ООО НАУЧНО-КОММЕРЧЕСКАЯ ФИРМА « СБК »
РФ, 152912, г. Рыбинск, Ярославской обл., ул. Зои Космодемьянской, 33-33
тел./факс: (4855) 216-504, +7 9108137542, E-mail: bukaty_sa@mail.ru

Автоматизированная система определения остаточных напряжений АСБ-1 в ответственных деталях нефтегазодобывающей промышленности

Научный руководитель
д-р техн. наук, профессор Букатый С.А.

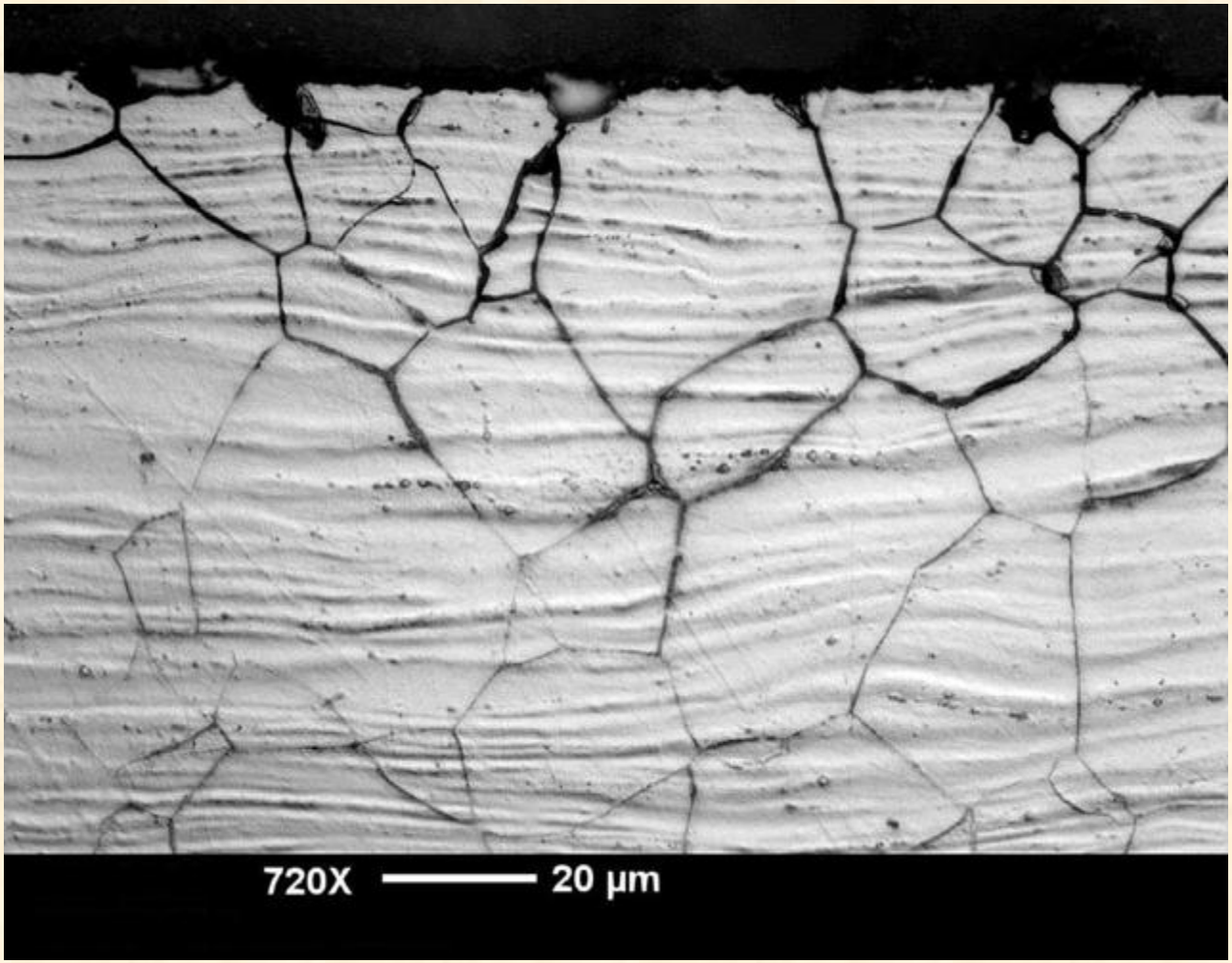
Факторы, влияющие на знак и величину остаточных напряжений

- Режимы резания
- Режимы шлифования
- Режимы поверхностной обработки (пескоструйная, упрочняющая)
- Термическая обработка
- Интенсивность нанесения покрытий

Остаточные напряжения перед операцией «Хромирование»



Трещины в гальваническом покрытии вследствие действия растягивающих остаточных напряжений



Разрушение покрытия вследствие действия растягивающих остаточных напряжений в покрытии



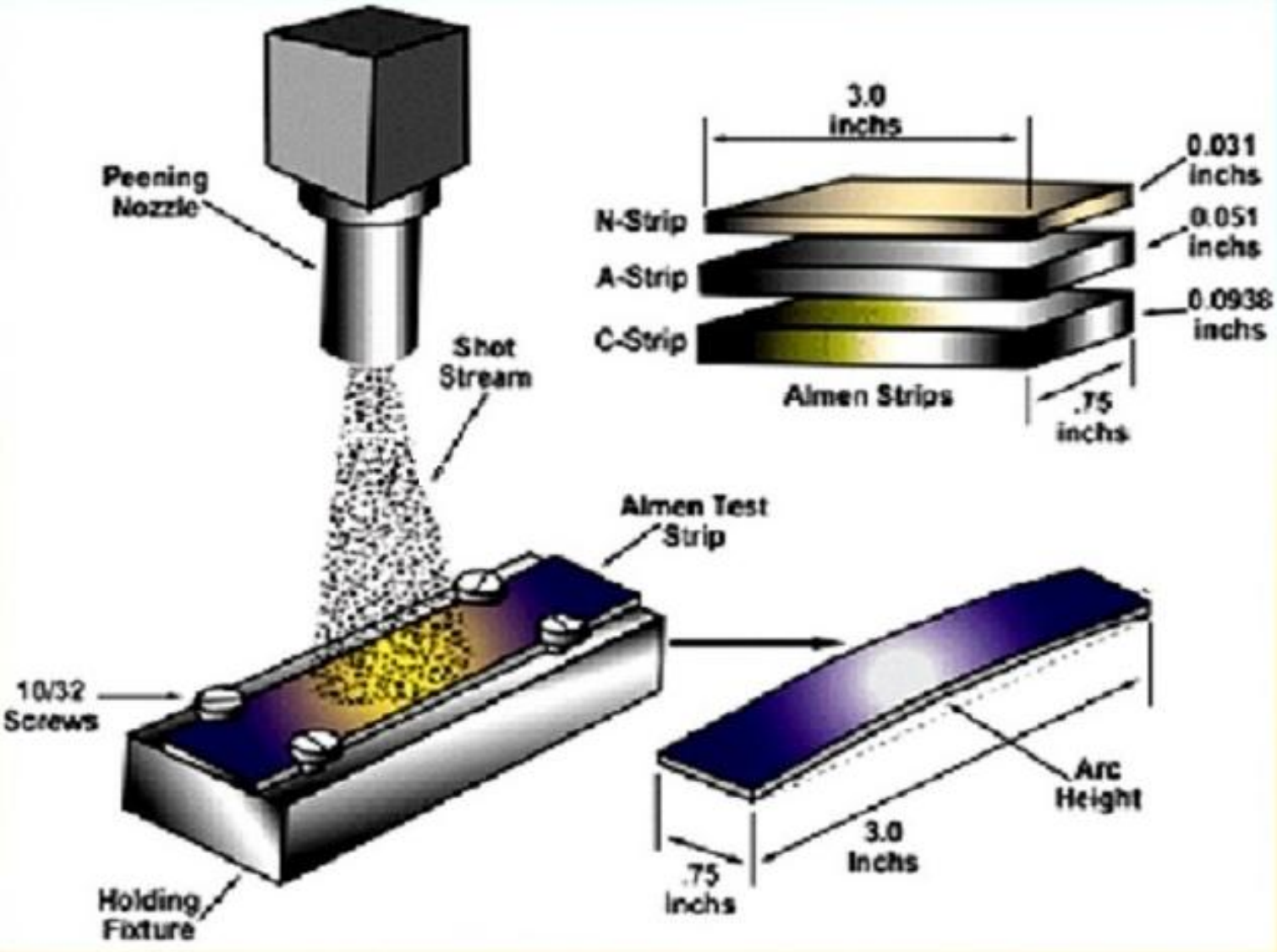
Деталь №2 (изготовлена по базовому ТП)

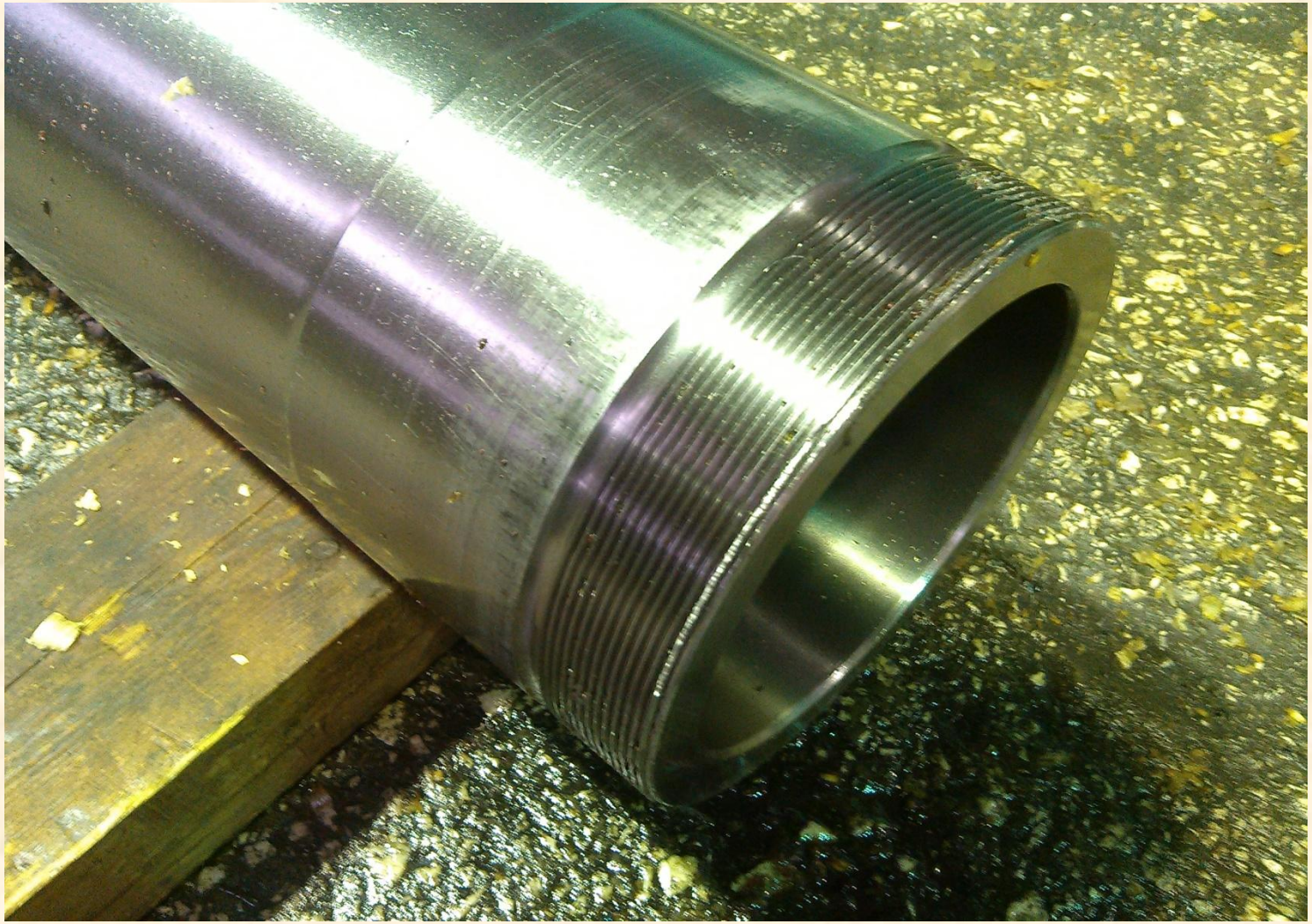
Негерметичность хромового покрытия



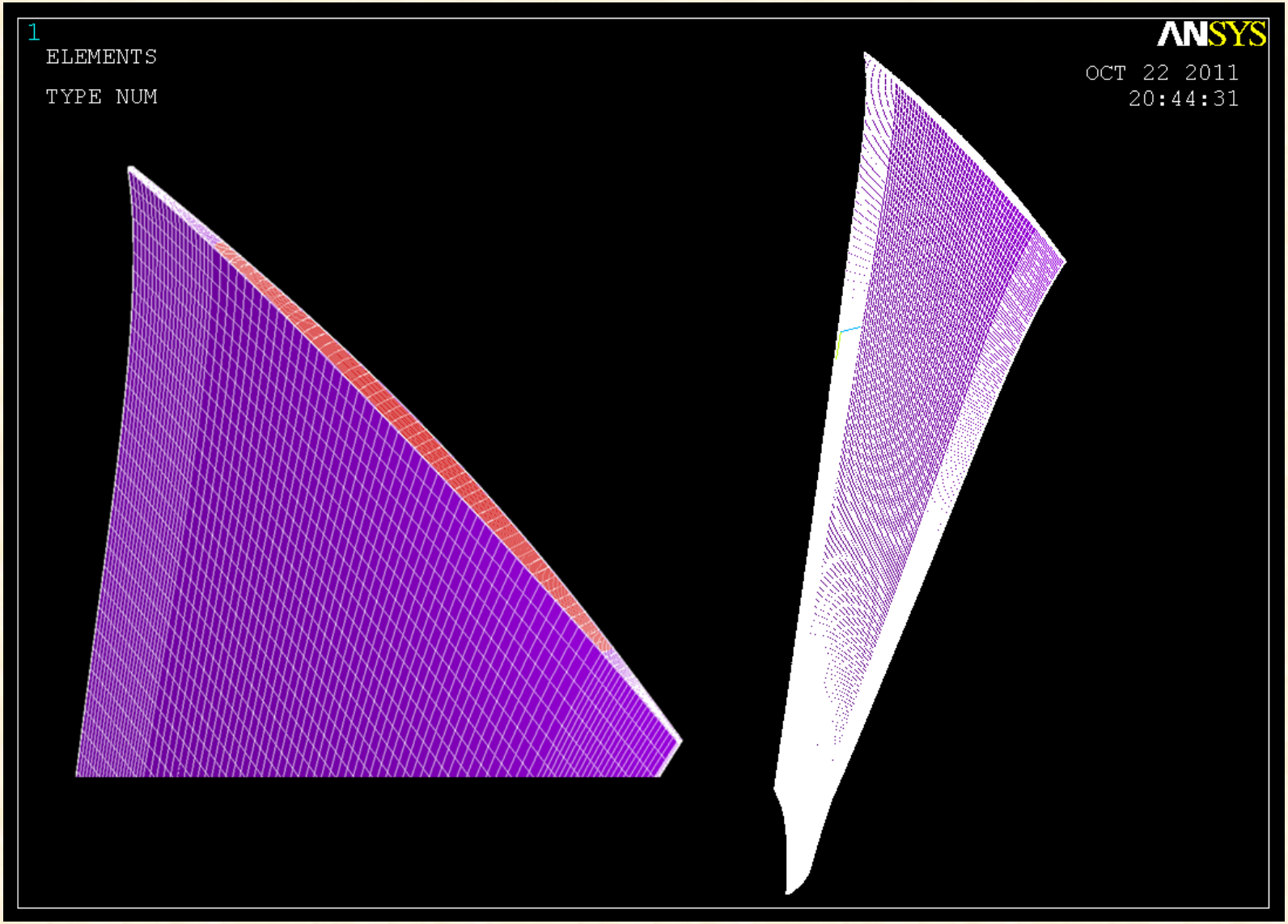
Утечки азота через пористую структуру хрома из полости оправки с давлением азота 150 Ат.

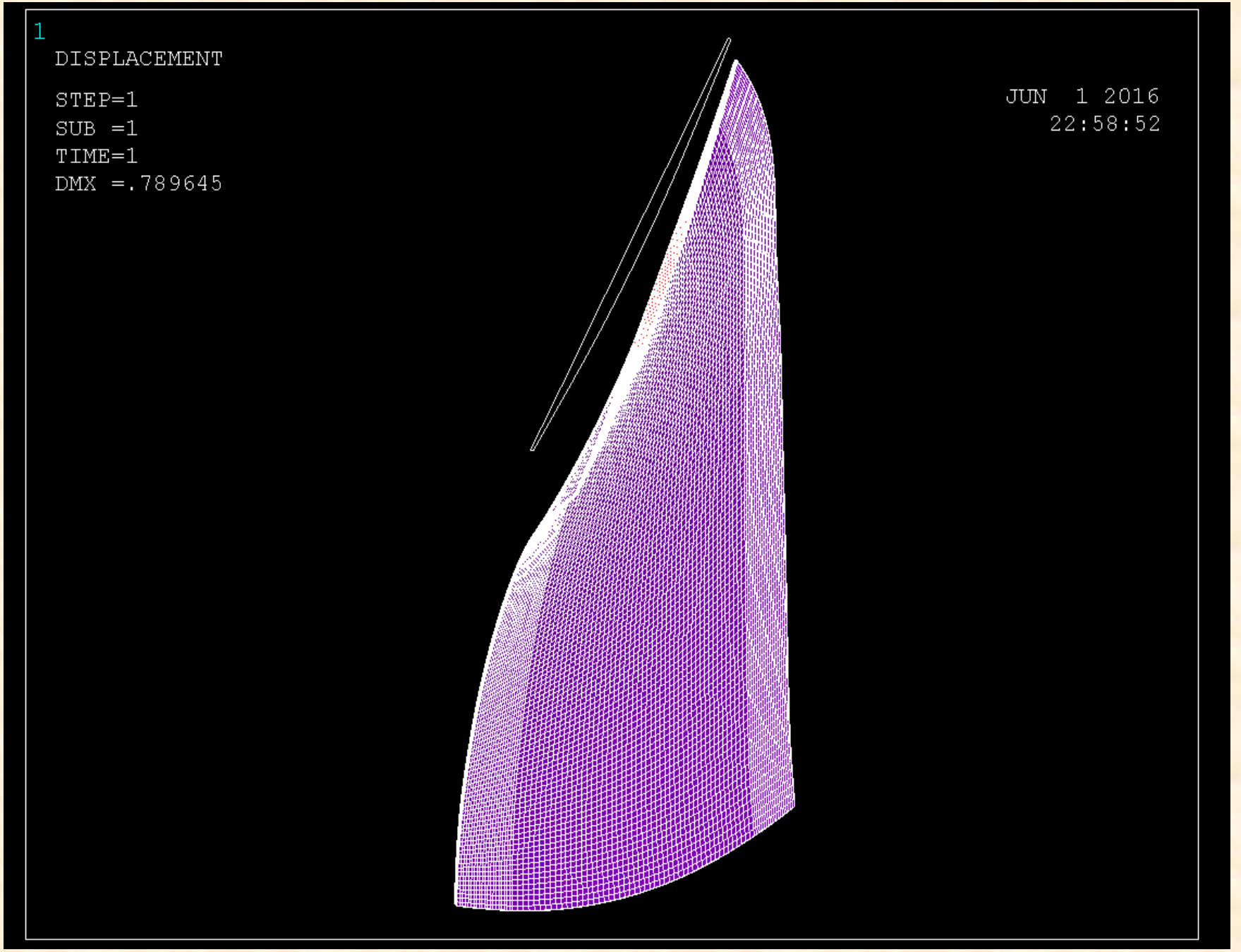
Упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием (микрошариками)





Увеличение диаметра


1
ELEMENTS
TYPE NUM
ANSYS
OCT 22 2011
20:44:31


1
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =1
TIME=1
DMX =.789645
JUN 1 2016
22:58:52

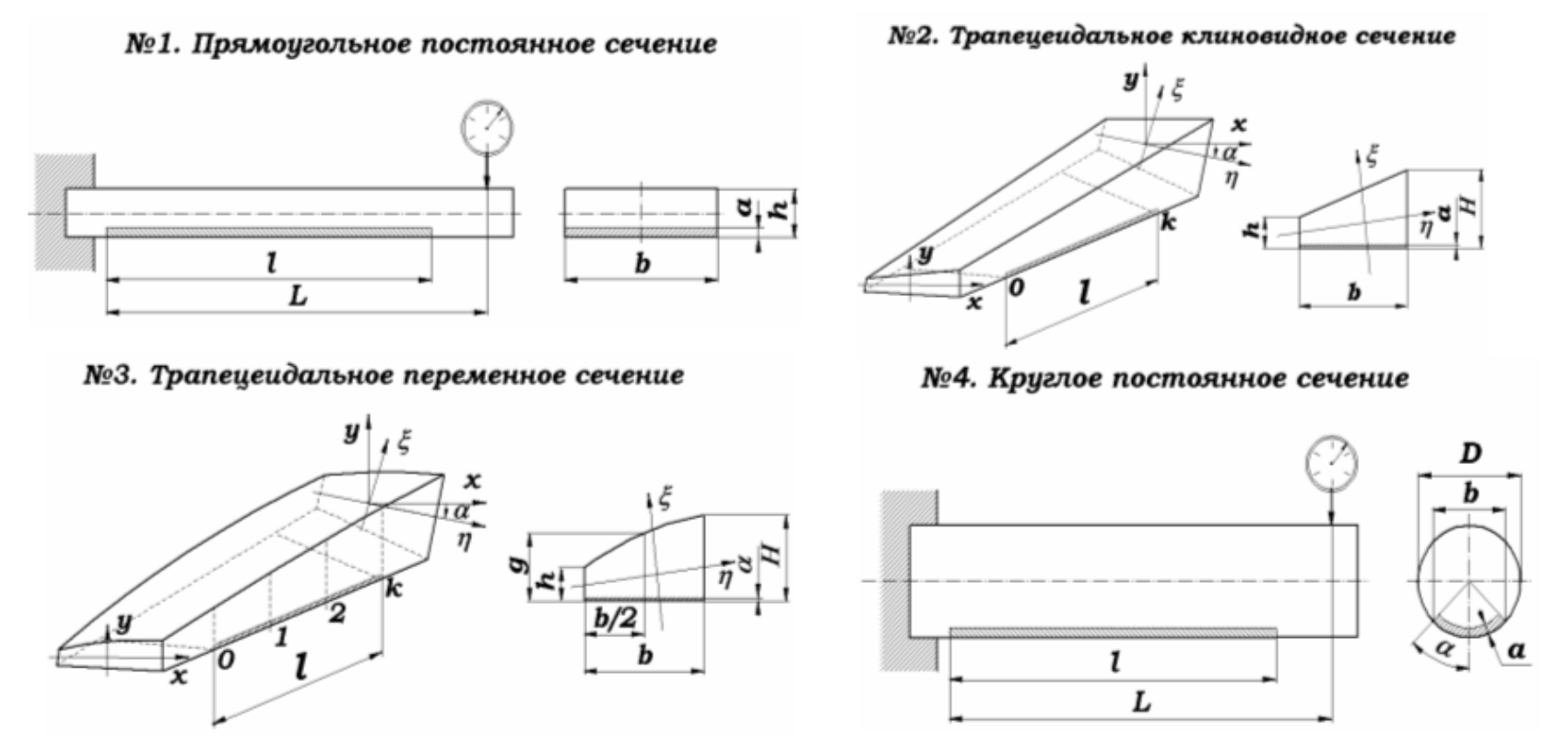
Расчёты на прочность с учётом остаточных напряжений

Цель работы: учёт остаточных напряжений, возникающих в поверхностном слое труб, штанг и прочих деталей, в процессе их изготовления и эксплуатации.

Автоматизированная система определения остаточных напряжений АСБ-1



Типы образцов для определения остаточных напряжений



Определение остаточных напряжений на установке АСБ-1

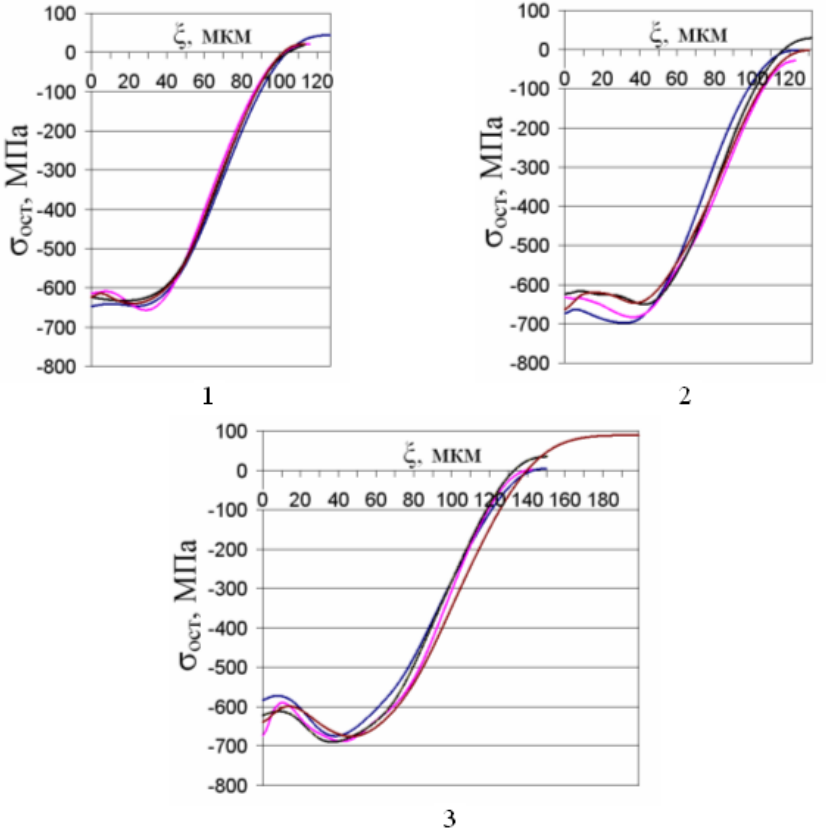




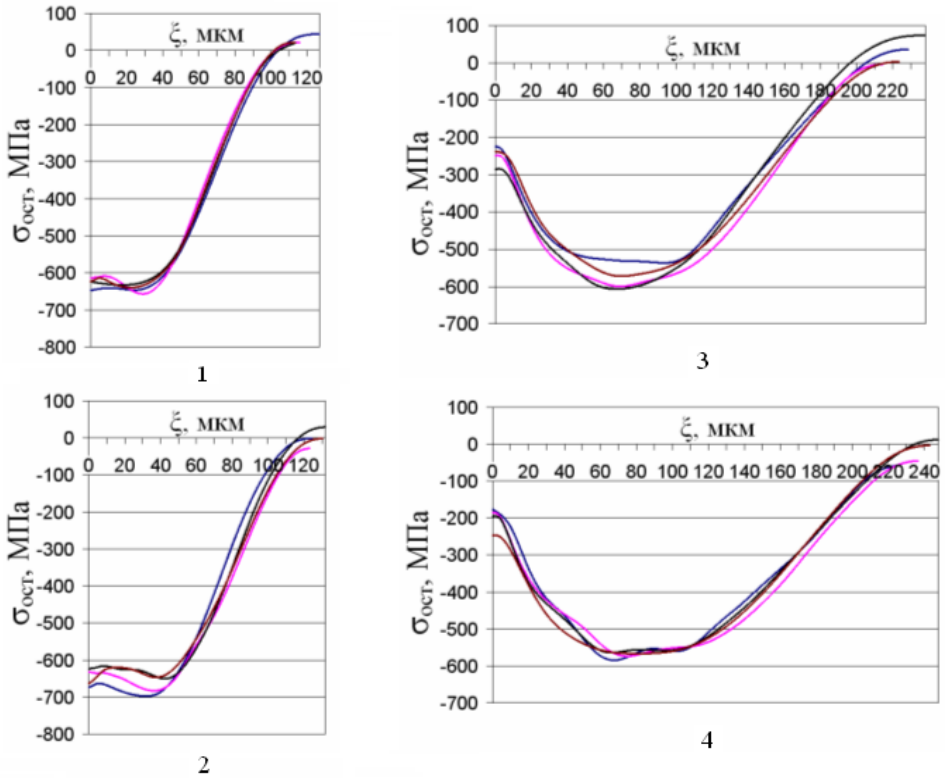
Образцы секторного сечения

для определения остаточных напряжений

Определение Остаточных Напряжений системой АСБ-1

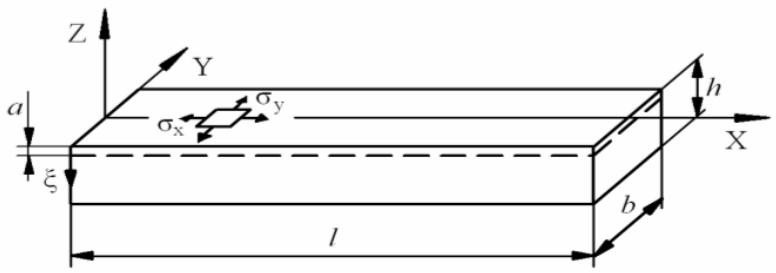


Эпюры ОН в плоских образцах из материала ЭИ-698 ВД
после упрочнения стеклянными микрошариками Ø250 мкм
(ОН определялись на приборе АСБ – 1)
1 – при давлении $p = 0.2$ МПа; 2 – при давлении $p = 0.3$ МПа;
3 – при давлении $p = 0.4$ МПа.



Эпюры ОН в плоских образцах из материала ЭИ-698 ВД
после упрочнения стальными микрошариками Ø315 мкм
(ОН определялись на приборе АСБ – 1)
1 – при давлении $p = 0.15$ МПа; 2 – при давлении $p = 0.30$ МПа;
3 – при давлении $p = 0.45$ МПа; 4 – при давлении $p = 0.60$ МПа.

Энергетический метод моделирования технологических остаточных напряжений и деформаций в поверхностном слое деталей



Ориентация системы координат и направления остаточных напряжений

$$U_{д} = \Delta U_{a} = f(U_{a})$$

Uд – энергия упругой деформации деталей

ΔUa – изменение энергии поверхностного слоя a

В общем случае:

$$u_0 = \frac{1}{2E}[\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)],$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – главные начальные напряжения.

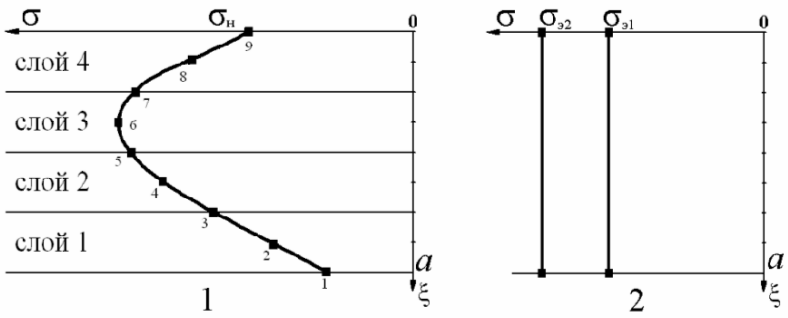
В случае плоского напряженного состояния:

$$\sigma_1 = 0, \qquad \sigma_2 = \sigma_3 = \frac{\sigma_н}{1-\mu},$$

$$u_0 = \frac{\sigma_н^2}{(1-\mu)\cdot E}.$$

Моделирование технологических остаточных напряжений и деформаций на основе метода конечных элементов в системе ANSYS

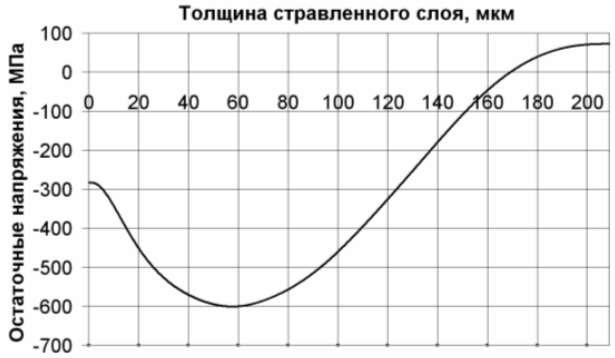
Моделирование упрочненного поверхностного слоя



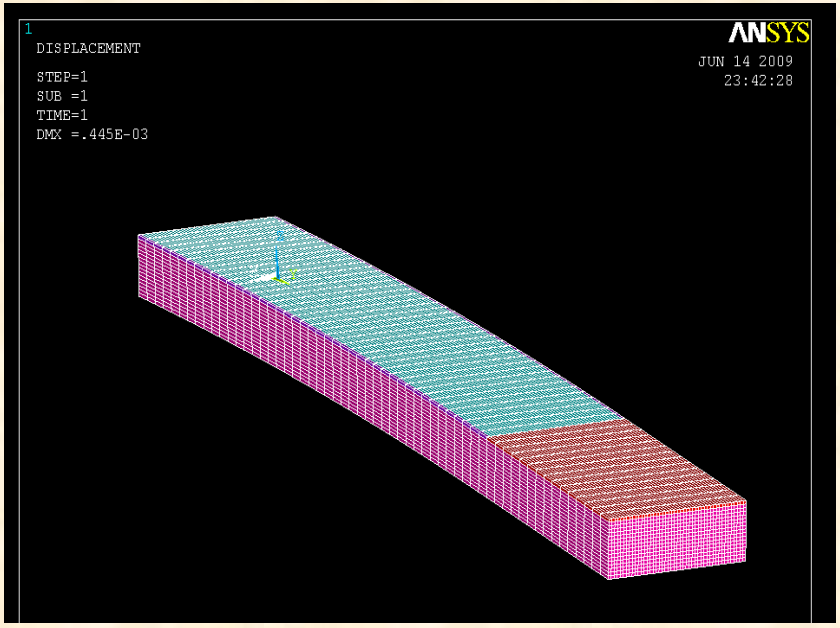
Структура упрочненного поверхностного слоя

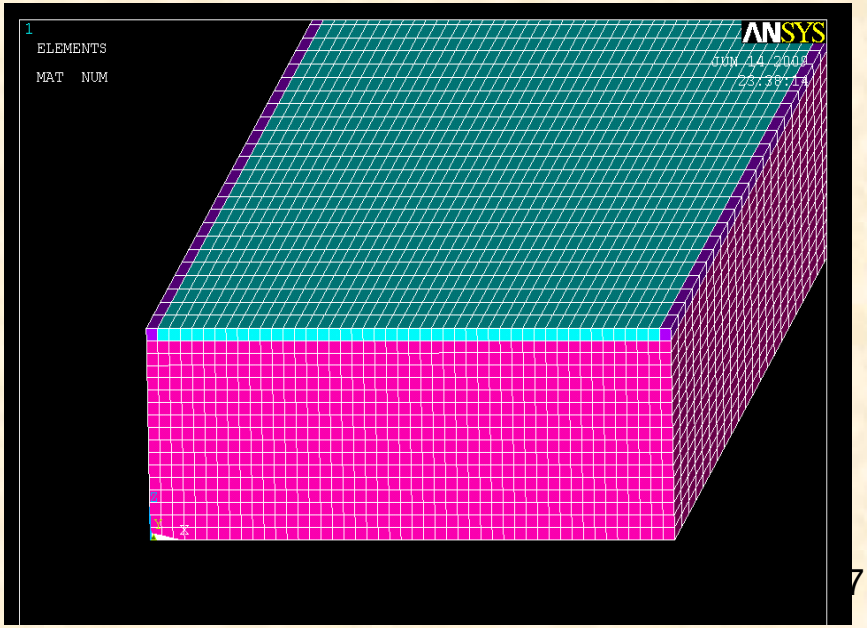
Деформации деталей типа “Стержень”

P **возд = 0,3 МПа, *d*ш = 315мкм,*V*с = 30 мм/мин.**

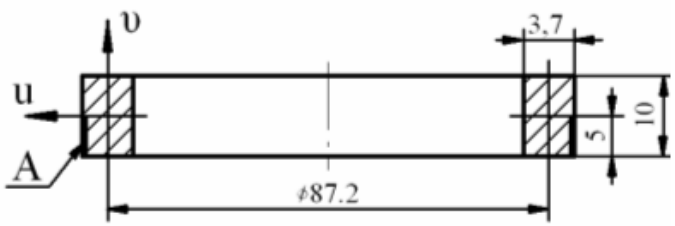


Распределение ОН после упрочнения на выбранном режиме

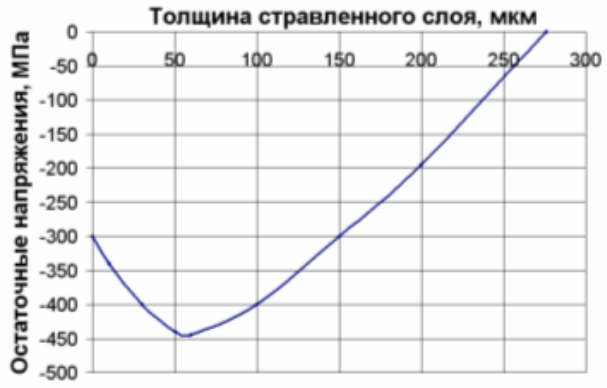




Моделирование остаточных напряжений в деталях типа “Кольцо”

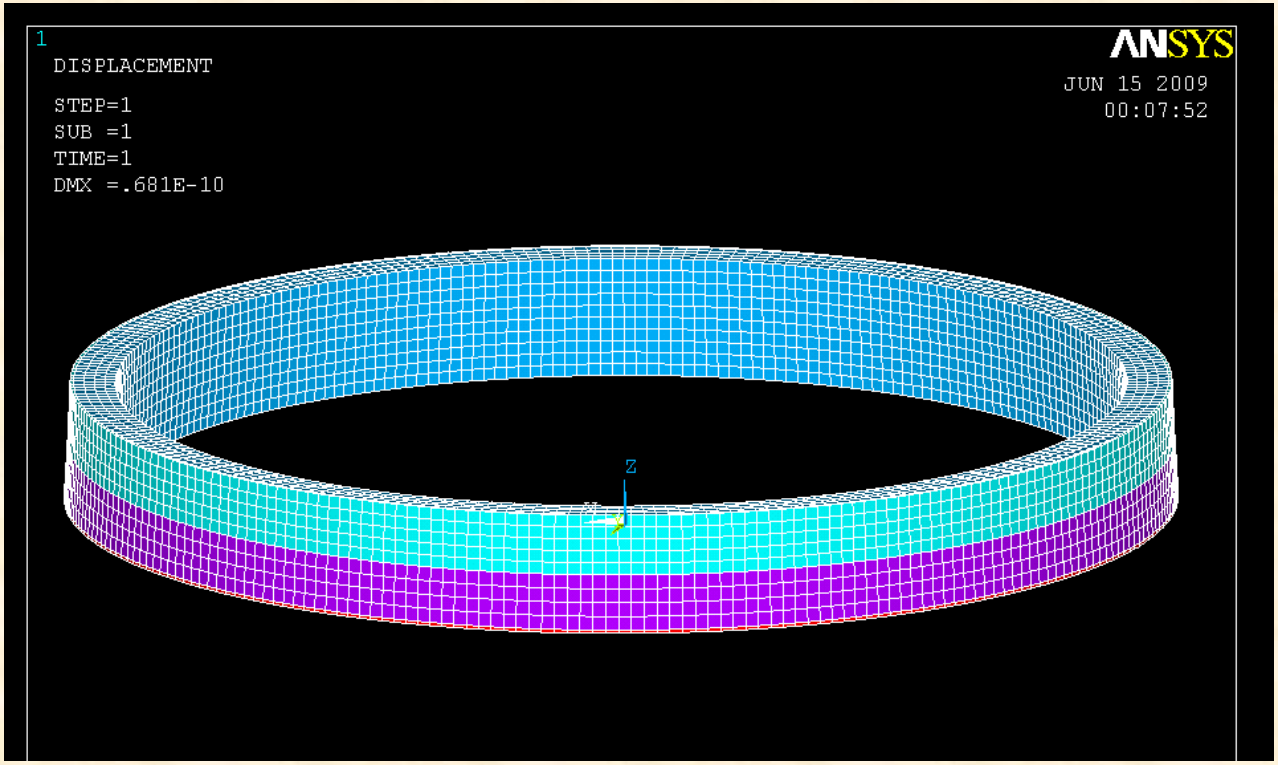


Кольцевой образец
А – обработанная поверхность

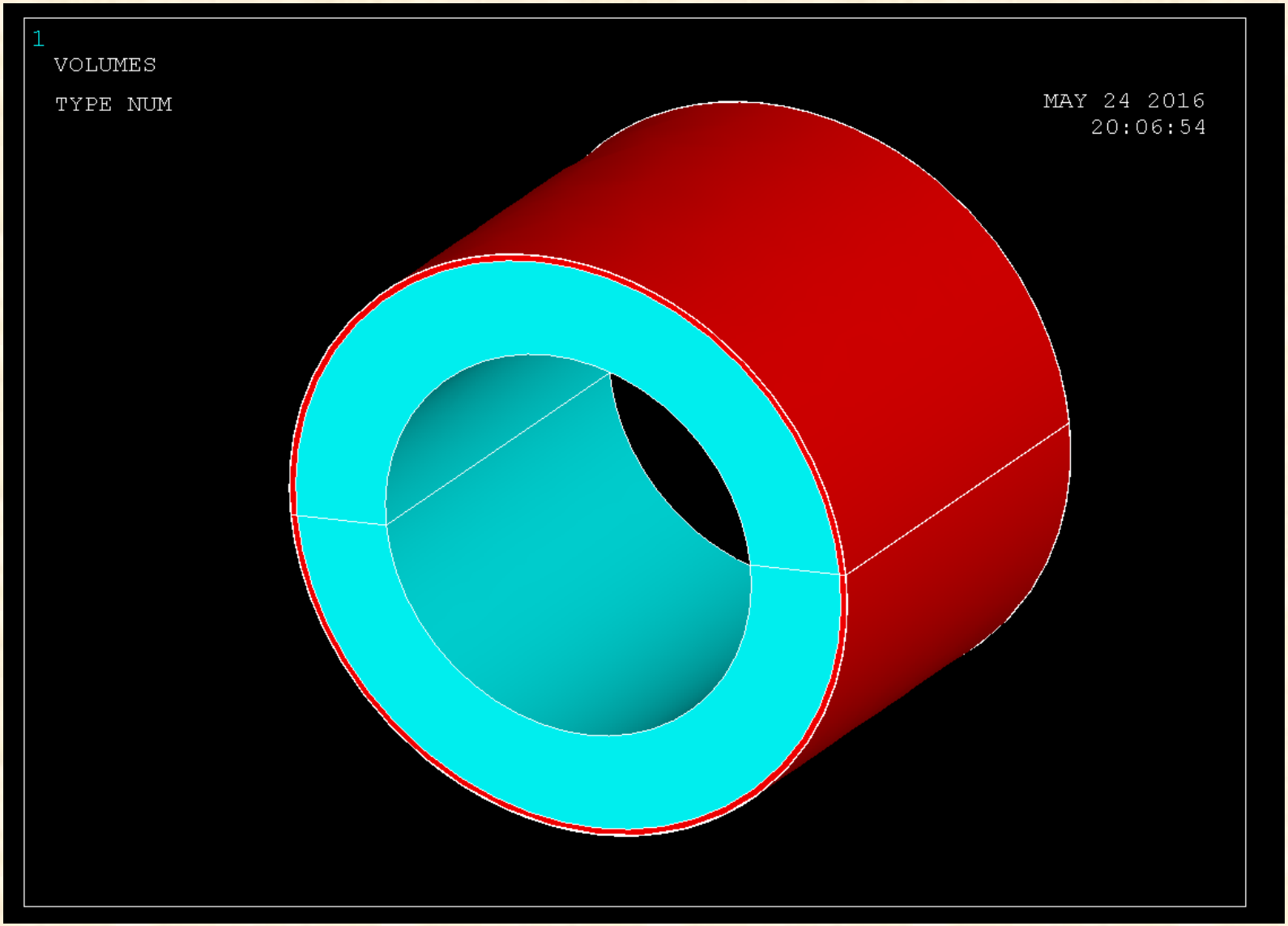


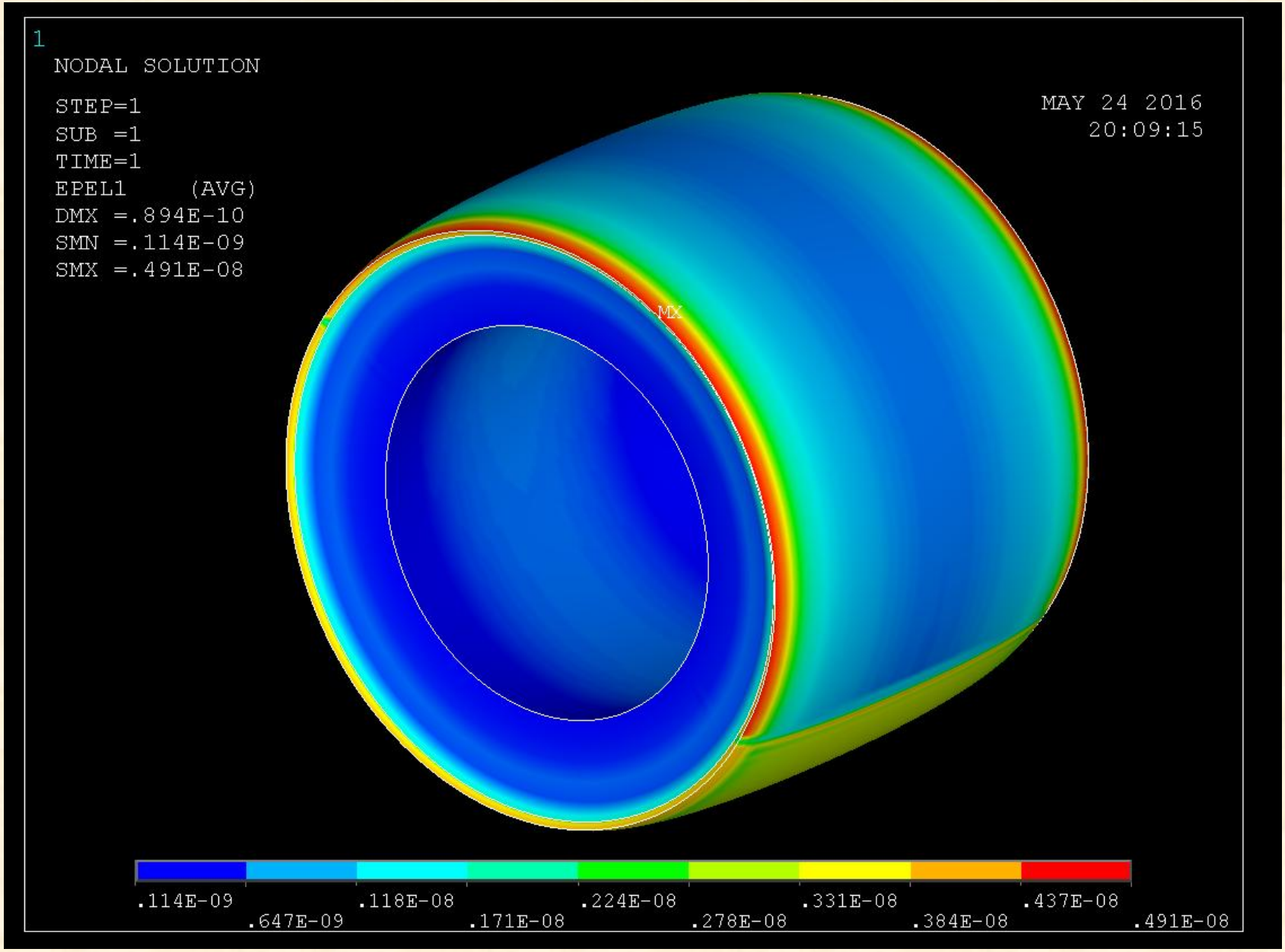
Распределение ОН после дробеструйной обработки

***p*возд = 0,35 МПа**
Øш= 1,4 – 1,8 мм,
***t* = 8 мин.**



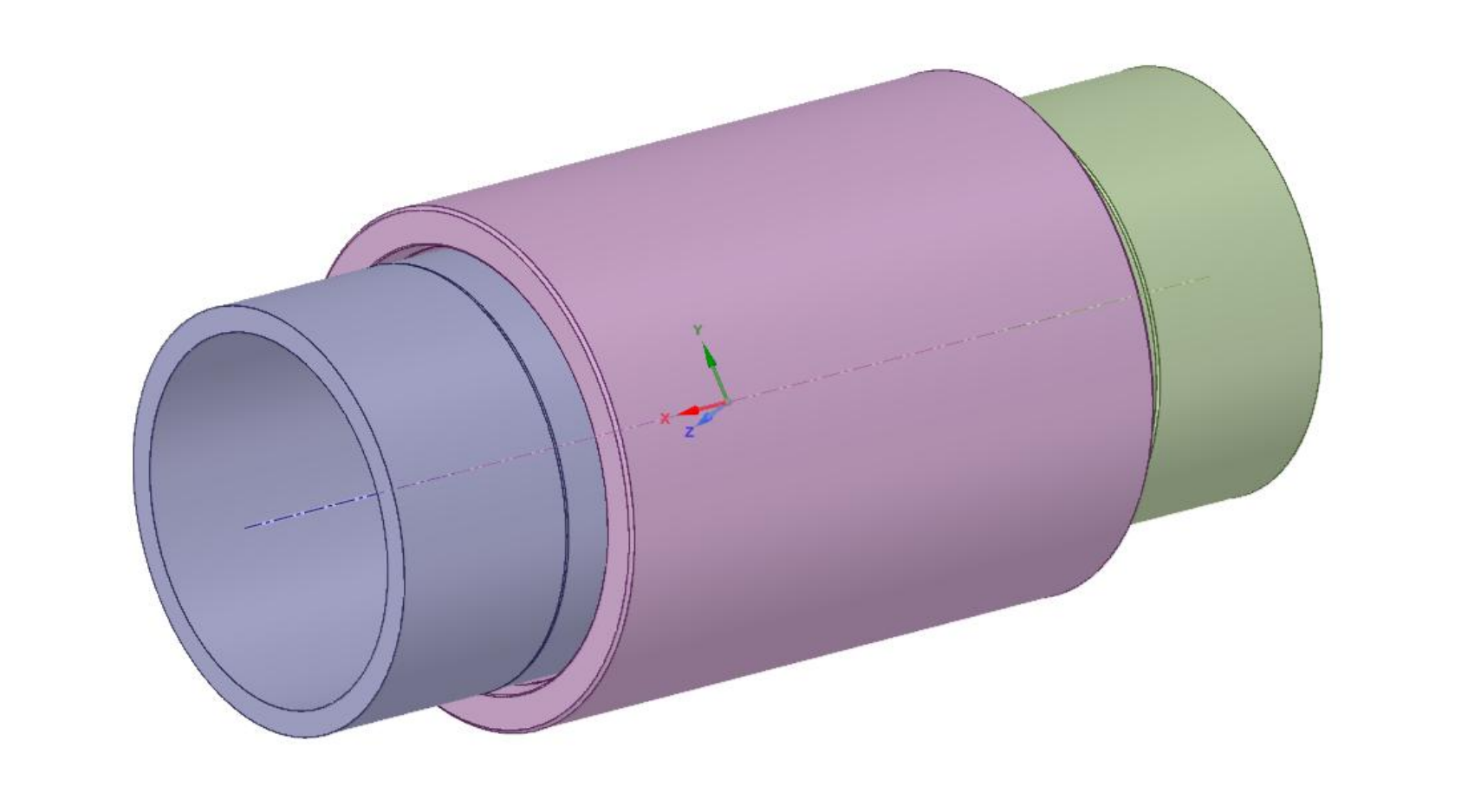
Расчёт на прочность трубопроводов с учётом остаточных напряжений в поверхностном слое



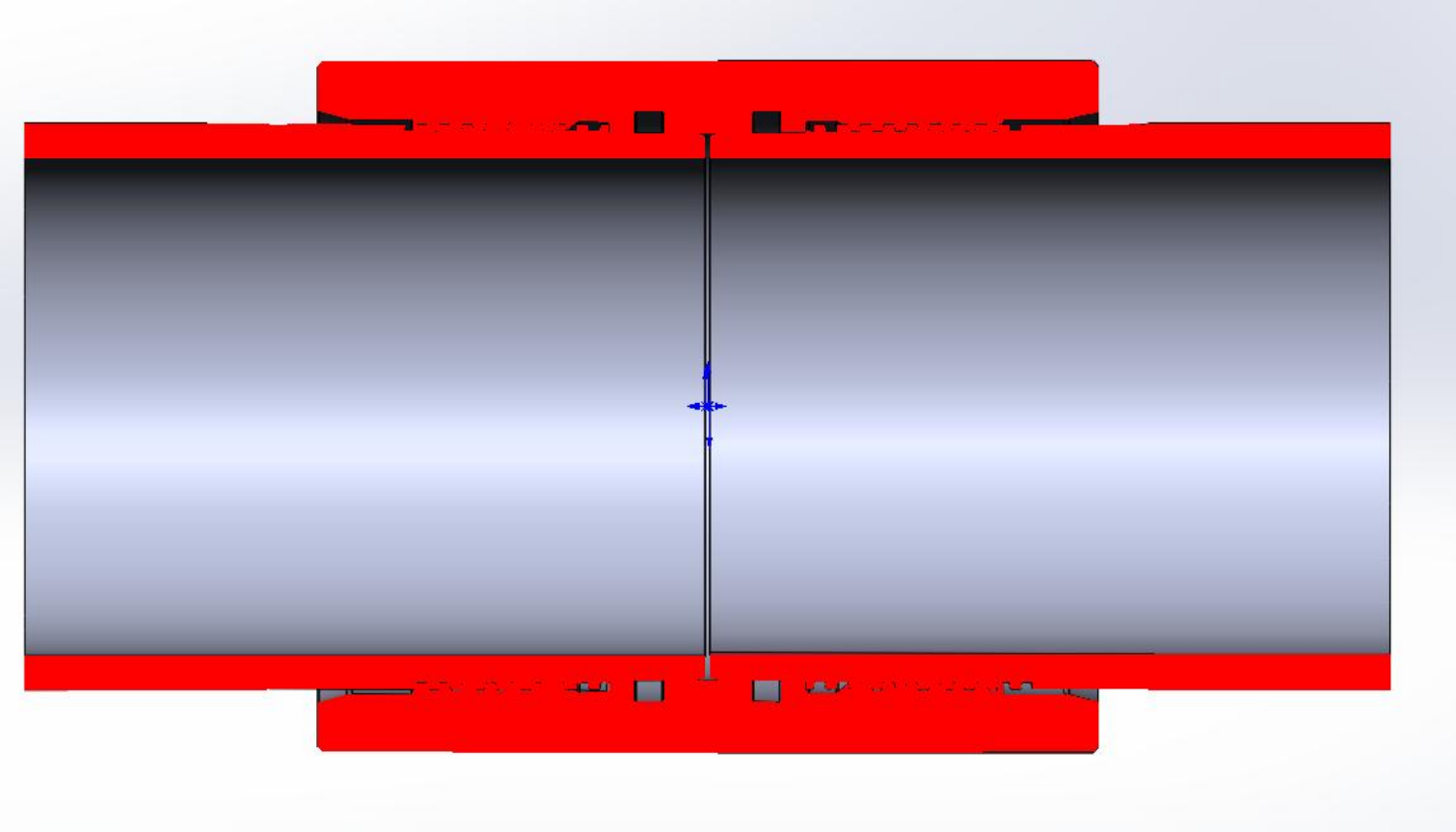

1
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
EPEL1 (AVG)
DMX =.894E-10
SMN =.114E-09
SMX =.491E-08
MAY 24 2016
20:09:15
MX
.114E-09
.647E-09
.118E-08
.171E-08
.224E-08
.278E-08
.331E-08
.384E-08
.437E-08
.491E-08

Моделирование и расчёты на прочность трубопроводов и их соединений с учётом остаточных напряжений, коррозии и прочих факторов снижающих надёжность и долговечность трубопроводов

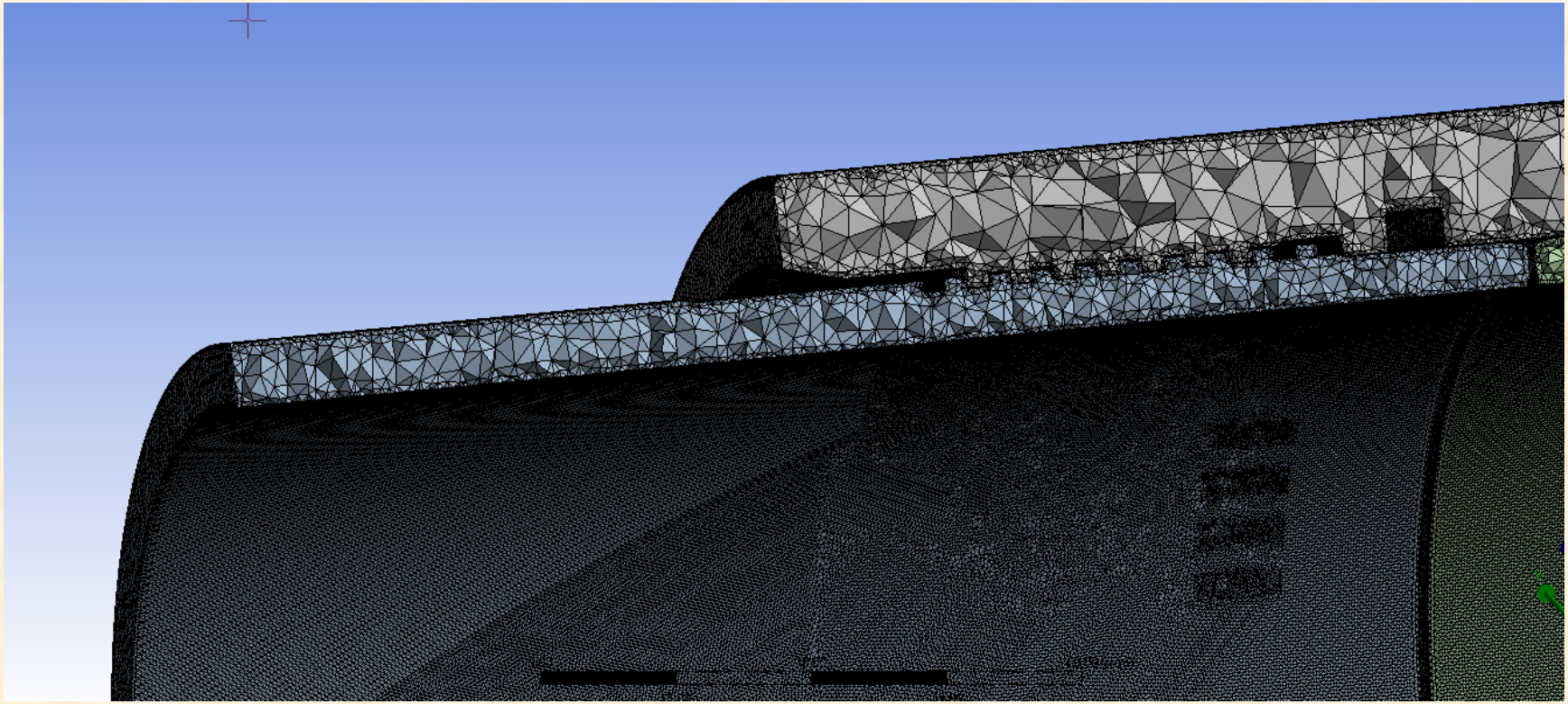
Конечно-элементные расчёты на прочность трубных соединений



Виртуальная модель соединения в разрезе

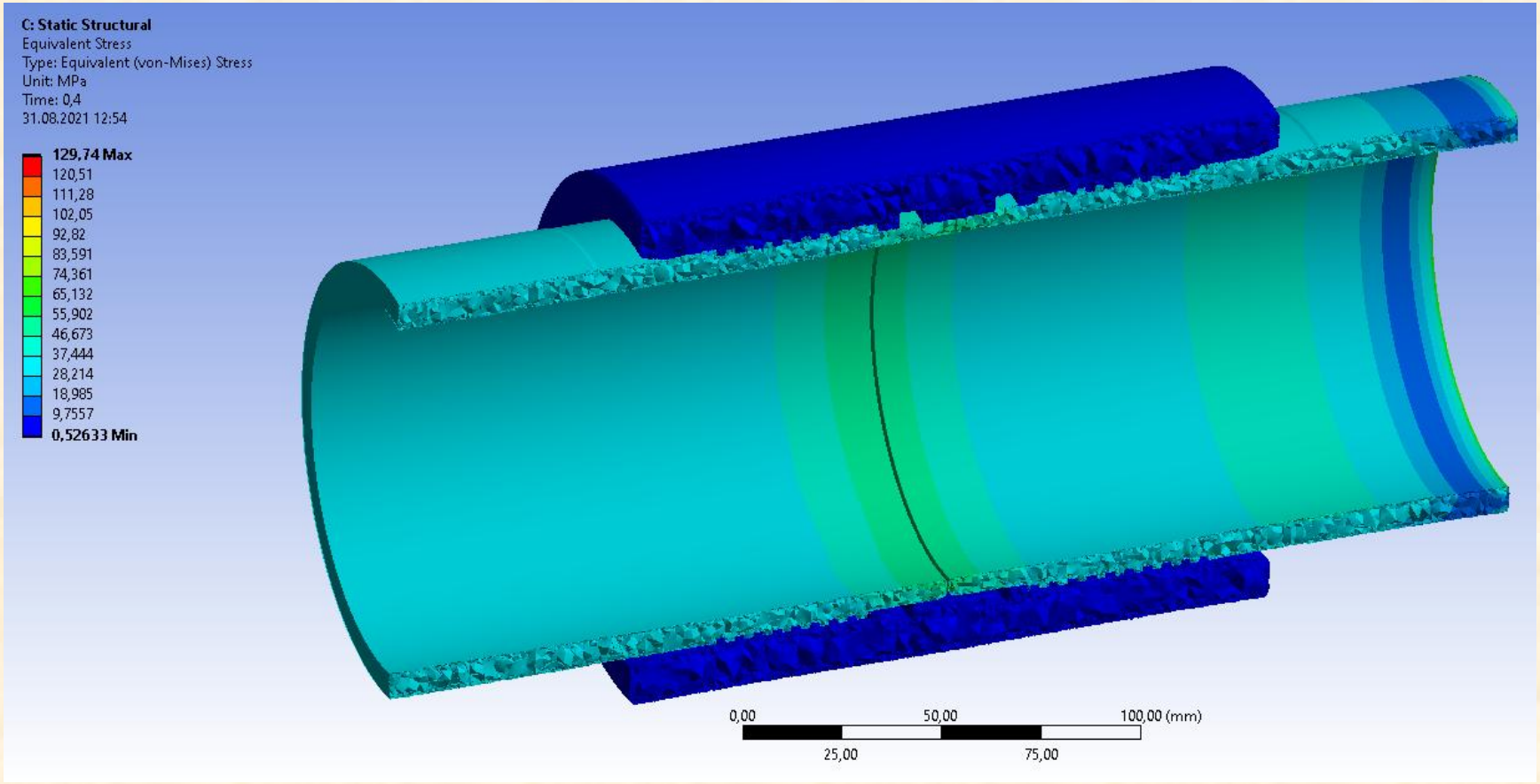


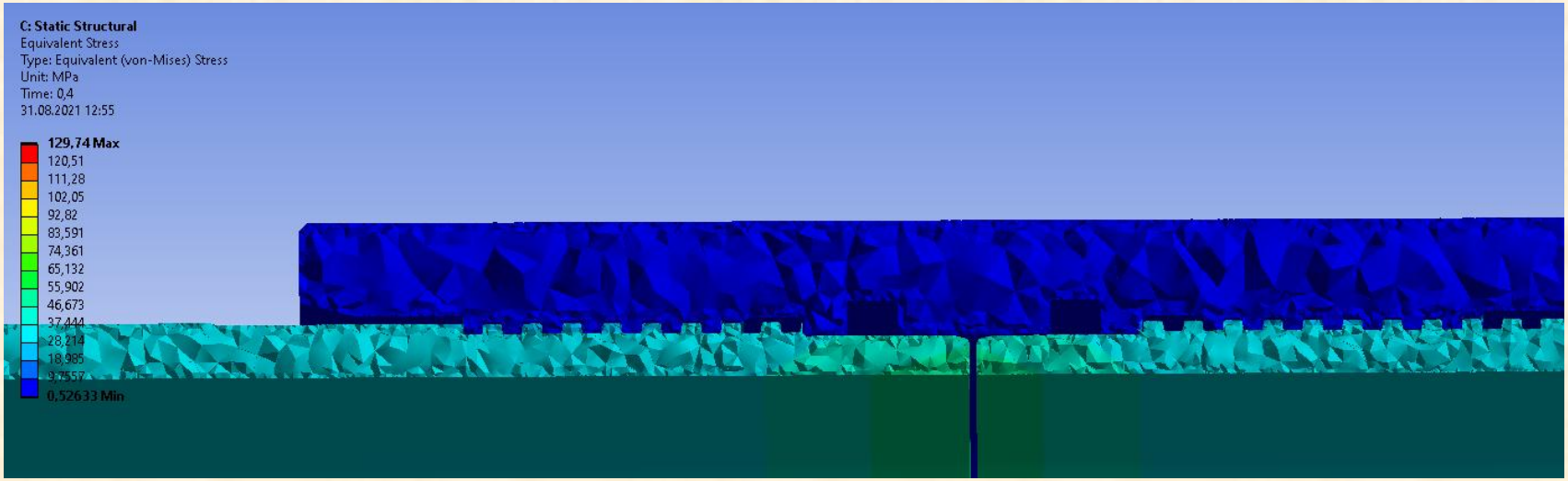
Конечно-элементная модель соединения



Материал труб 09Г2С
Материал муфты 32Г2
К модели было приложено рабочее давление 11МПа

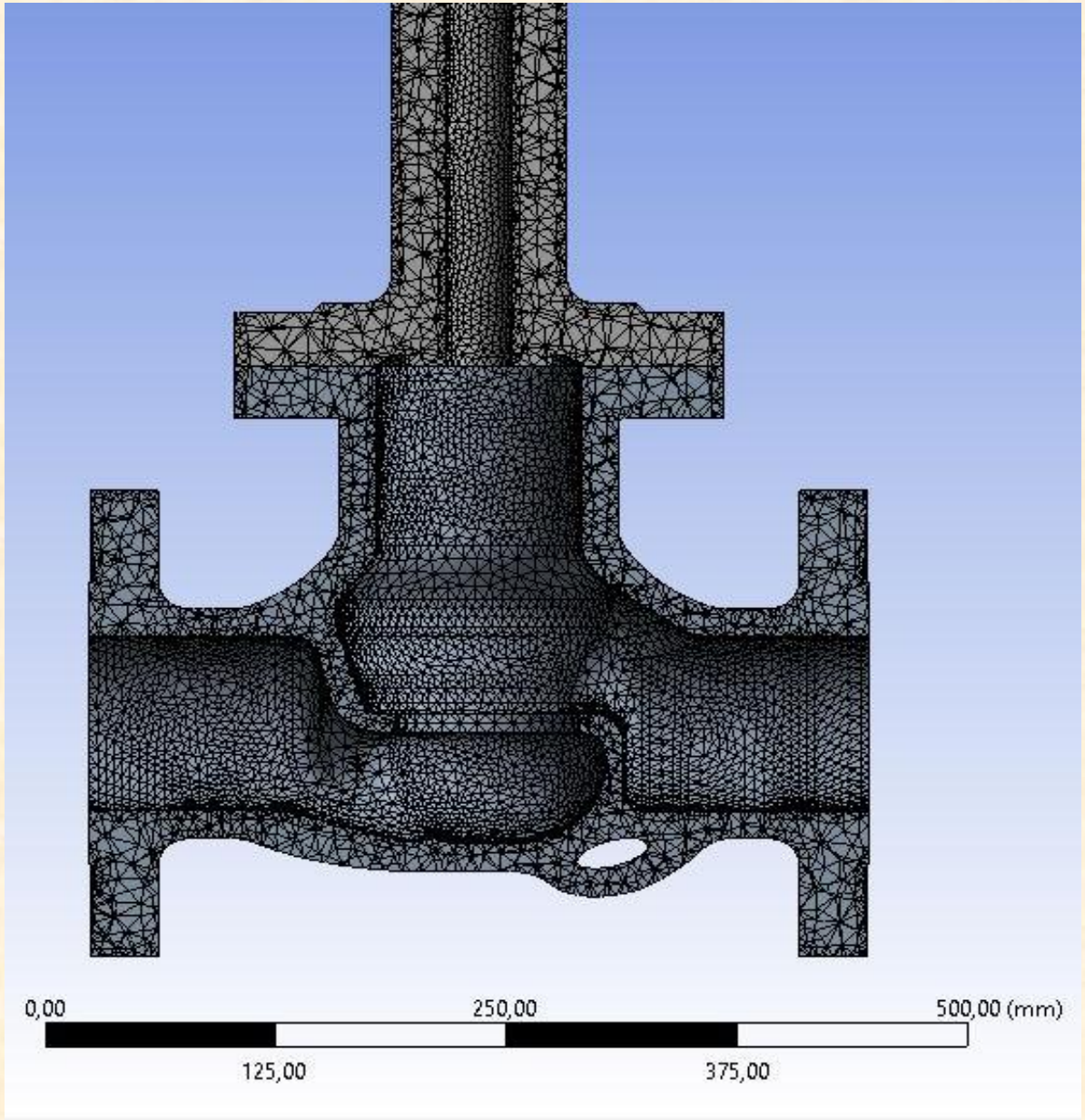
Результаты расчётов методом конечных элементов



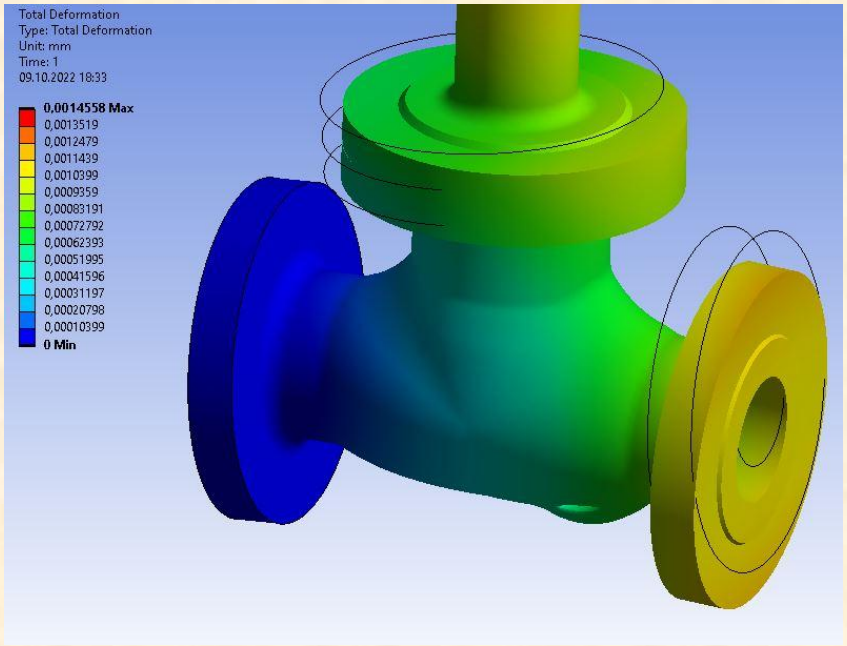


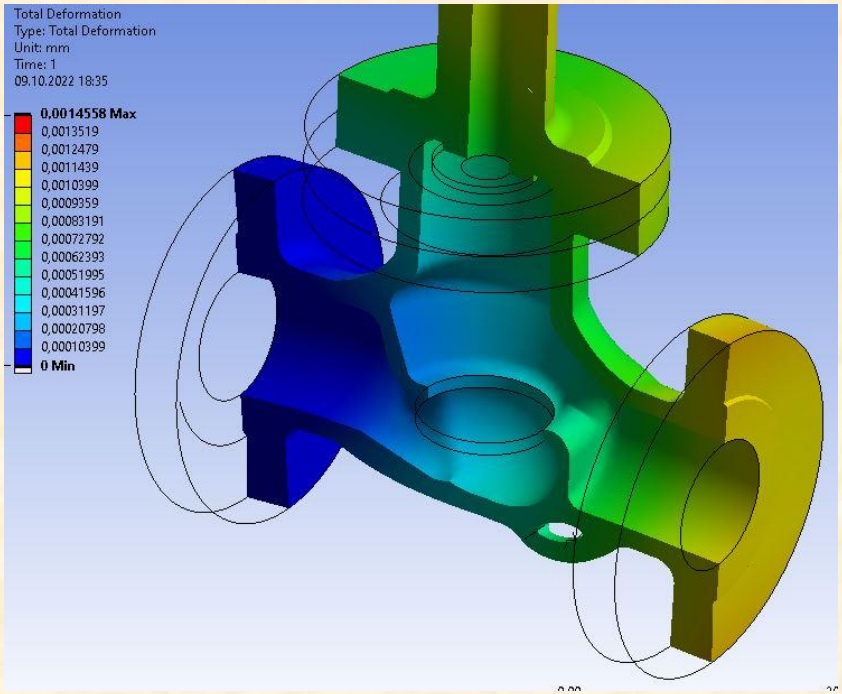
Результаты расчётов позволили получить распределение напряжений и определить наиболее нагруженную зону в соединении.

Анализ деформаций запорной арматуры DN100 PN100

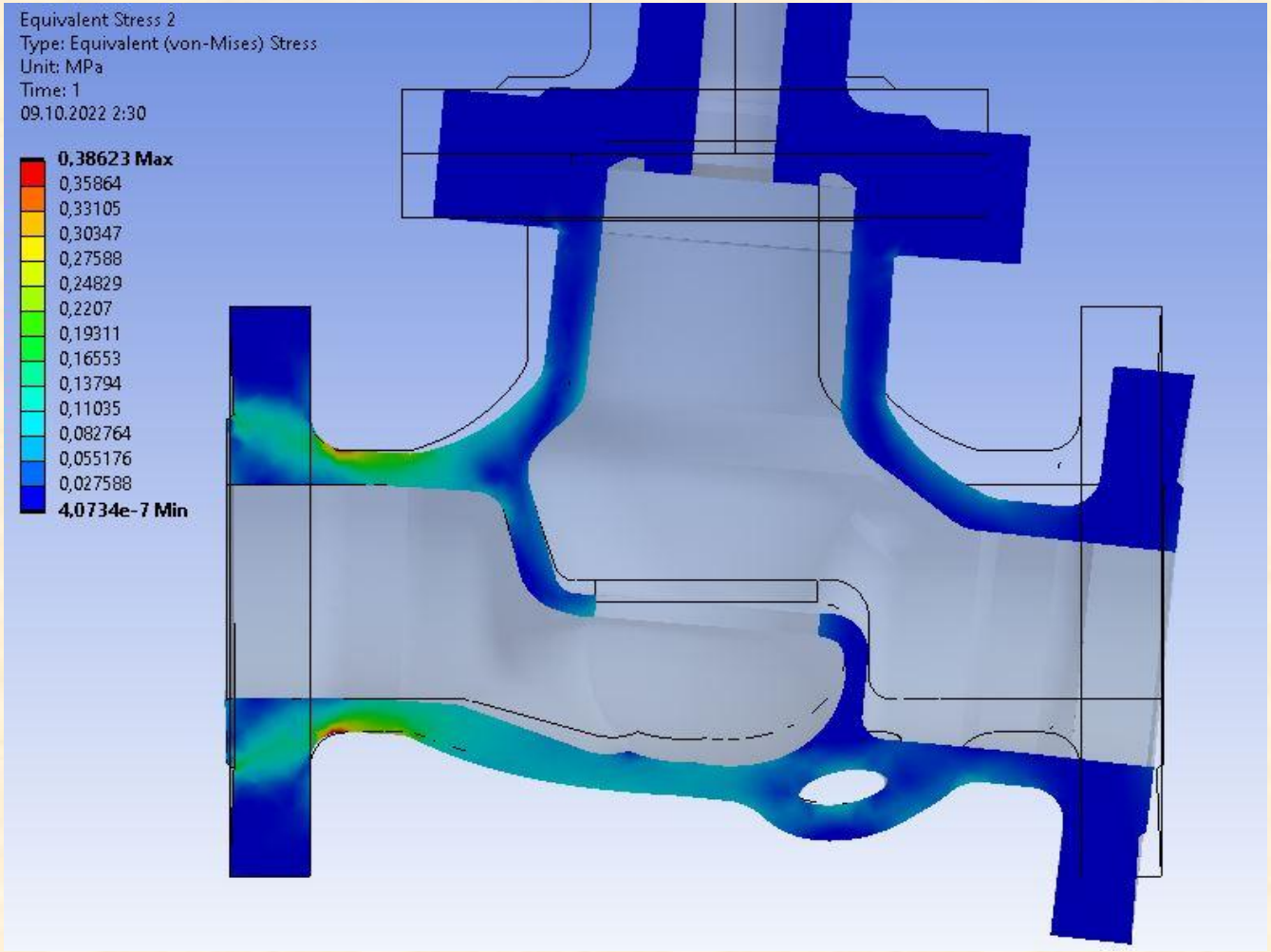

0,00
250,00
500,00 (mm)
125,00
375,00

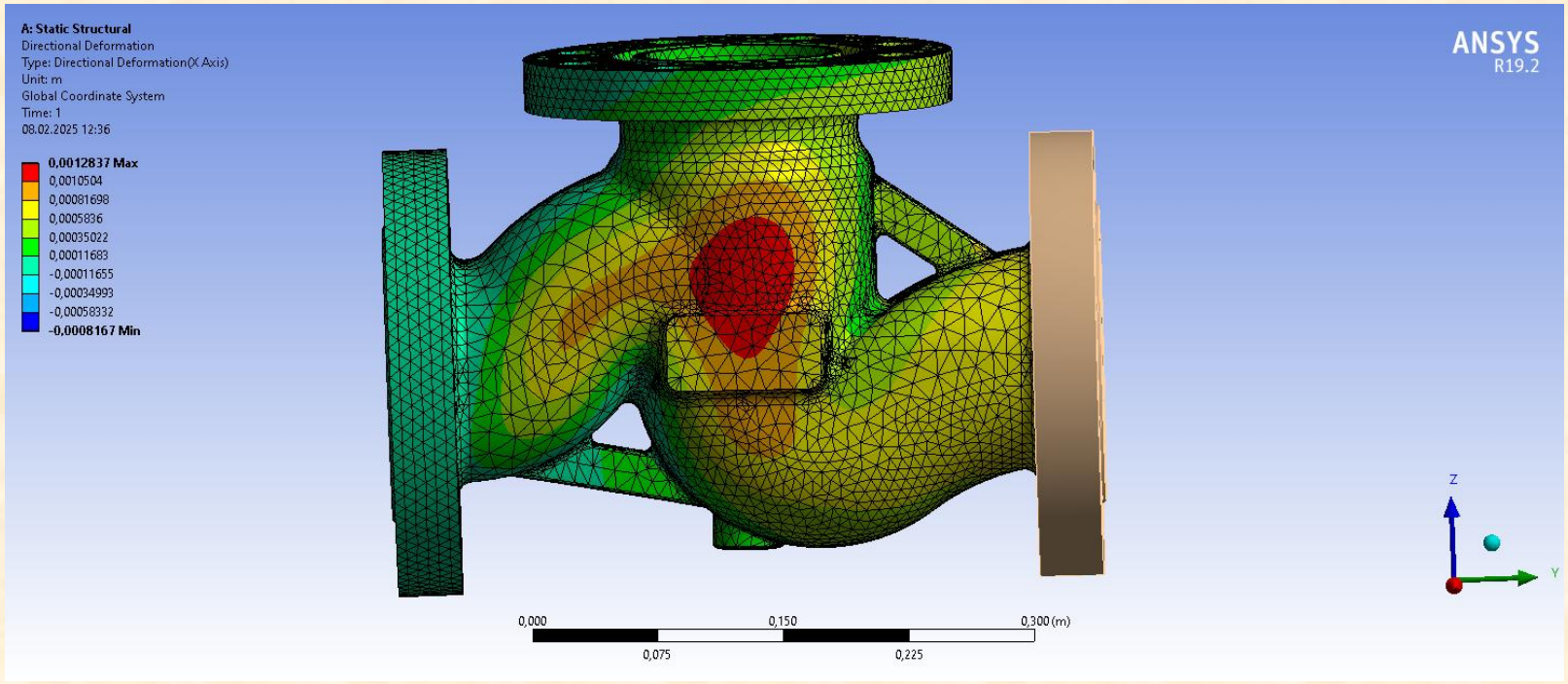
Деформации запорной арматуры

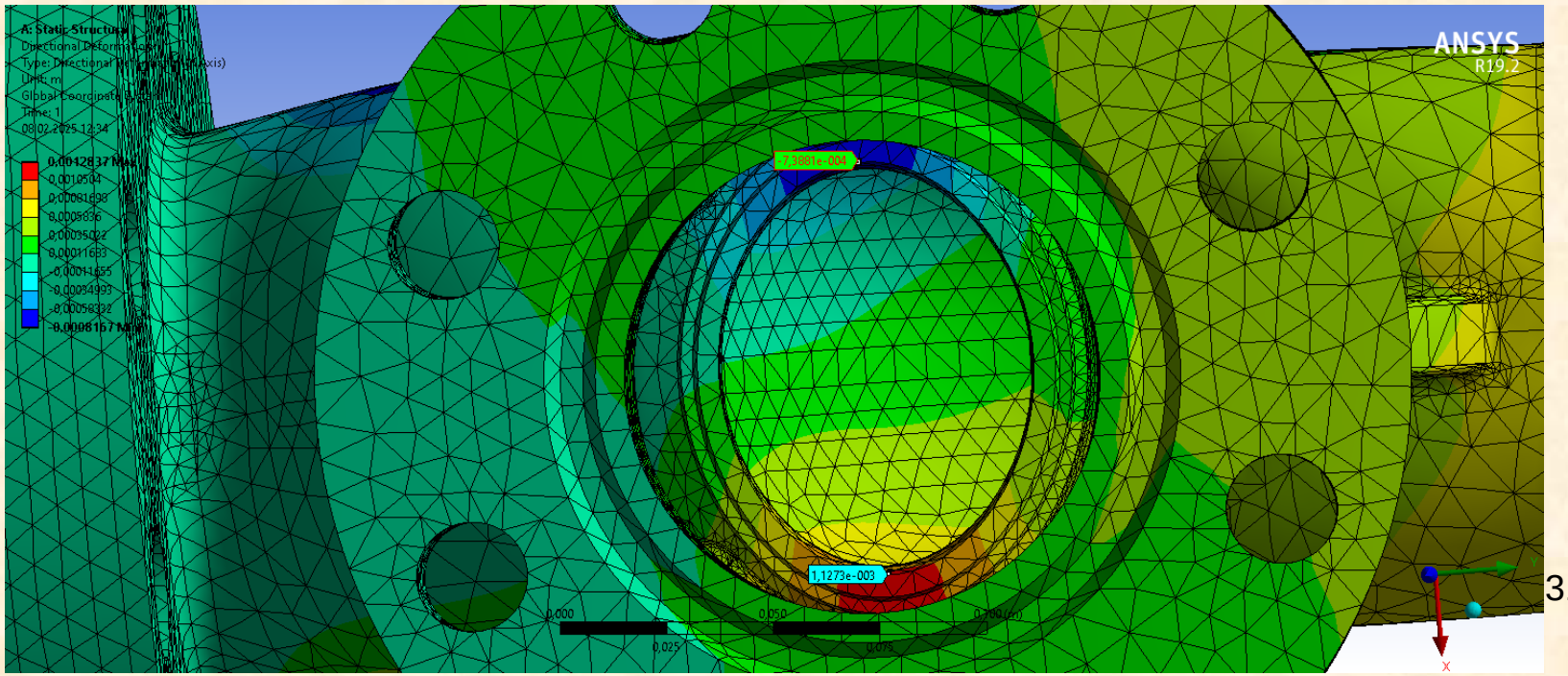




Распределение эквивалентных напряжений, в зоне плоскости изгиба узла




A: Static Structural
Directional Deformation
Type: Directional Deformation(X Axis)
Unit: m
Global Coordinate System
Time: 1
08.02.2025 12:36
0,0012837 Max
0,0010504
0,00081698
0,0005836
0,00035022
0,00011683
-0,00011655
-0,00034993
-0,00058332
-0,0008167 Min
ANSYS
R19.2
Z
Y
0,000
0,150
0,300 (m)
0,075
0,225


A: Static Structural
Directional Deformation
Type: Directional Deformation(X Axis)
Unit: m
Global Coordinate System
Time: 1
08.02.2025 12:34
0,0012837 Max
0,0010504
0,00081698
0,0005836
0,00035022
0,00011683
-0,00011655
-0,00034993
-0,00058332
-0,0008167 Min
ANSYS
R19.2
1,1273e-003
0,000
0,050
0,100 (m)
0,025
0,075
X

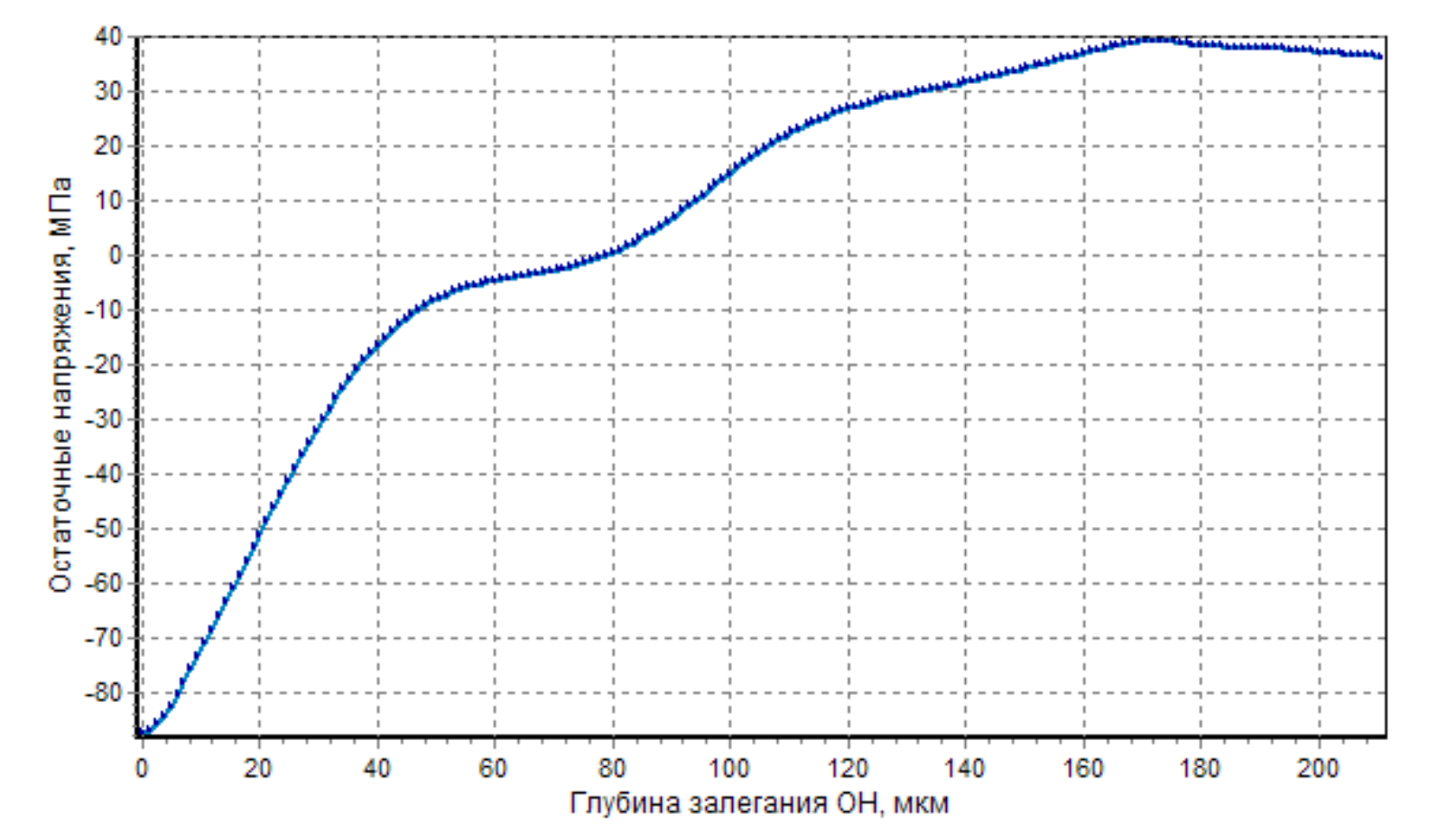
Учёт коррозии в расчётах на прочность на примере штанг насосных ШН-19

Цель работы: повышение выносливости штанг насосных ШН19 на основе исследования их напряжённо-деформированного состояния

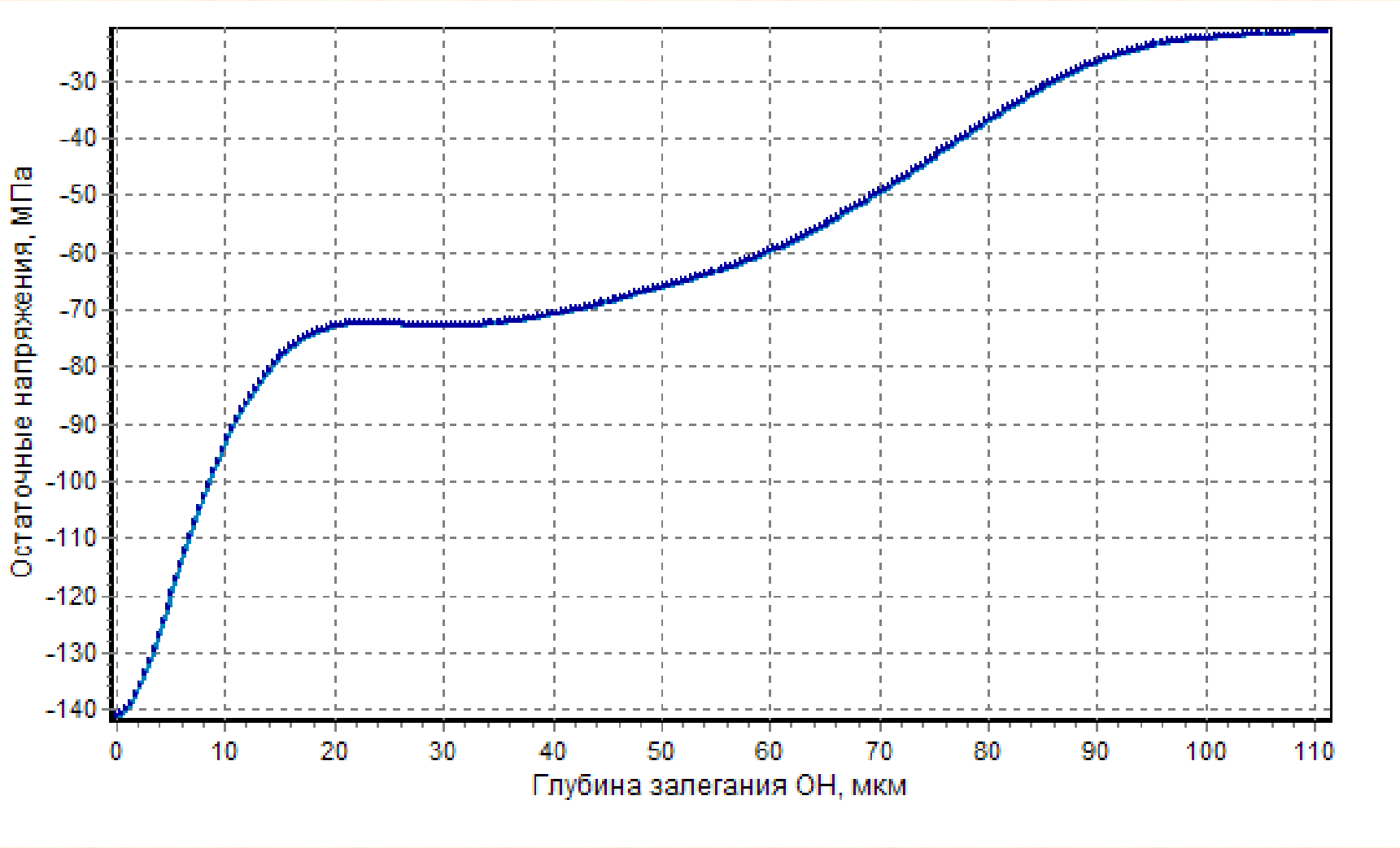
Задачи:

1) Выявление причин преждевременного разрушения штанг ШН19 на основе анализа их напряжённо-деформированного состояния
2) Исследование остаточных напряжений в поверхностном слое штанг без наработки и с наработкой
3) Составление рекомендаций по повышению выносливости штанг насосных

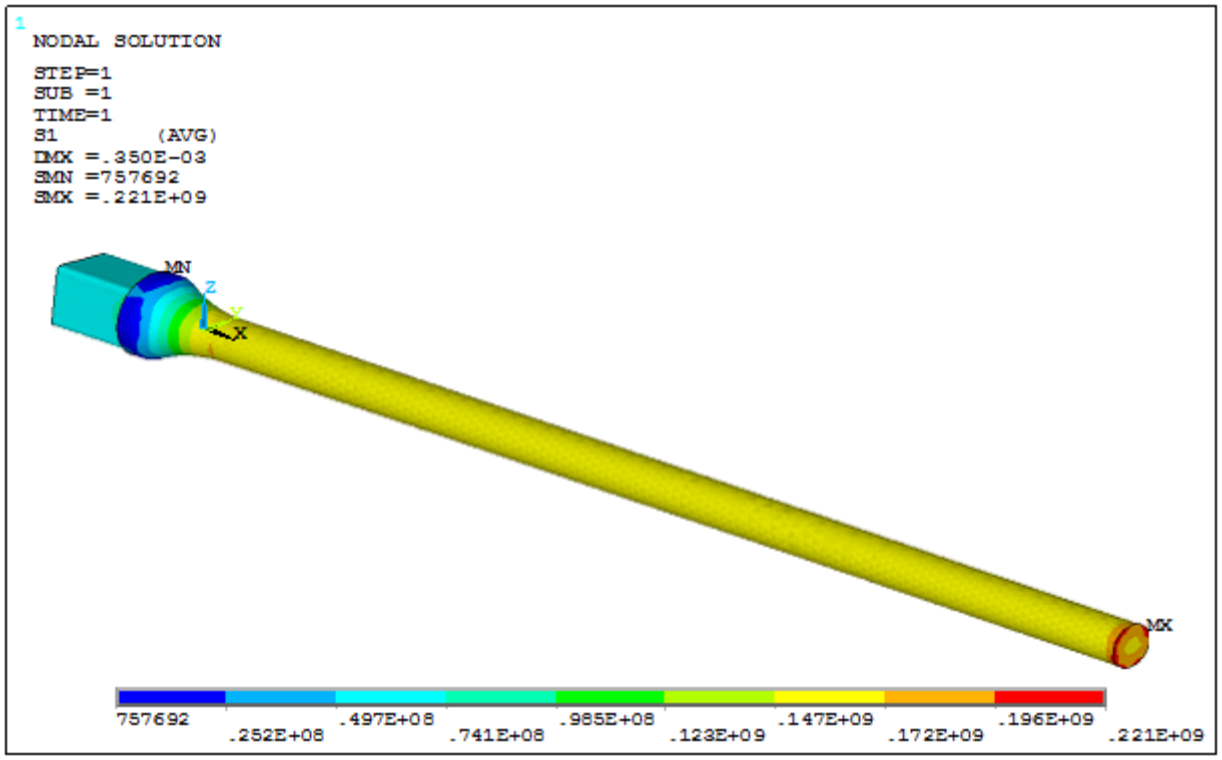
Распределение остаточных напряжений в поверхностном слое штанг без наработки



Повышение сжимающих остаточных напряжений вследствие наводораживания поверхностного слоя, а также влияния коррозии составило ~ 60 МПа

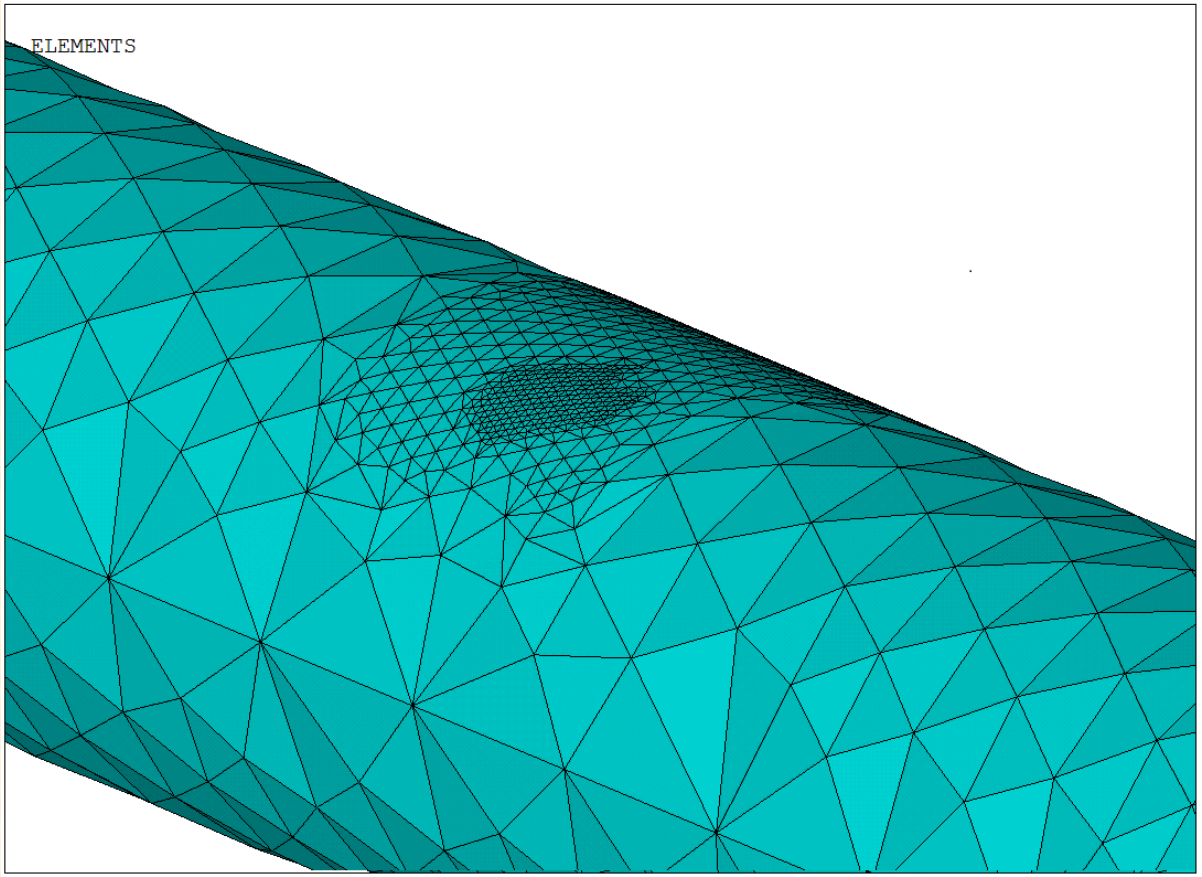


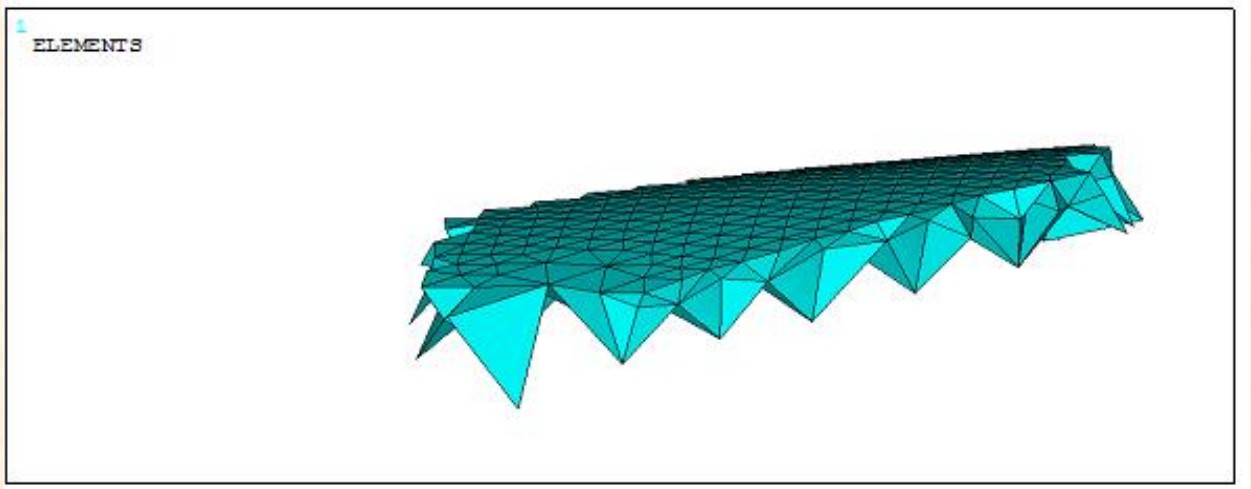
Расчёт напряжённо-деформированного состояния штанг на основе конечно-элементного моделирования повреждения поверхности штанг коррозией



Распределение главных напряжений и деформаций в штанге при отсутствии коррозии

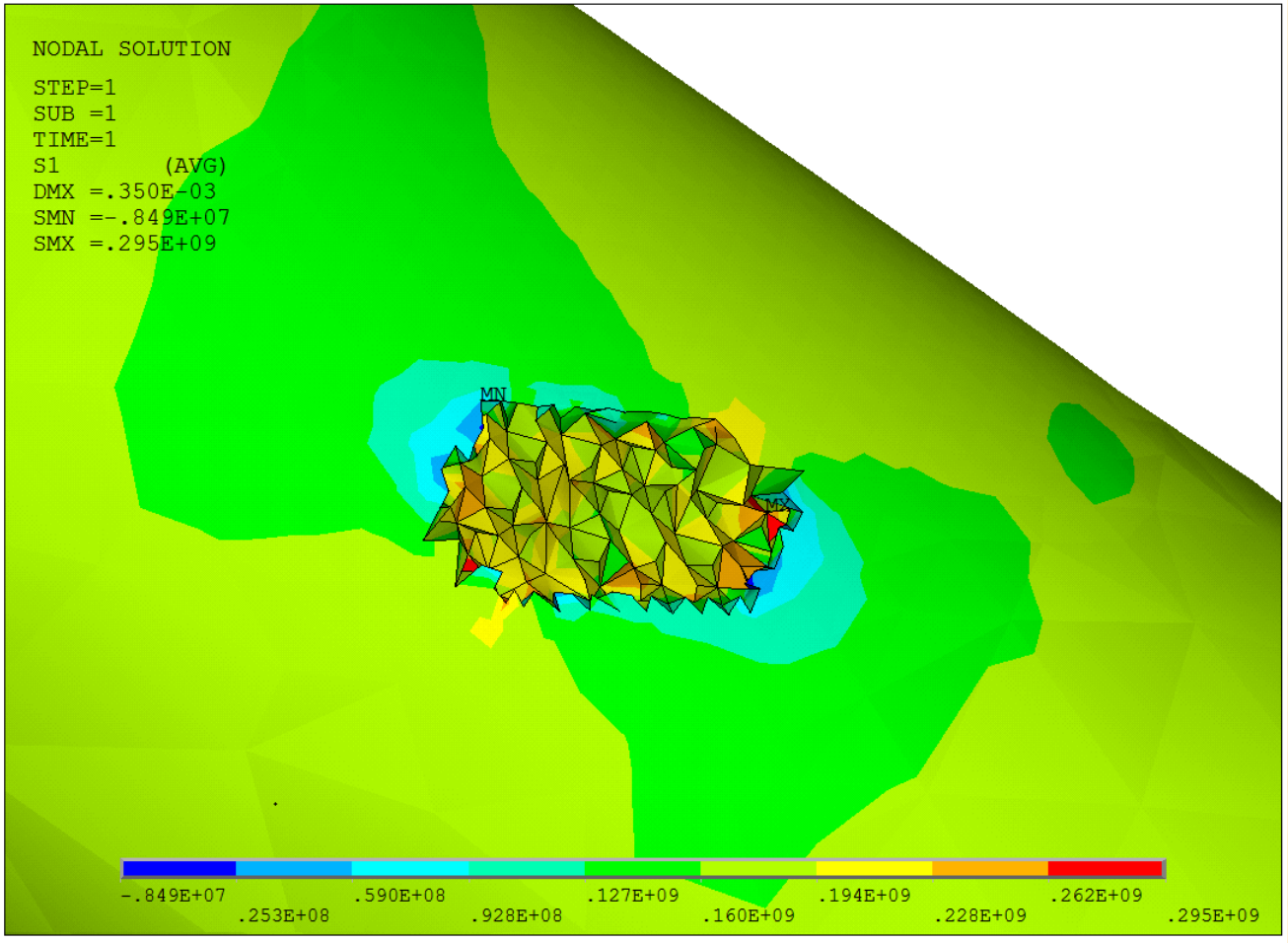
Главные напряжения, МПа			Главные деформации		
σ_1	σ_2	σ_3	ε_1	ε_2	ε_3
170,13	0,90	0,54	0,00084849	– 0,00025152	– 0,00025382





примерные размеры очага разрушения и язвы: длина×ширина ×глубина ≈ 5,87 ×3,31×0,88 мм

Распределение первых главных напряжений в коррозионном повреждении штанги



Распределение главных напряжений и деформаций в штанге с коррозией

Главные напряжения, МПа			Главные деформации		
σ_1	σ_2	σ_3	ε_1	ε_2	ε_3
292,11	38,43	14,36	0,0013814	– 0,00026755	– 0,00042402

Результаты расчётов долговечности штанг без учёта и с учётом коррозионного повреждения

коэффициент запаса по долговечности $n = 3$

длительность наработки штанг T в сутках (при $N_{\text{базовой}}$ 5×10^6 циклов или 926 сут.)

частота $f = 4{,}5$ цикл/мин.

Результаты расчёта малоцикловой долговечности штанг

Варианты расчёта	$N_{\text{расчётная}}$, циклы	$N_{\text{допускаемая}}$, циклы	T, сутки	
			расчётная	допускаемая
Без учёта коррозии	128487200	42829067	19827	6609
С учётом коррозии	1368174	456058	210	70

Исследование технологического процесса производства листового проката из электротехнической стали

Базовый технологический процесс

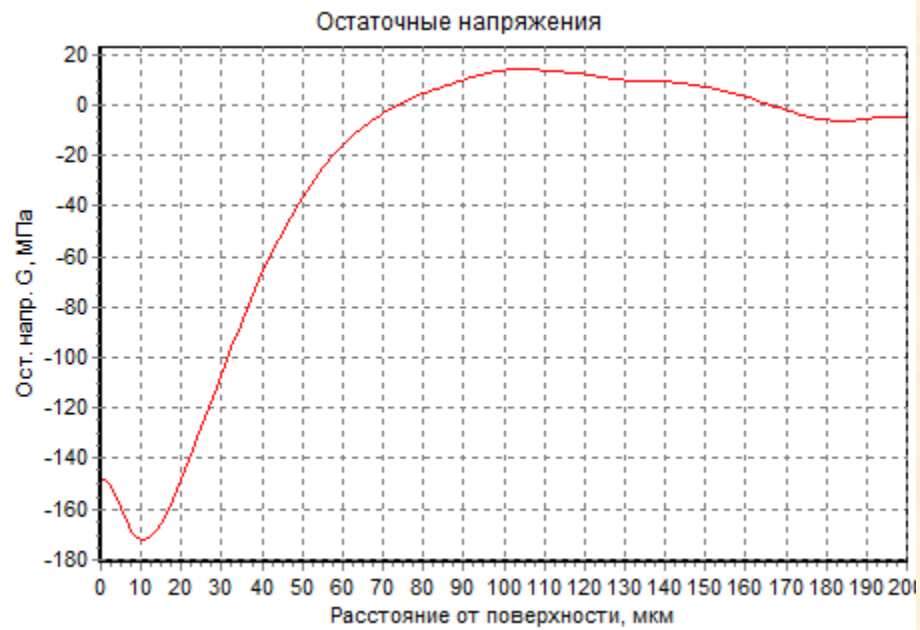








Неравномерности протяжки листа



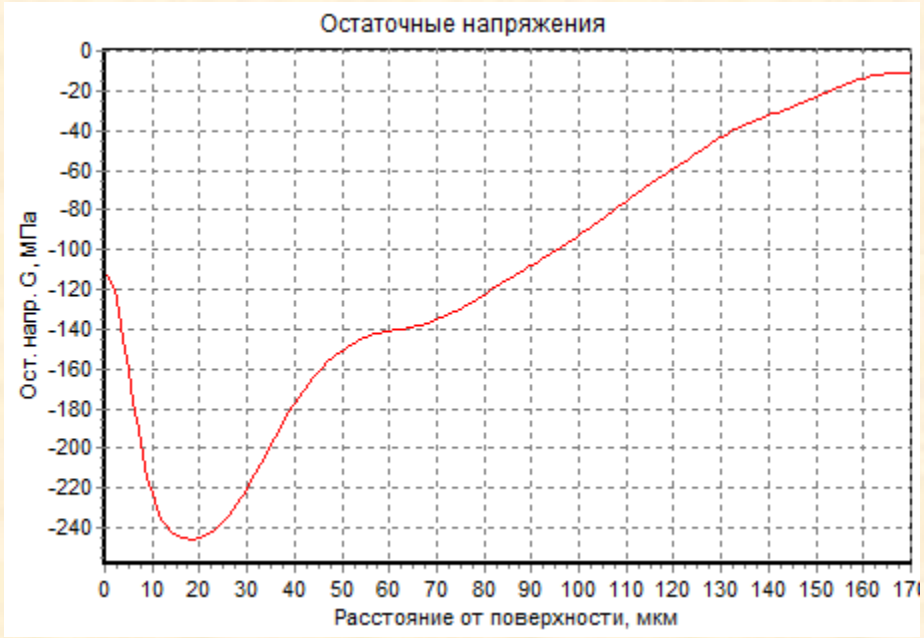


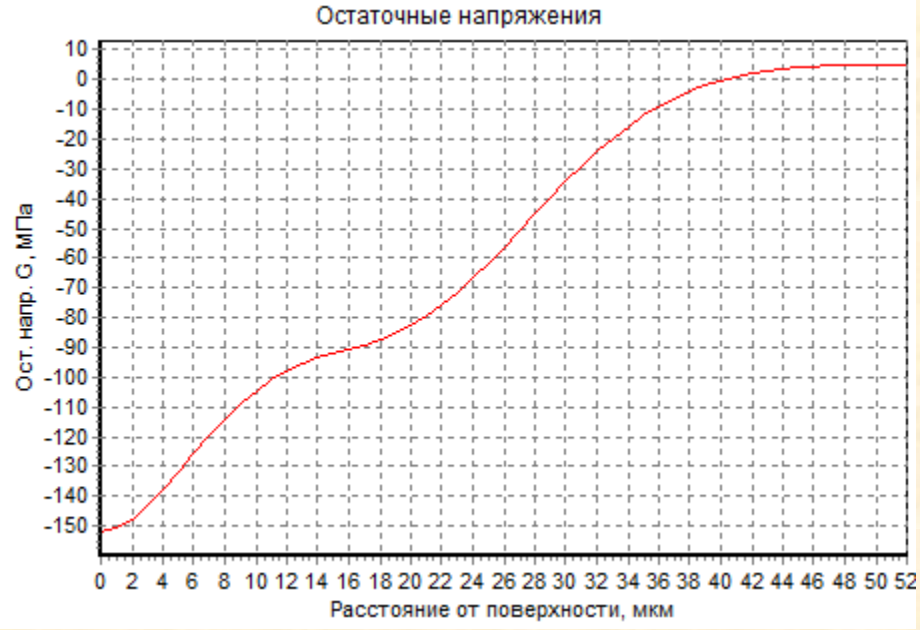


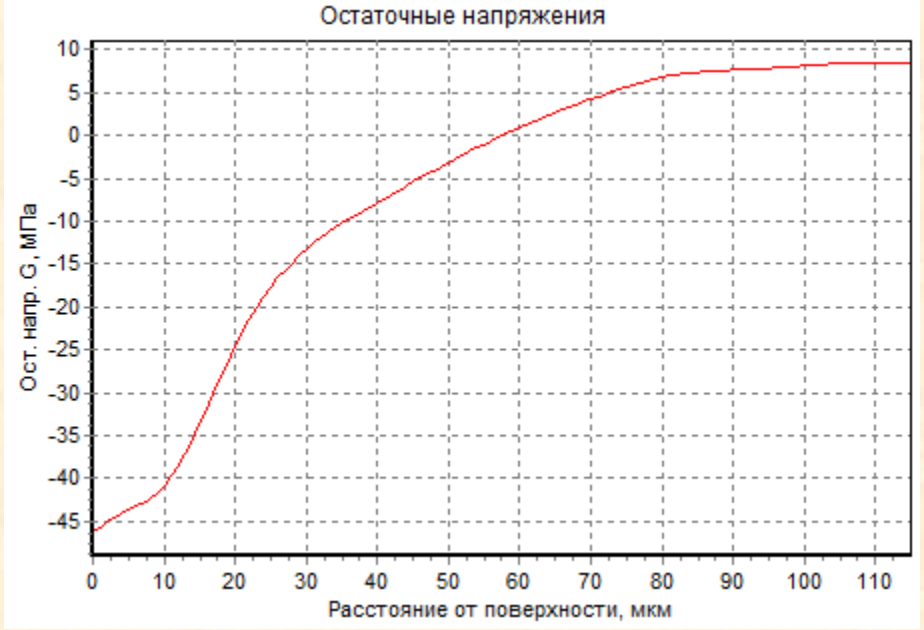


Неравномерности дробеструйной обработки



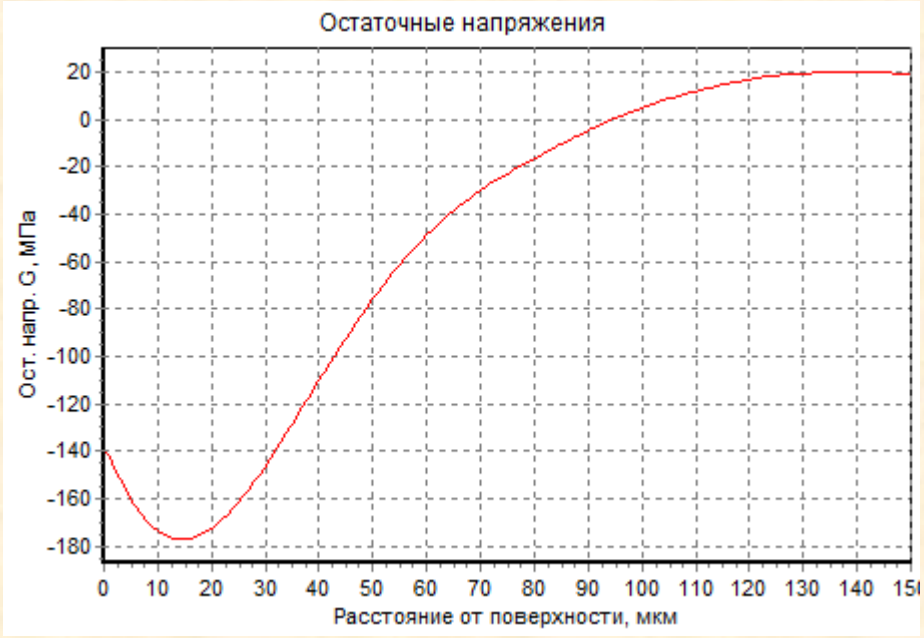


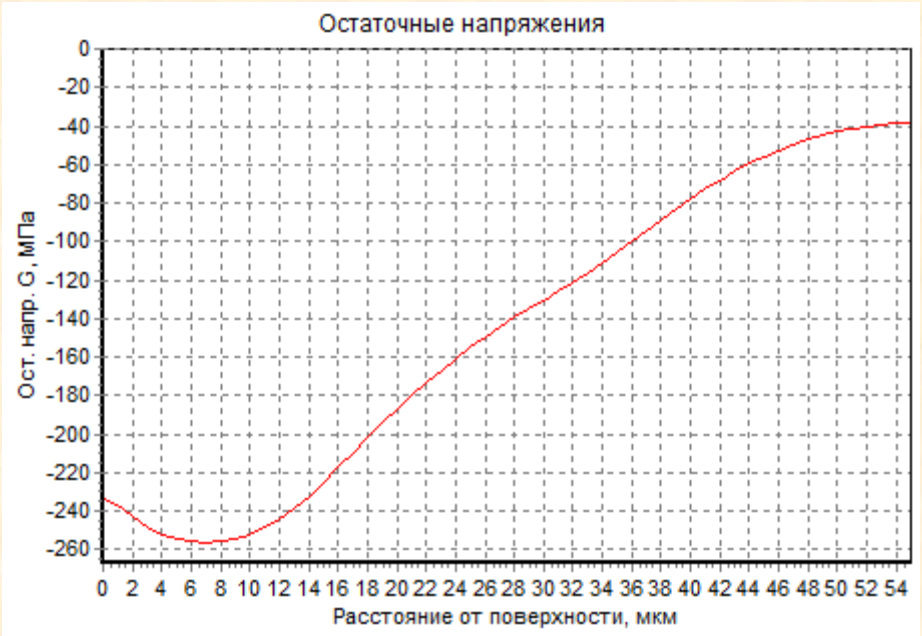




Отладка режимов термической обработки









Заключение

- Разработка специализированного исследовательского оборудования;
- Разработка новых методов исследования и моделирования остаточных напряжений, явлений коррозии и прочих эффектов;
- Разработка совершенных методик проведения модельного эксперимента;

позволяют проводить исследования напряжённо-деформированного состояния объектов добычи нефти и газа, натурные испытания которых затруднены или не возможны.

Спасибо за внимание

Букатый А.С.

bukaty@inbox.ru

+79170111771