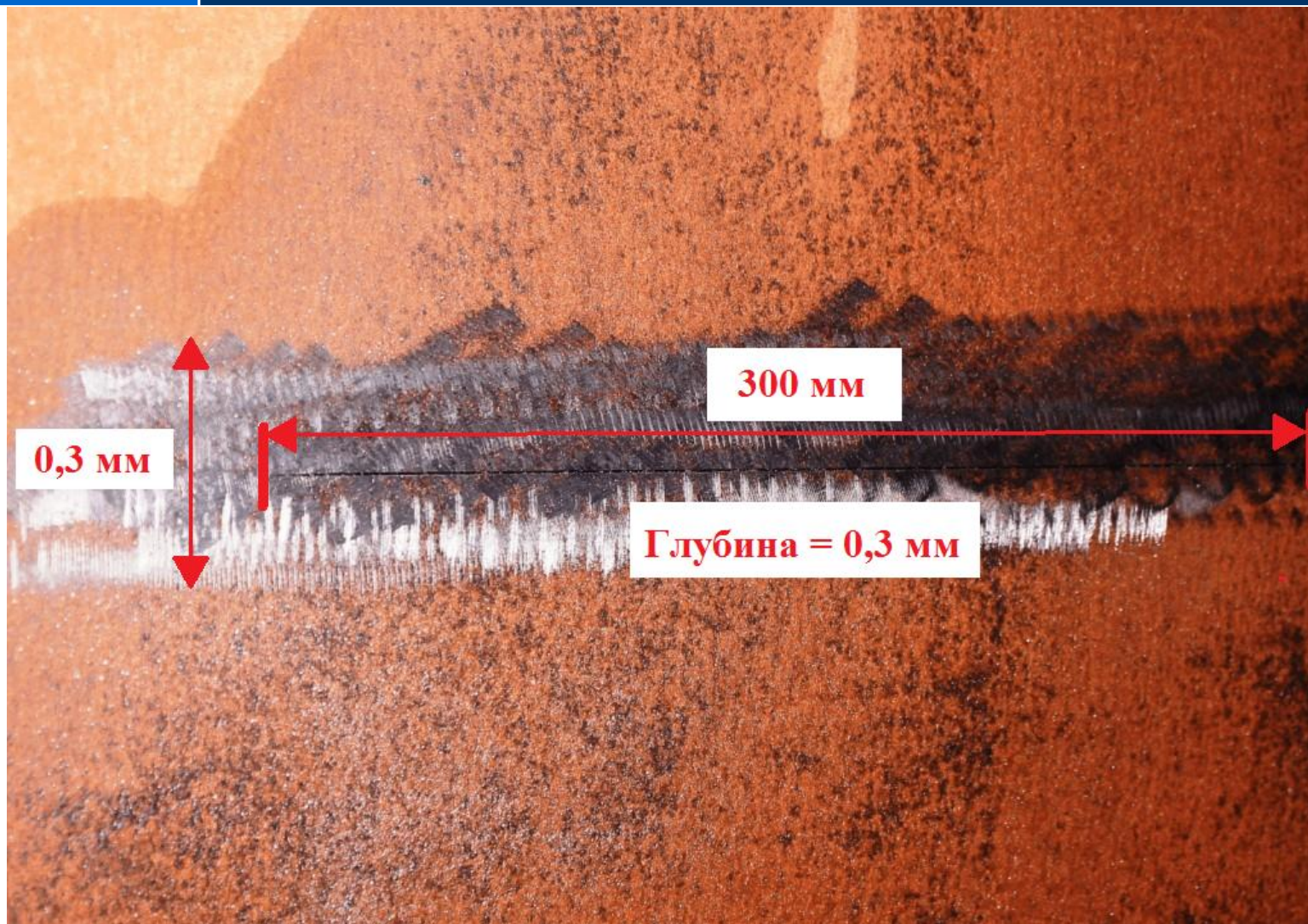
На базе Инженерно-технического центра нашего Общества в 2012 году впервые в ОАО «Газпром» под методическим руководством ООО «Газпром ВНИИГАЗ» проведен комплекс работ по экспертной оценке несущей способности сегментов труб с дефектами КРН для определения возможности их эксплуатации до проведения капитального ремонта подключающих шлейфов компрессорной станции.

Подготовка стенда гидроиспытаний.

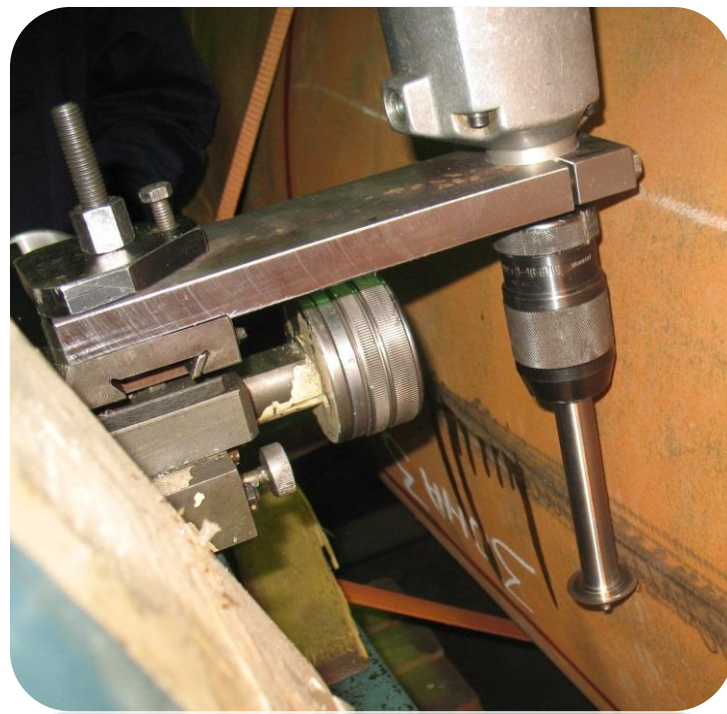
В 2012 был смонтирован стенд, состоящий из полноразмерной трубы $\text{Ø } 1420 \times 19,2$ мм длиной 11 м и катушки $\text{Ø } 1420 \times 19,1$ мм длиной 3 м.



Искусственный концентратор напряжения



Процесс нанесения искусственного концентратора напряжения
в соответствии с Р Газпром 2-2.3-420-2010



Проведение гидроиспытаний.

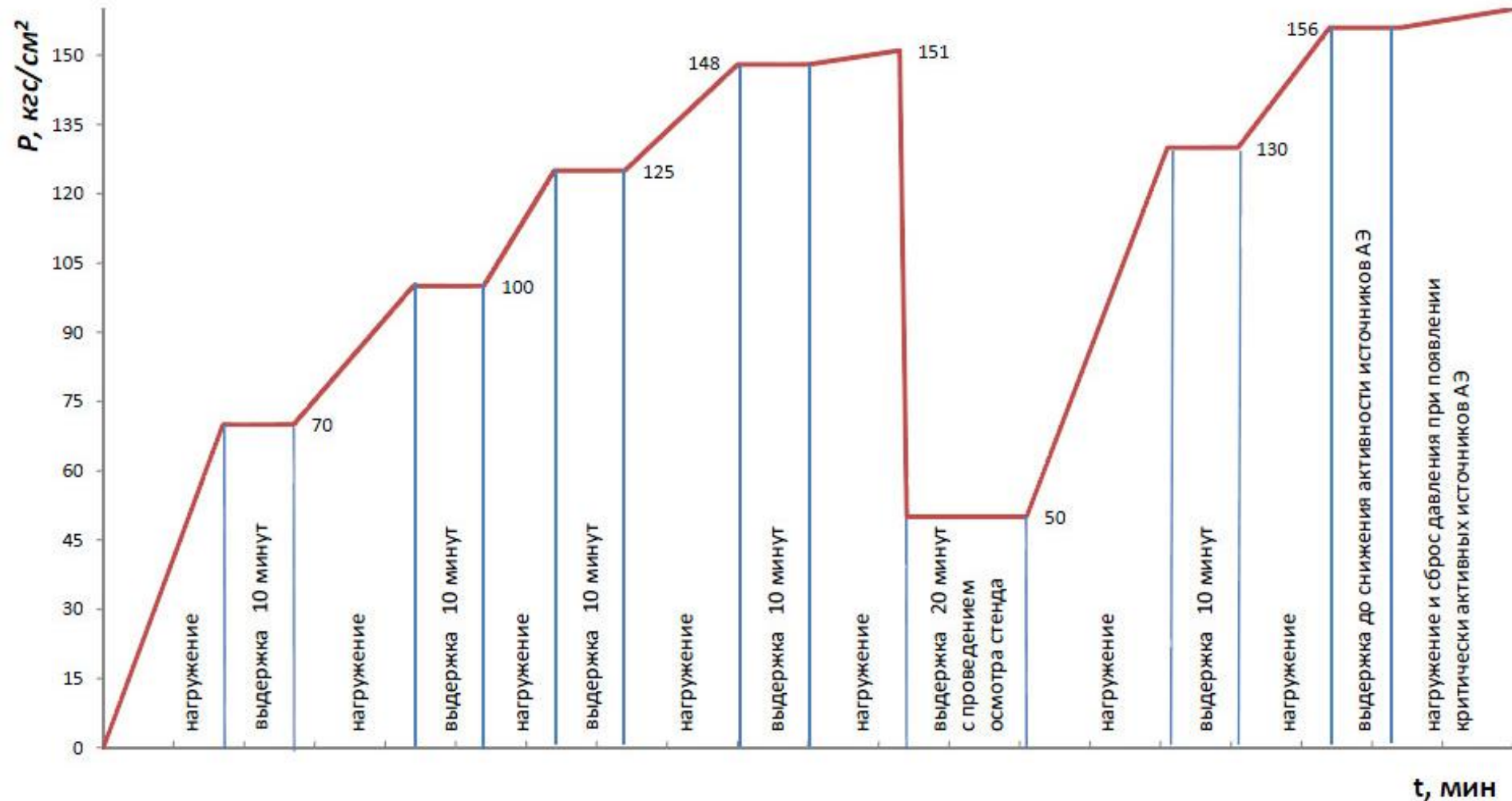
Виды испытаний:

- 1) Циклические (210 циклов нагружения от 0 до рабочего давления 7,5 МПа);
- 2) Статические на прочность.



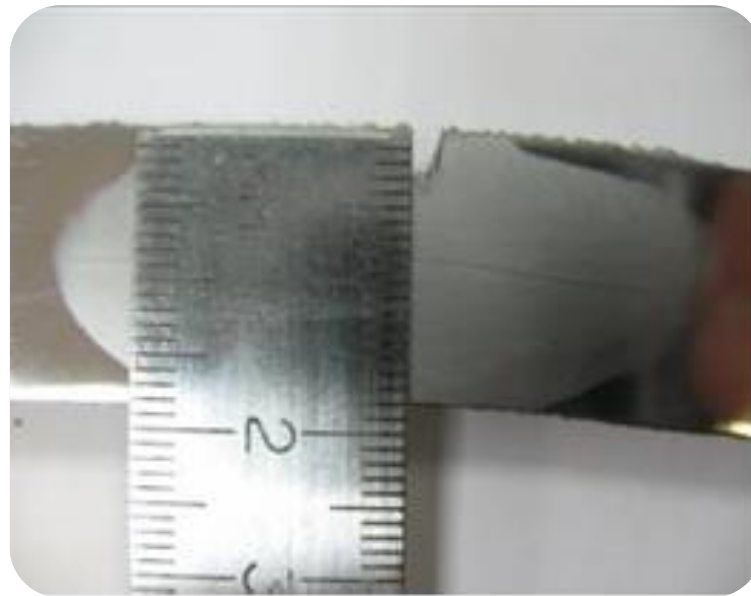
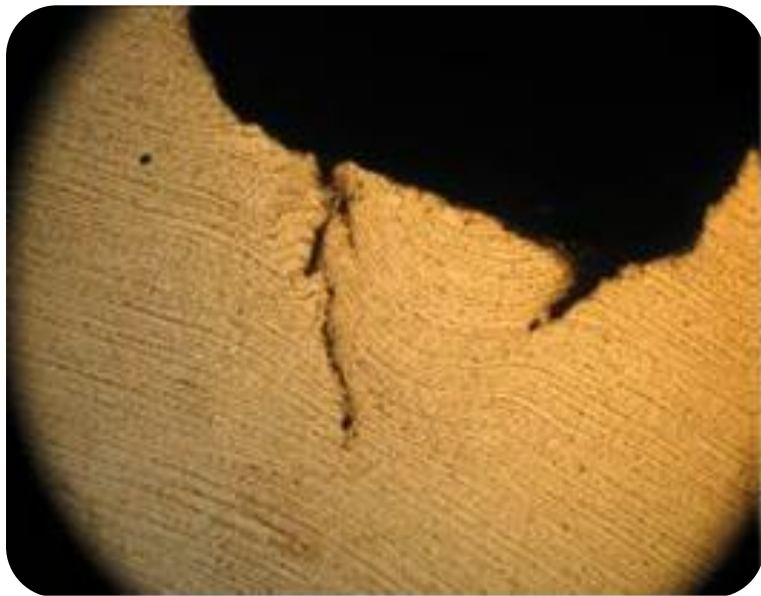
В условиях отсутствия доступа коррозионной среды развитие стресс-коррозионных трещин глубиной менее 10% толщины стенки трубы не происходит.

График поднятия давления $P(t)$ при проведении испытаний на статическую прочность.



t, мин

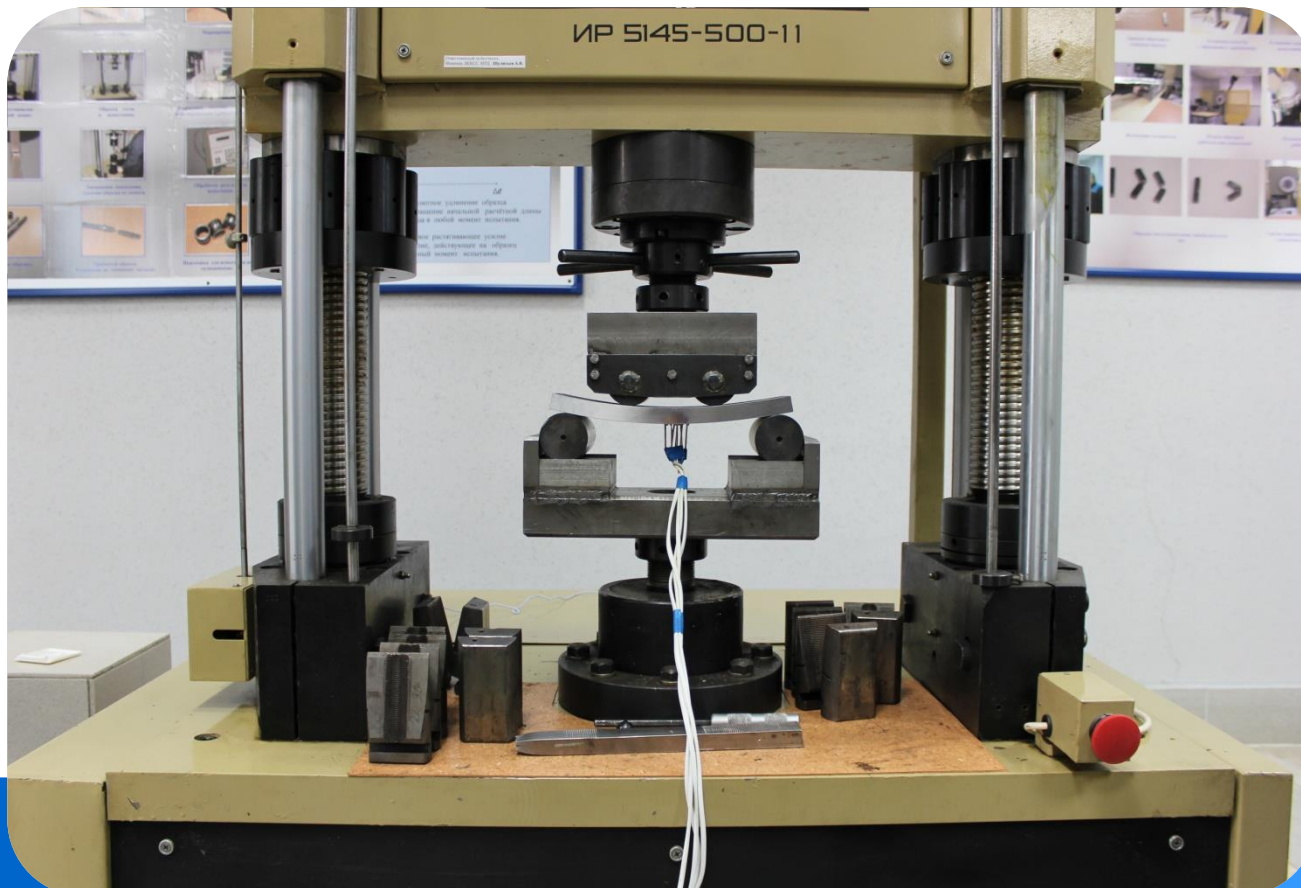
- По результатам статических испытаний был установлен момент начала прироста дефектов и начала пластической деформации. Для подтверждения проводился металлографический анализ образцов из дефектных зон испытательного стенда.



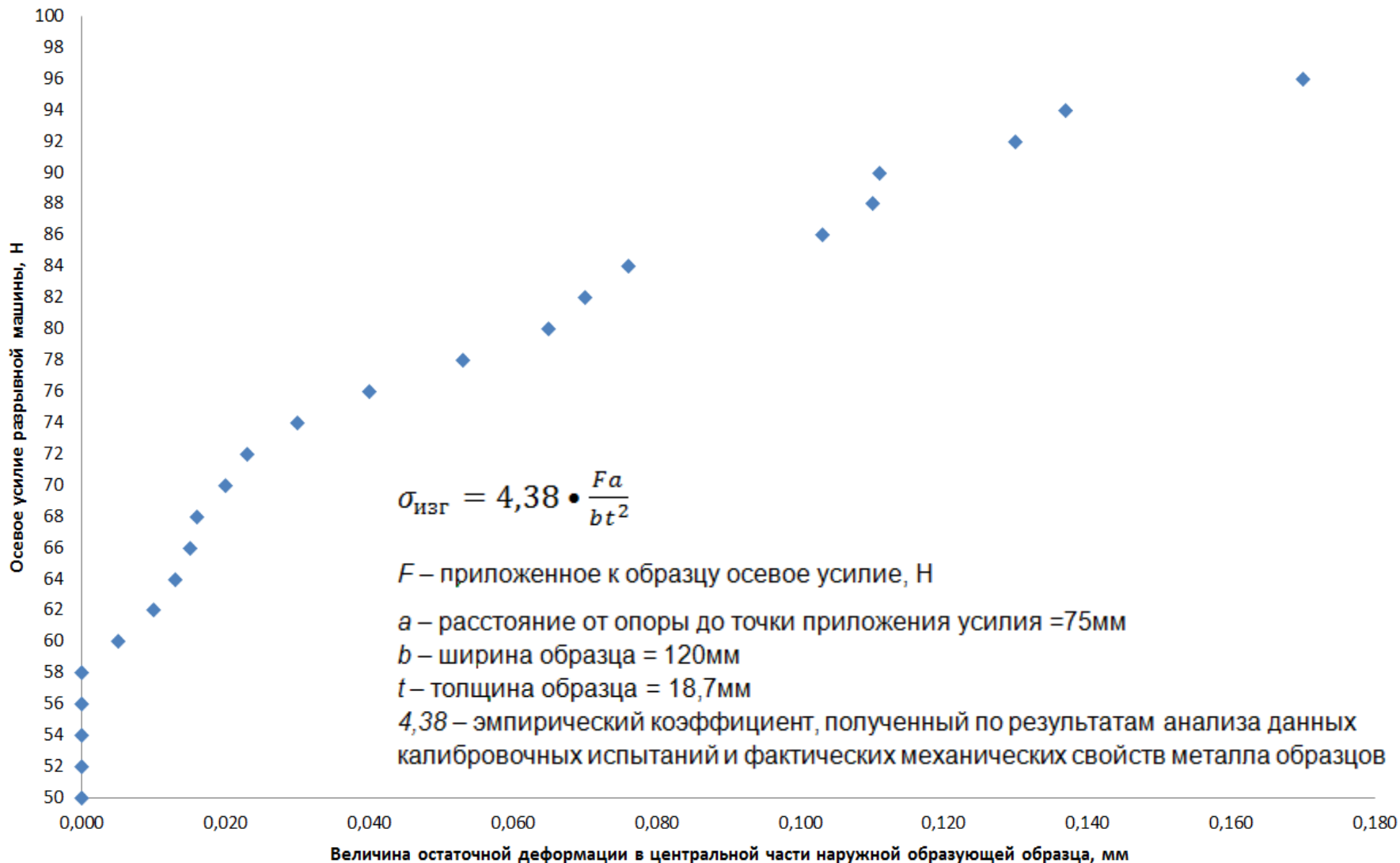
Испытания были остановлены после локации критически активных источников акустической эмиссии от искусственного концентратора напряжений при достижении давления **15,6 МПа!** Что в два раза превышает проектное давление в трубопроводе.

Циклические испытания образцов (в воздушной среде)

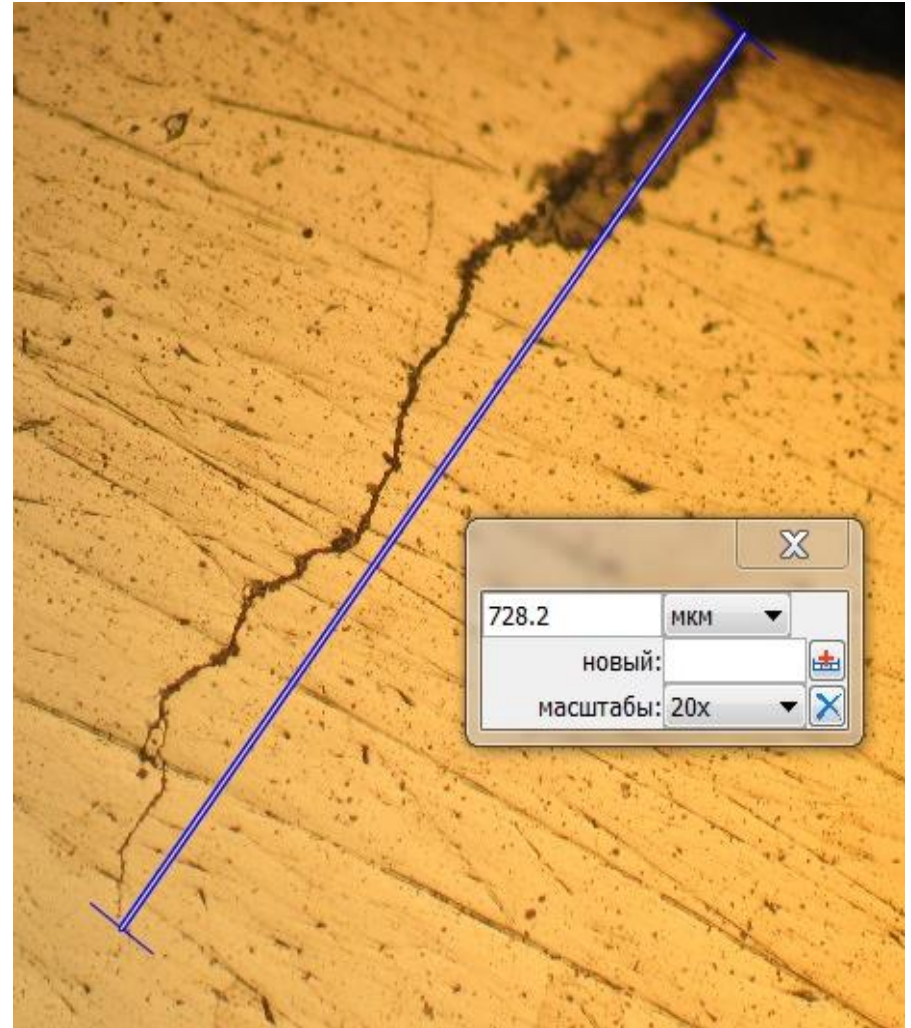
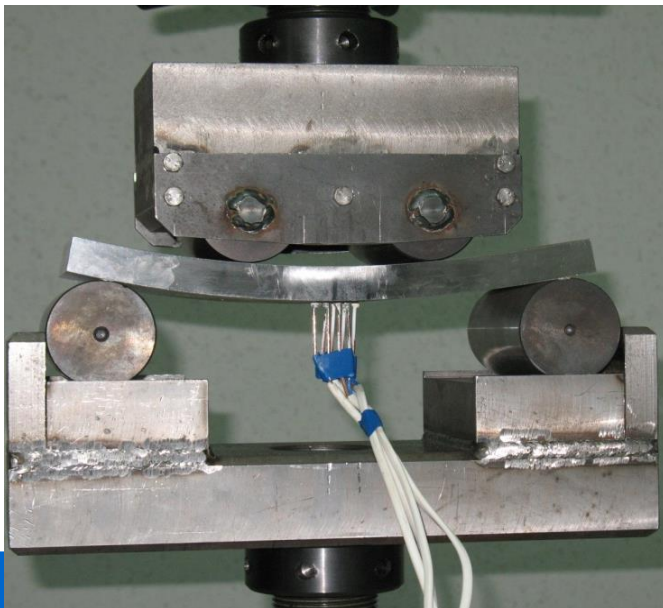
В 2014 году в рамках договора НИР с ООО «Газпром ВНИИГАЗ» для подтверждения вывода об отсутствии прироста дефектов КРН глубиной менее 10% были проведены лабораторные испытания на воздухе образцов по методике СТО Газпром 2-5.1-148-2007.

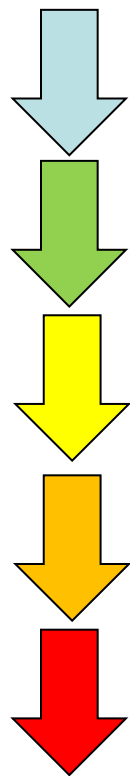


Перед началом испытаний была проведена «калибровка» усилия на валу разрывной машины к фактической величине изгибающих напряжений в области трещины.



Контроль за состоянием дефектов

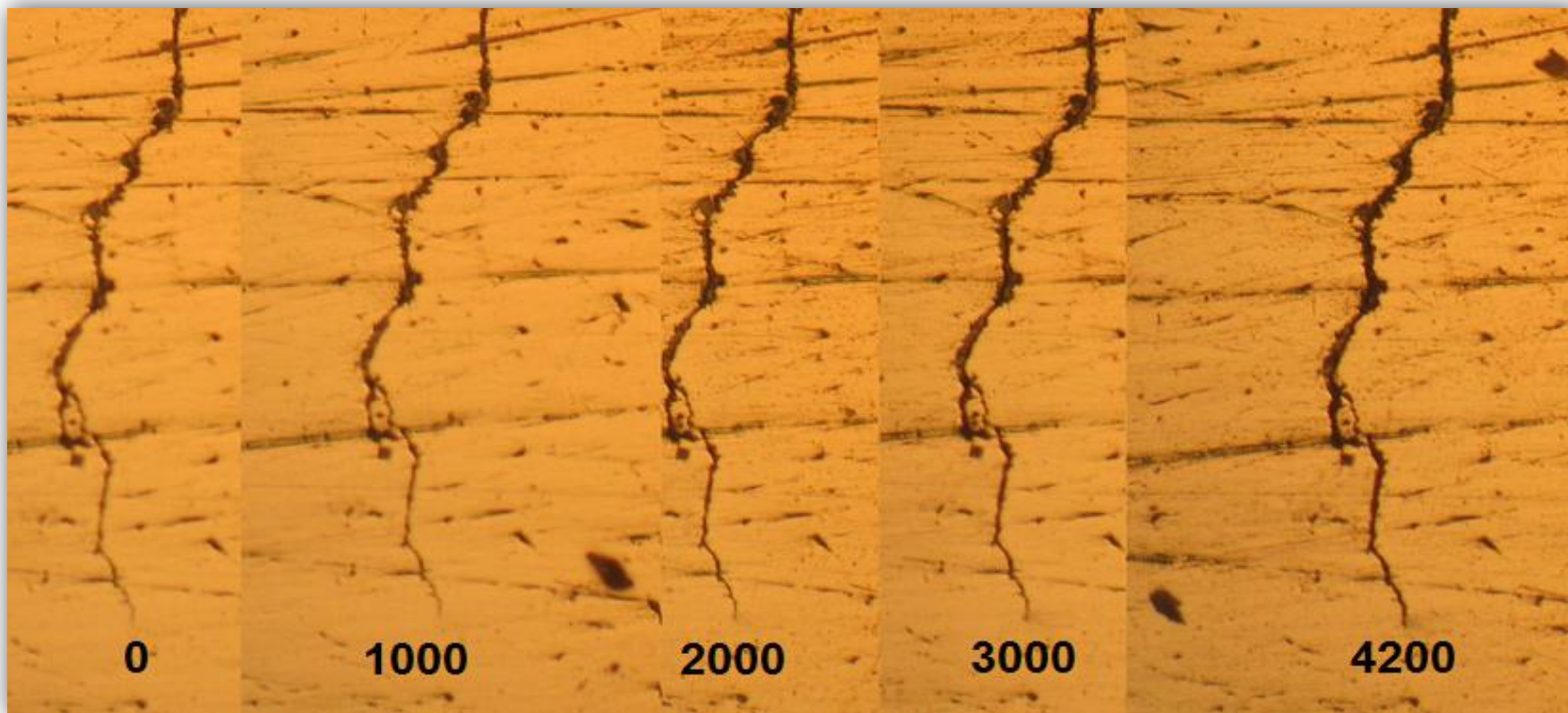




%* σ_T	$\sigma_{кц}$, МПа	$P_{вн.}$, МПа	F, kN		Количество ЦИКЛОВ
			верх	низ	
0,55* σ_T	281	7,5	35,9	25,1	1000
0,7* σ_T	356	9,5	45,5	31,9	1000
0,9* σ_T	459	12,2	58,4	40,9	1000
0,99* σ_T	506	13,5	64,6	45,2	2700
1,1* σ_T	562	15	71,8	50,3	2700

Пошаговая съемка трещины на боковой поверхности образца.

По результатам проведенных испытаний в воздушной среде установлено **отсутствие прироста стресс-коррозионных дефектов.**



Механические испытания стандартных образцов металла из различных областей с КРН

* Испытания на растяжение



* Испытания на ударную вязкость



Образцы по ГОСТ 9454-78



Образцы по ГОСТ 1497-84

Сравнением результатов механических испытаний стандартных образцов, вырезанных из бездефектных областей и областей с дефектами коррозионного растрескивания, деградациии прочностных свойств металла в областях с КРН - не установлено.

**В условиях циклического
нагружения на воздухе дефекты
КРН глубиной менее 10% толщины
стенки трубы не развиваются.**

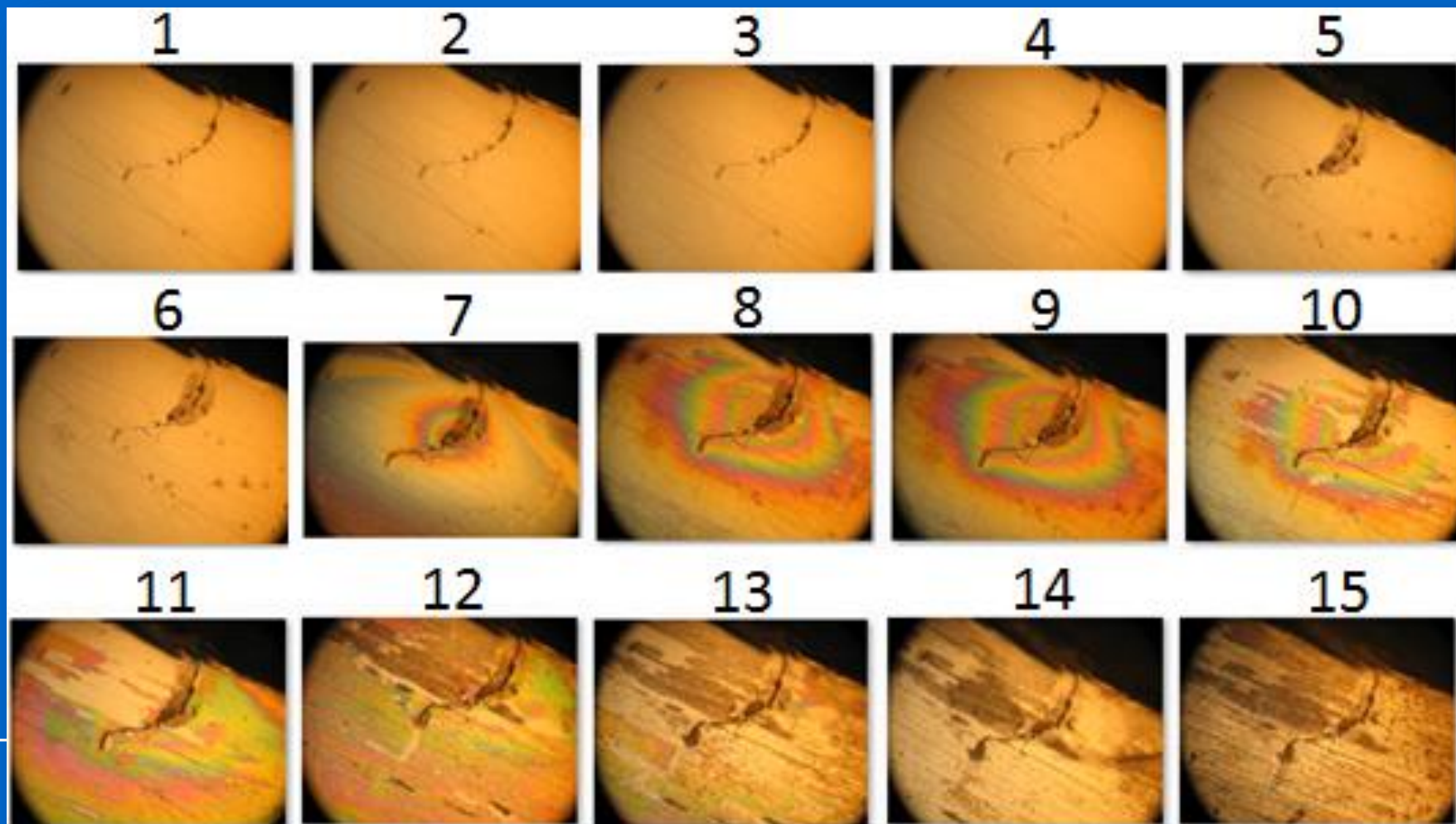
Испытания на разрывной машине модельных образцов (в коррозионной среде).

Испытания проводились с заданием напряжения в месте концентратора до $0,99 \sigma_T$, с частотой 0,25 Гц. В ходе работы было выполнено 25000 циклов нагружения образца, помещенного в электролит (смесь растворов NS-4 и боратного буфера pH=7,0).



Результаты испытаний на разрывной машине образцов (в коррозионной среде).

В ходе испытания проводилась пошаговая съемка дефекта на металлографическом микроскопе и проводился анализ геометрических размеров в программе Photolab Siams 700. Было проведено 25000 циклов «нагрузка-разгрузка», прироста наблюдаемого дефекта не зафиксировано.



Проведение рентгенодифрактометрических измерений.

- Перед измерением НДС область дефекта подвергнута электролитической полировке.
- Замеры НДС в области дефекта проводились по точечной схеме, с шагом 0,08 мм.
- В результате измерений построена матрица значений напряжений в области трещины.

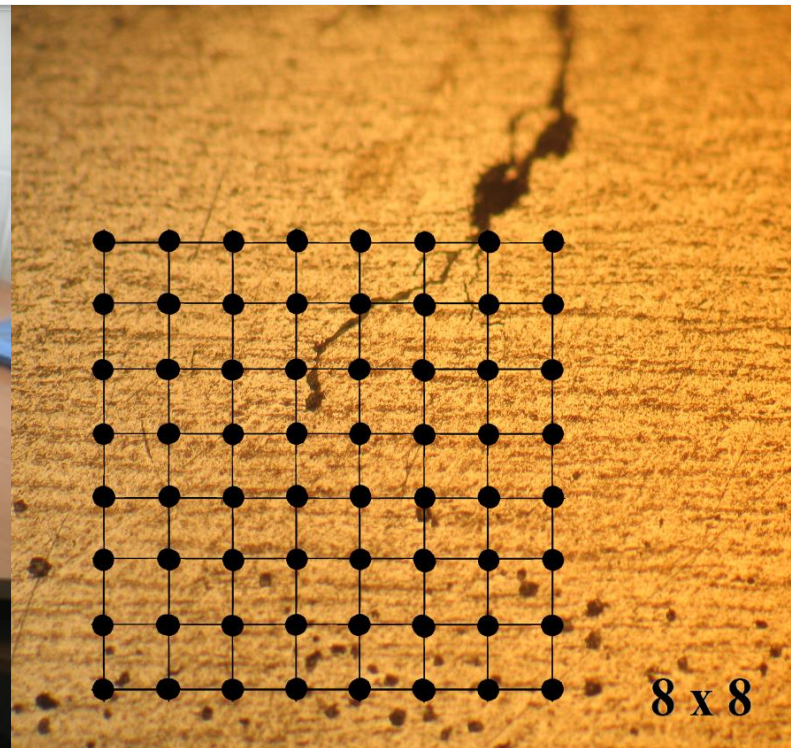
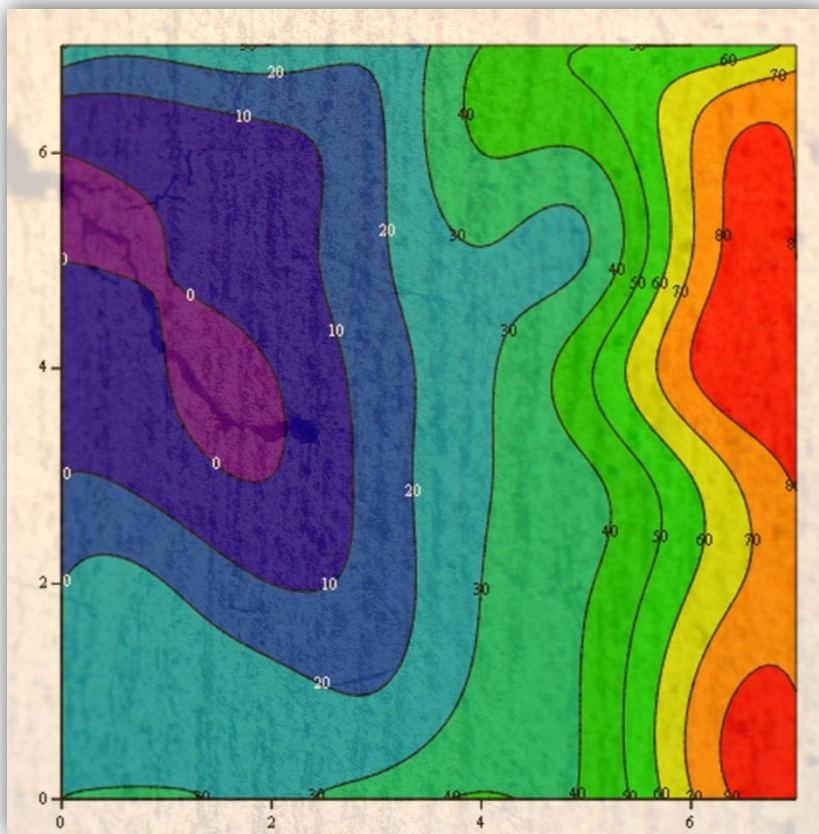


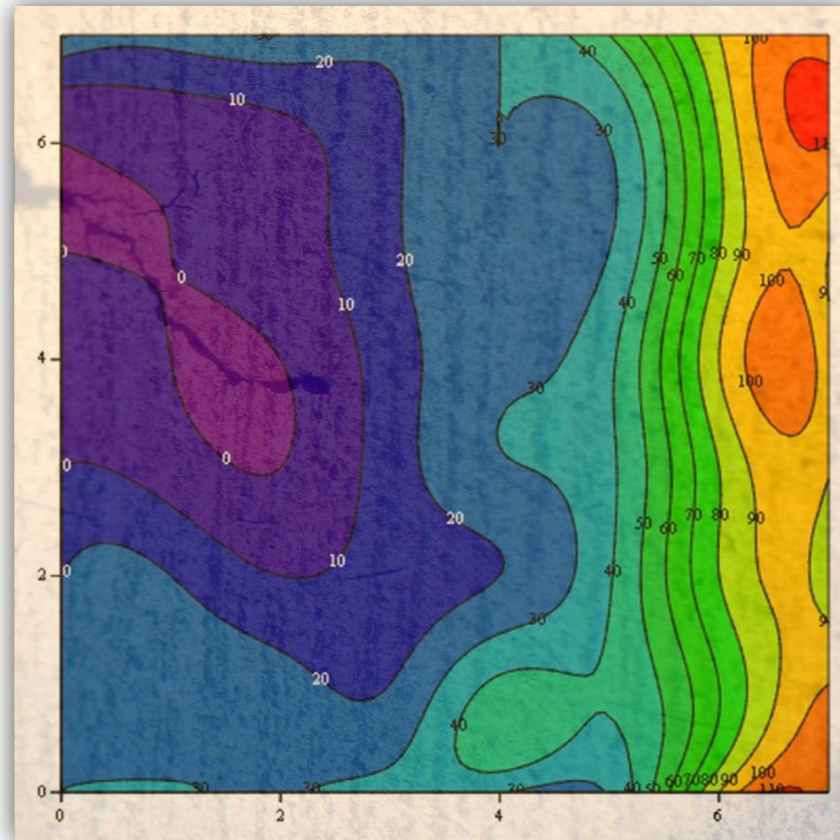
Схема измерений напряжений
в вершине трещины.

Поля распределения НДС в области вершины трещины

В результате интерполяции матричных значений в MathCad, построены поля распределения остаточных напряжений в области дефекта на боковой грани модельного образца до и после проведения 25000 циклов нагружения.

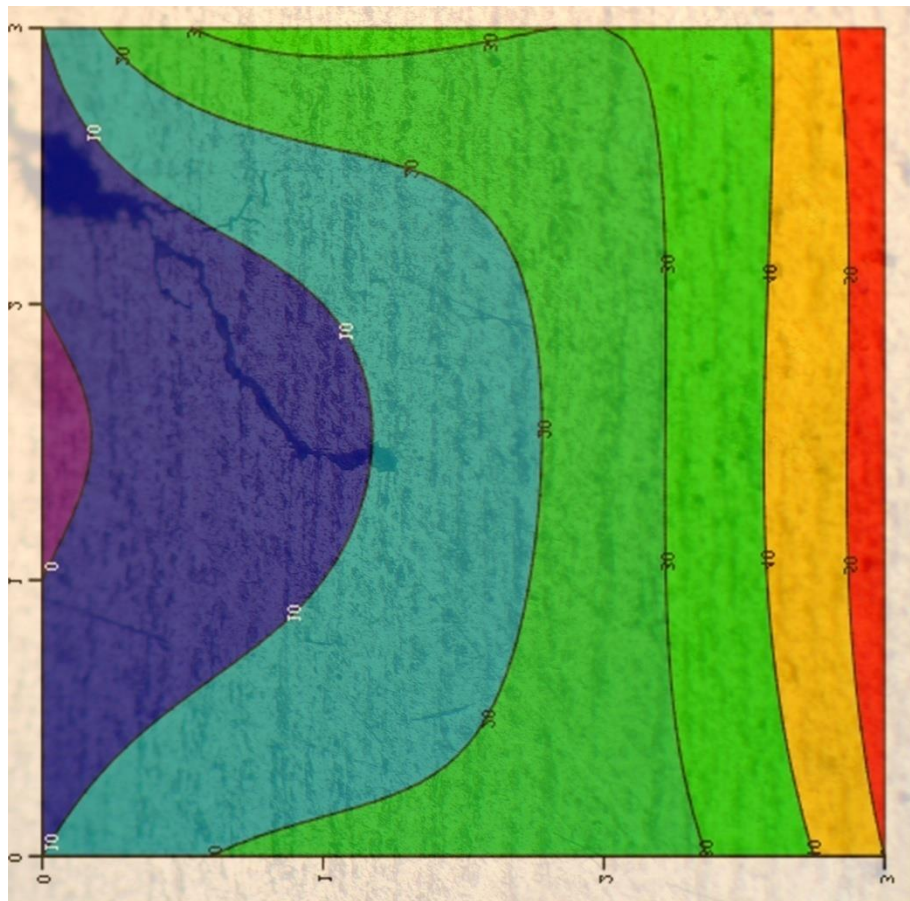


Поле продольных напряжений
(до циклических нагружений)

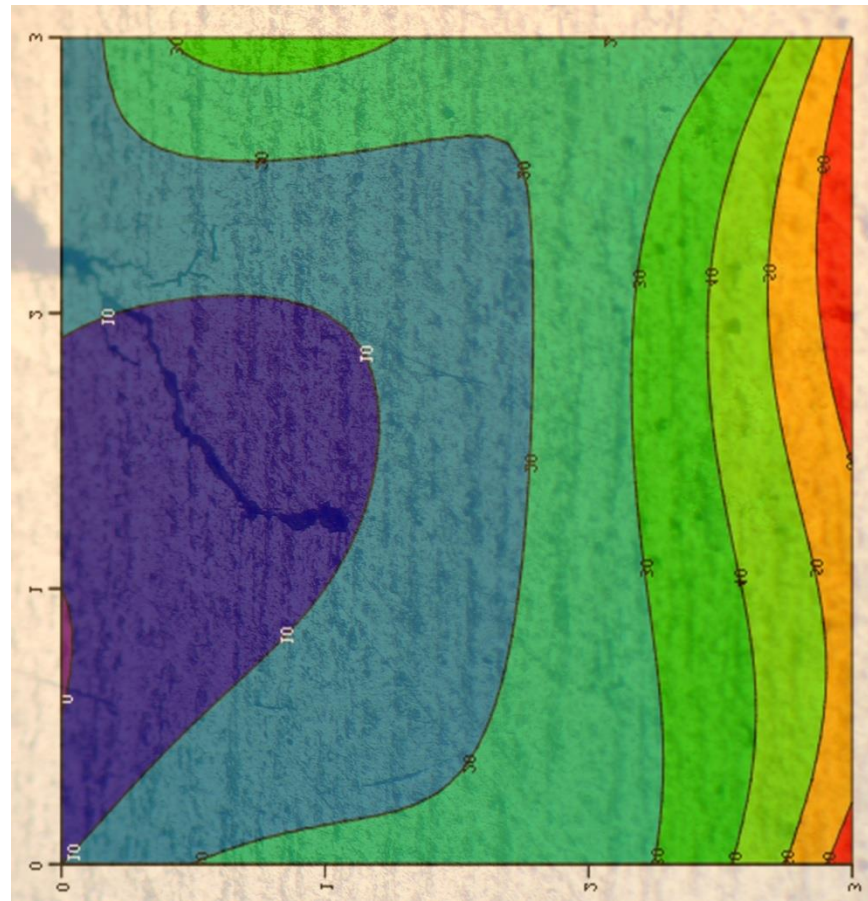


Поле продольных напряжений
(после циклических нагружений)

Поля распределения НДС в области вершины трещины



Поле поперечных напряжений
(до циклических нагружений)

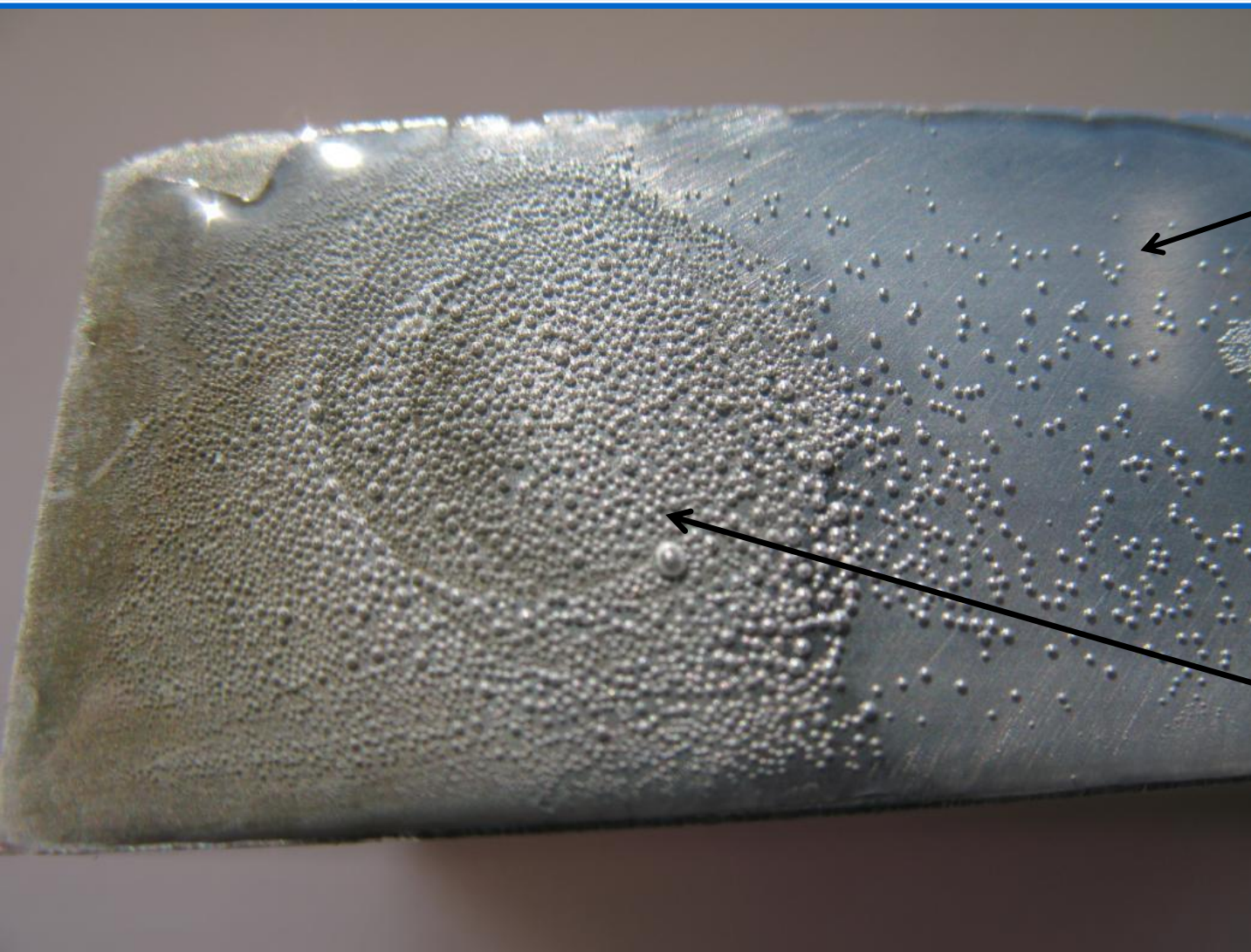


Поле поперечных напряжений
(после циклических нагружений)

- Изменение максимума продольных напряжений
 $\Delta\sigma = 50$ МПа
- Изменение максимума поперечных напряжений
 $\Delta\sigma = 40$ МПа

изменения растягивающих напряжений, сконцентрированных в вершине трещины, незначительны и не могут оказать влияния на ее прирост.

Поверхностная глицериновая проба



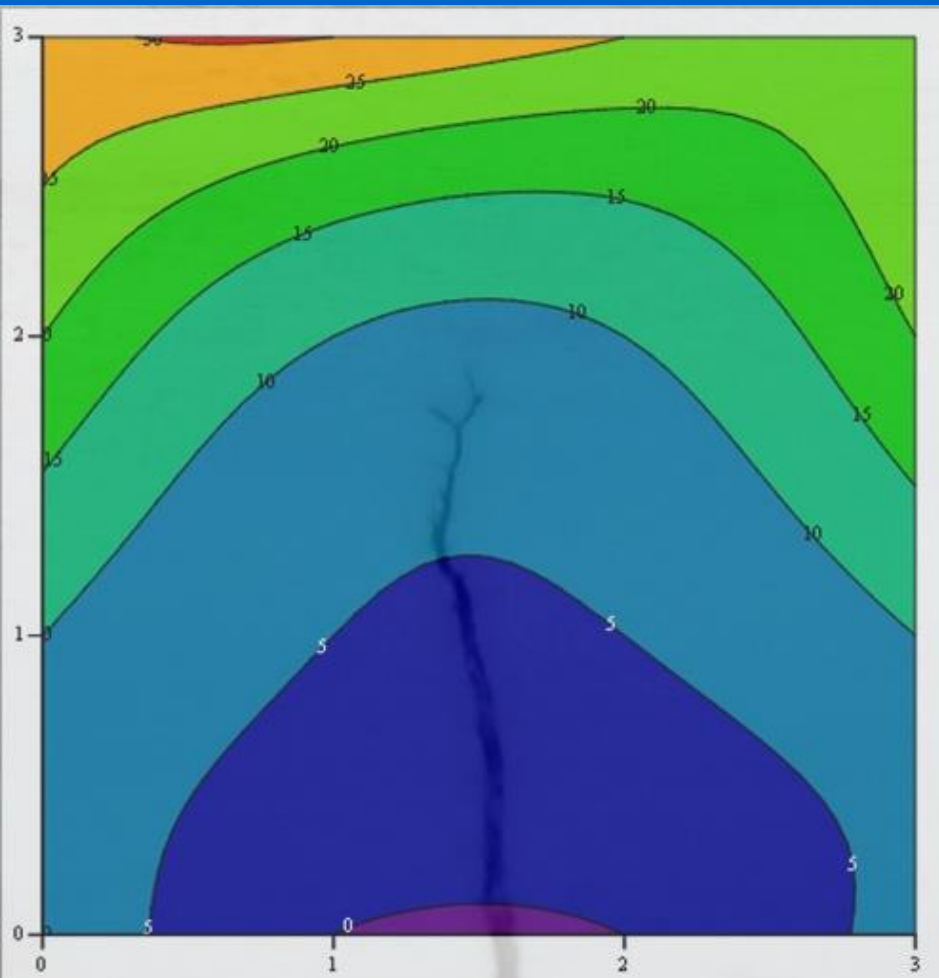
Область
механической
полировки
(сжимающие
напряжения)

Область
электро-
химической
Полировки
(напряжения
устранены)

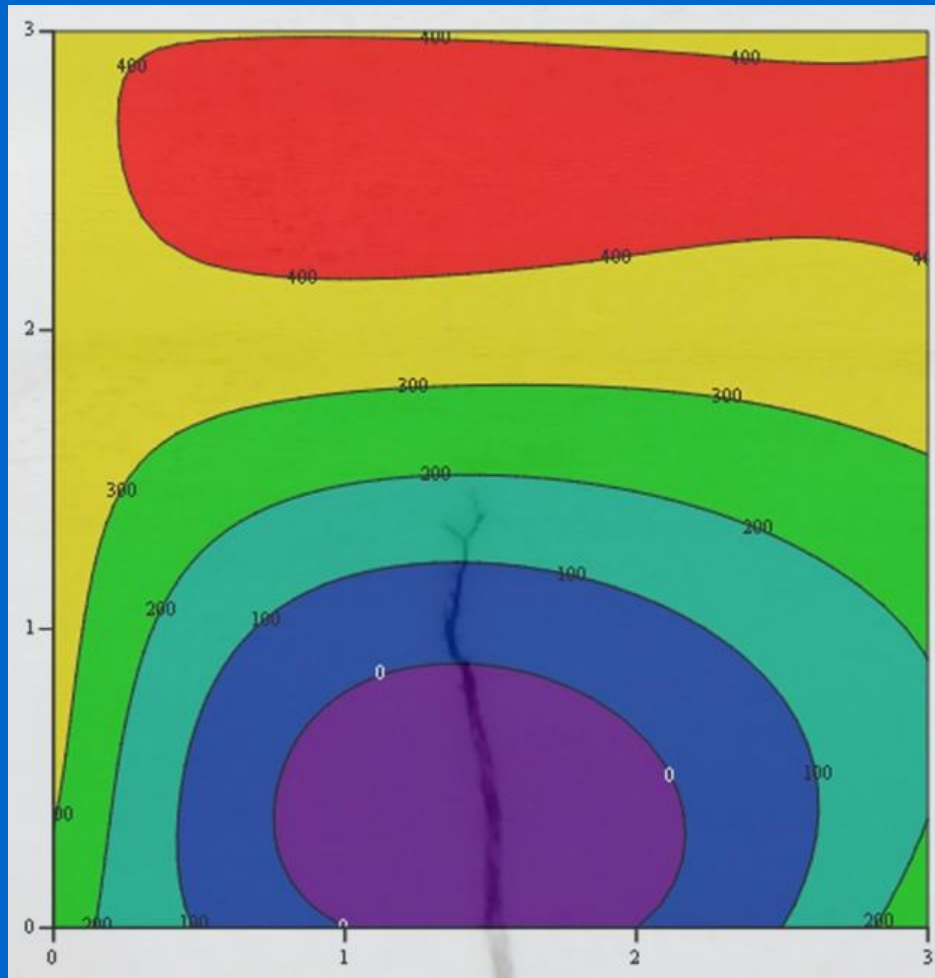
Выбор образца для проведения процедуры наводораживания



Контроль уровня остаточных напряжений (до и после наводораживания).



ДО



ПОСЛЕ

Растягивающие напряжения в металле после наводораживания достигают уровня в районе 400 МПа, что достаточно близко к пределу текучести трубных сталей.

- 1. По результатам натуральных гидравлических испытаний трубных элементов установлено отсутствие развития стресс-коррозионных трещин глубиной менее 10% от толщины стенки трубы при механических нагрузках, соответствующих фактическим эксплуатационным, при условии исключения электрохимической составляющей процесса. Рост трещин зафиксирован при давлении в 15,6 МПа, что в два раза превышает проектное давление в трубопроводе.**
- 2. По результатам лабораторных испытаний образцов металла труб с неглубокими дефектами КРН подтверждено отсутствие их прироста по усталостному механизму.**

3. Результаты механических испытаний стандартных образцов свидетельствуют о соответствии прочностных свойств металла из дефектных областей техническим условиям на трубную продукцию

4. Остаточные растягивающие напряжения в металле труб после его наводораживания достигают уровня близкого к пределу текучести исследуемой трубной стали.

Спасибо за внимание!

Мишарин Дмитрий Андреевич

Тел.: +7 (922) 467-87-12

Email: misharinda@itc.ptg.gazprom.ru

