

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)*

Кафедра «Технологий сварки и диагностики»

**Создание образцов с заданным распределением
остаточных напряжений для исследования
коррозионных свойств материалов**

Докладчик:

аспирант кафедры МТ-7

Тихонов С.В.

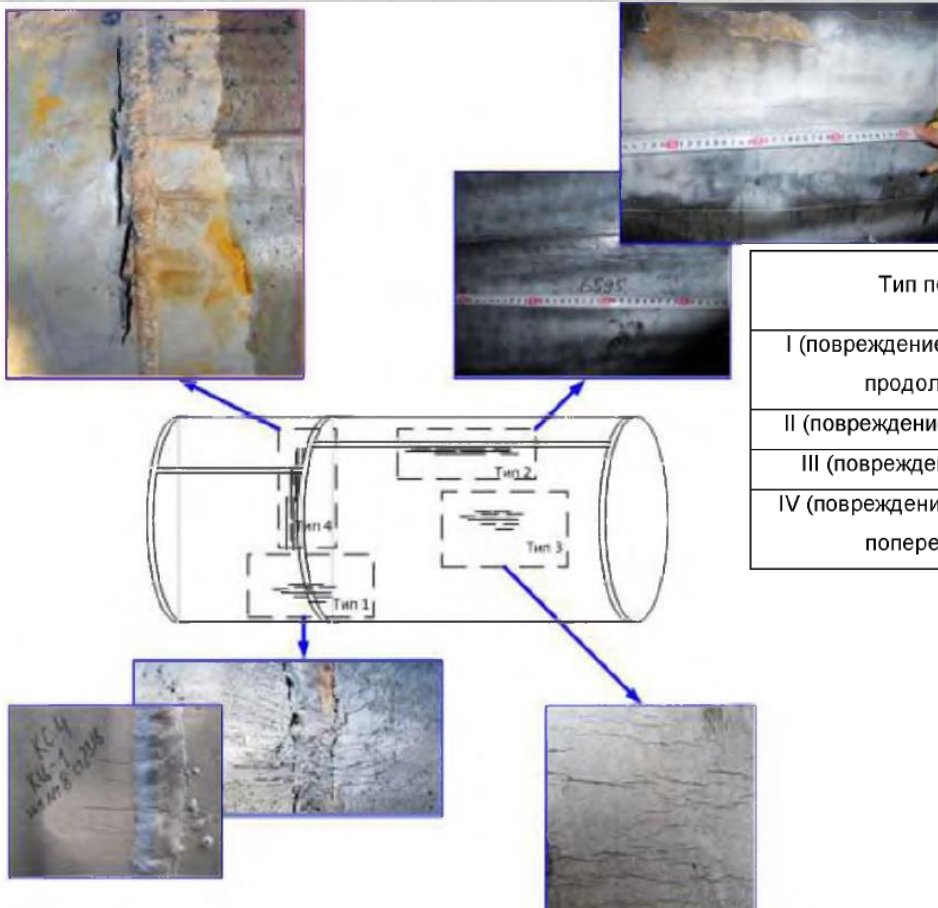
Руководитель:

д.т.н., проф. кафедры МТ-7

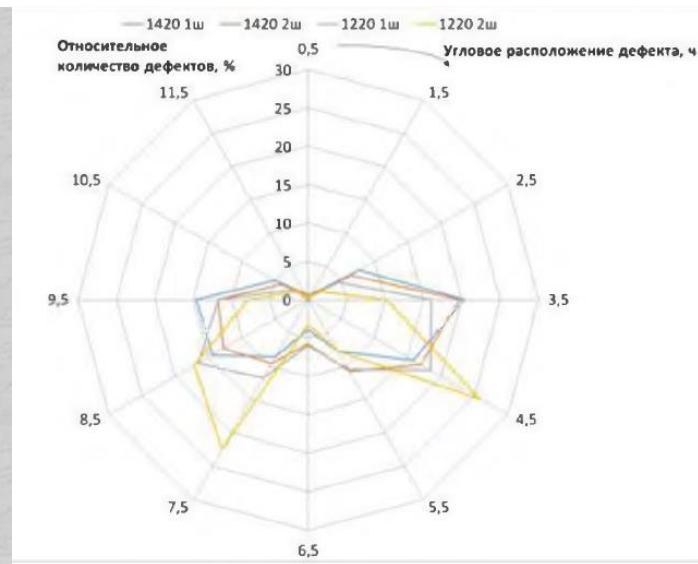
Куркин А.С.

*Москва
2018 год*

Виды существующих дефектов (их расположение и характер)

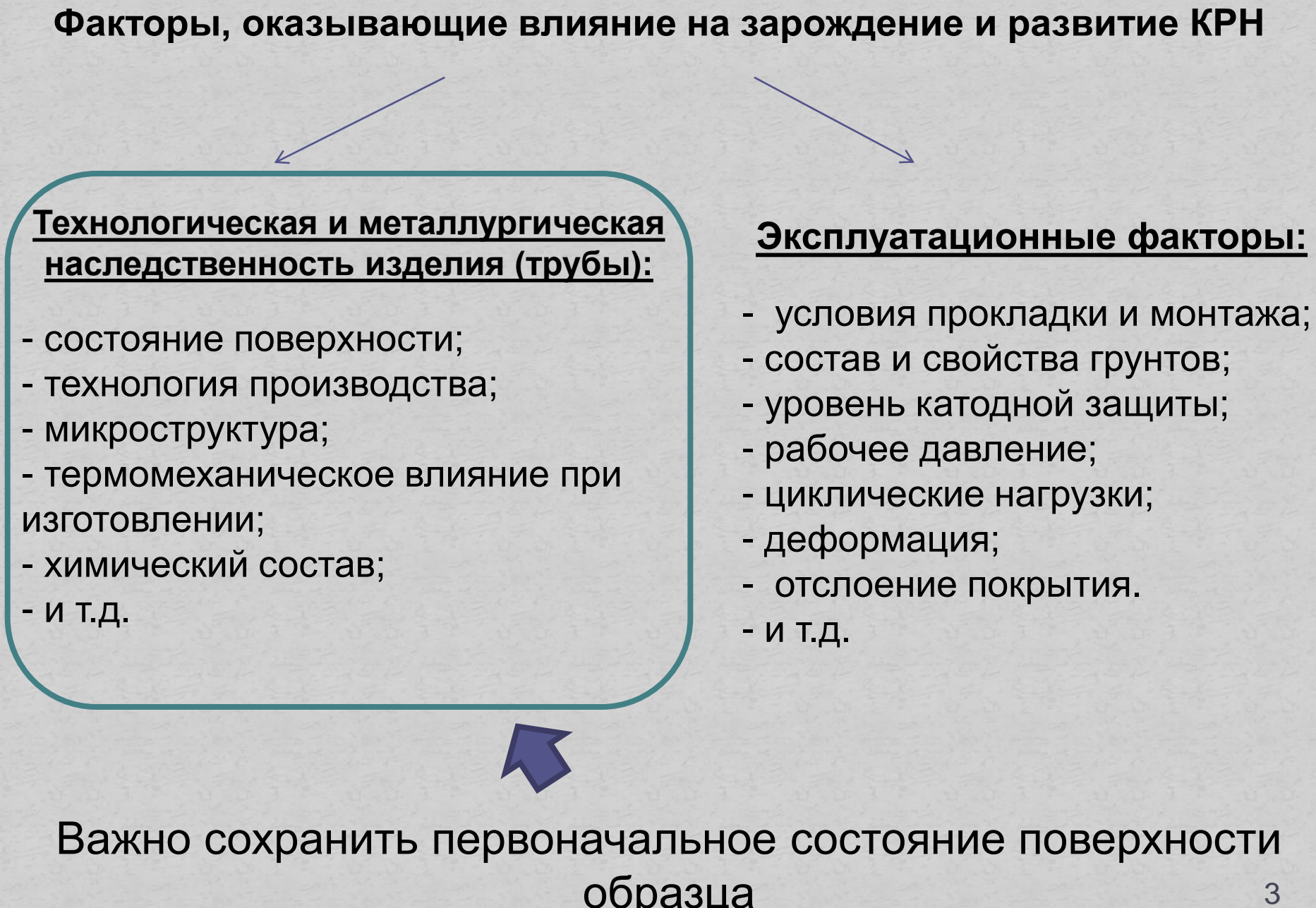


Тип повреждения КРН	Плотность повреждений, плотность./км	Доля выявленных повреждений, %
I (повреждение вблизи монтажного шва продольной ориентации)	5,83	23,42
II (повреждение вблизи заводского шва)	9,31	37,15
III (повреждение основного металла)	9,73	39,42
IV (повреждение вблизи монтажного шва поперечной ориентации)	<0,01	<0,01



Наибольшее количество дефектов расположено в интервалах от 3 до 5 ч (35 % дефектов) и от 8 до 10 ч (25% дефектов).

Факторы, оказывающие влияние на зарождение и развитие КРН



Технологическая и металлургическая наследственность изделия (трубы):

- состояние поверхности;
- технология производства;
- микроструктура;
- термомеханическое влияние при изготовлении;
- химический состав;
- и т.д.

Эксплуатационные факторы:

- условия прокладки и монтажа;
- состав и свойства грунтов;
- уровень катодной защиты;
- рабочее давление;
- циклические нагрузки;
- деформация;
- отслоение покрытия.
- и т.д.

Важно сохранить первоначальное состояние поверхности образца

Существующие методики испытаний на КРН

В соответствии с СТО Газпром 2-5.1-148-2007 могут проводится испытания следующих типов образцов:

1. Испытание стандартных образцов, на одноосное растяжение по ГОСТ 1497; ГОСТ 6996;
2. Испытание натуральных образцов (нагрузка внутренним давлением и коррозионной средой на срок не менее 720 ч.);
3. Испытание модельных образцов с выдержкой под нагрузкой не менее 3000 ч.



1



2

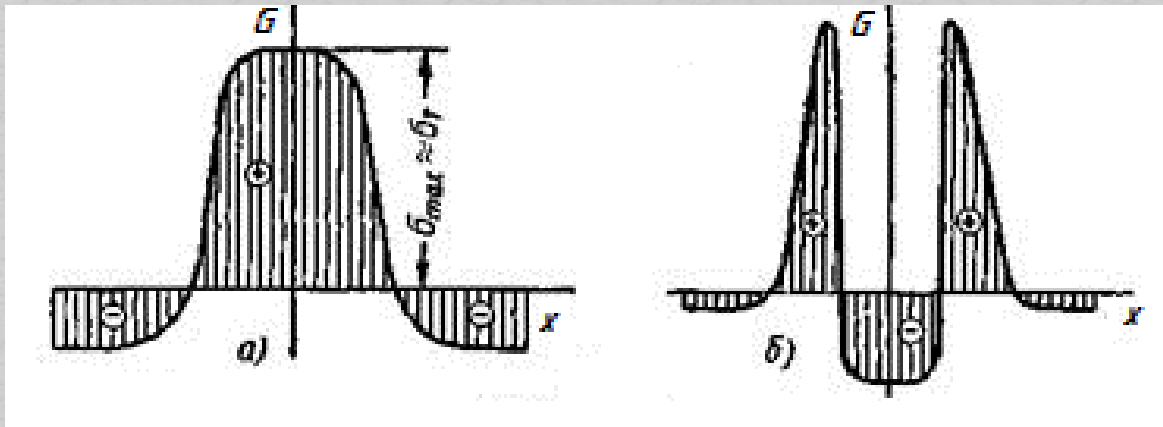


3

Требования, предъявляемые к образцу для испытаний на КРН

- должен учитывать исходное состояние поверхности материала;
- должен отражать условия работы материала с учетом воздействия:
 - коррозионной среды,
 - толщины стенки;
 - напряженного состояния;
- методика получения образца должна быть проста в применении;
- методика нагружения (создания напряженного состояния в образце или его различных зонах) должна обеспечиваться минимальным набором приспособлений и оборудования;
- должен сохранять заданное напряженное состояние на протяжении длительного времени.

Принцип создания образцов на базе остаточных напряжений



пассивная зона

активная зона

реакция со стороны пассивной зоны

Способы получения образцов

1. Прокатка роликами различных зон образца:

- с одной стороны
- с двух сторон
- широким роликом с одной с из сторон, с сочетанием более узкого с другой.

2. Штамповка различных зон образца

(для получения серии образцов с идентичными свойствами).

3. Иные способы воздействия на образец, вызывающие пластическую деформацию в различных зонах.



ПАТЕНТ
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2499243

**СПОСОБ СОЗДАНИЯ ЭТАЛОННЫХ ОБРАЗЦОВ С
ЗАДАНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЙ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана" (МГТУ им. Н.Э.Баумана) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012121398

Приоритет изобретения 24 мая 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 ноября 2014 г.

Срок действия патента истекает 24 мая 2032 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



ПАТЕНТ
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2525153

**ЭТАЛОННЫЙ ОБРАЗЕЦ С КОНТРОЛИРУЕМЫМ
РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ТОЛЩИНЕ**

Патентообладатель(ли): *Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (МИНПРОМТОРГ РОССИИ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013112648

Приоритет изобретения 21 марта 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 11 июня 2014 г.

Срок действия патента истекает 21 марта 2033 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



ПАТЕНТ
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2508527

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ
НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНОМ ИЗДЕЛИИ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана" (МГТУ им. Н.Э.Баумана) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012110848

Приоритет изобретения 22 марта 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 февр 2014 г.

Срок действия патента истекает 22 марта 2020 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Б.П.



ПАТЕНТ
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2523073

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ
НАПРЯЖЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ
КОНСТРУКЦИИ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ
ФИКСИРОВАННОГО КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ**

Патентообладатель(ли): *Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (МИНПРОМТОРГ РОССИИ) (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013112647

Приоритет изобретения 21 марта 2013 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 22 мая 2014 г.

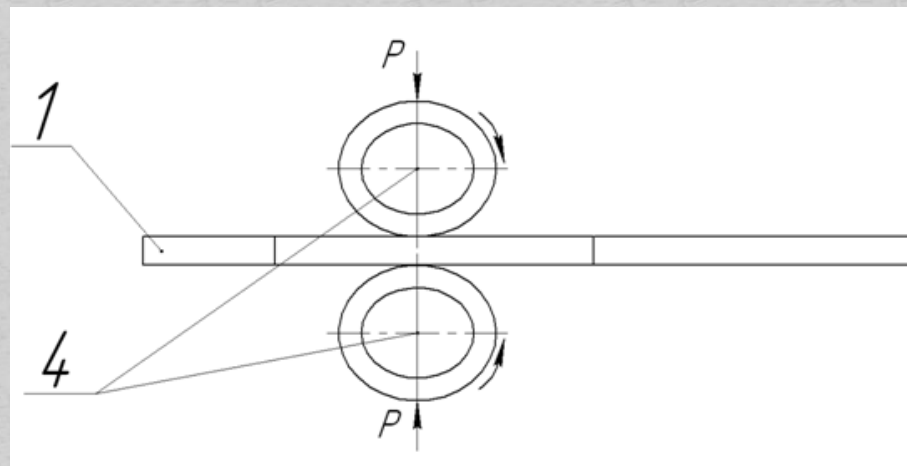
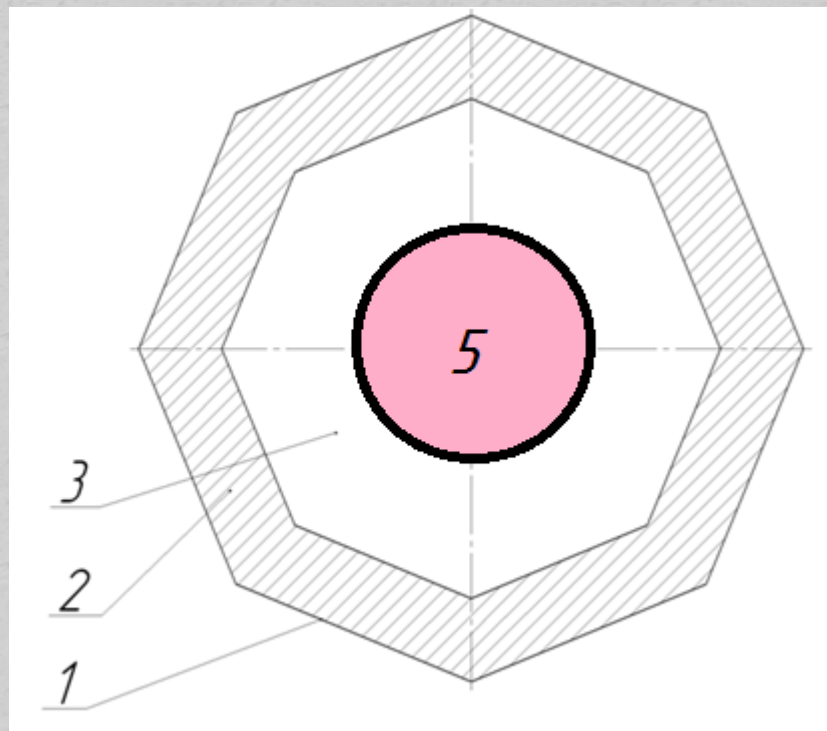
Срок действия патента истекает 21 марта 2033 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

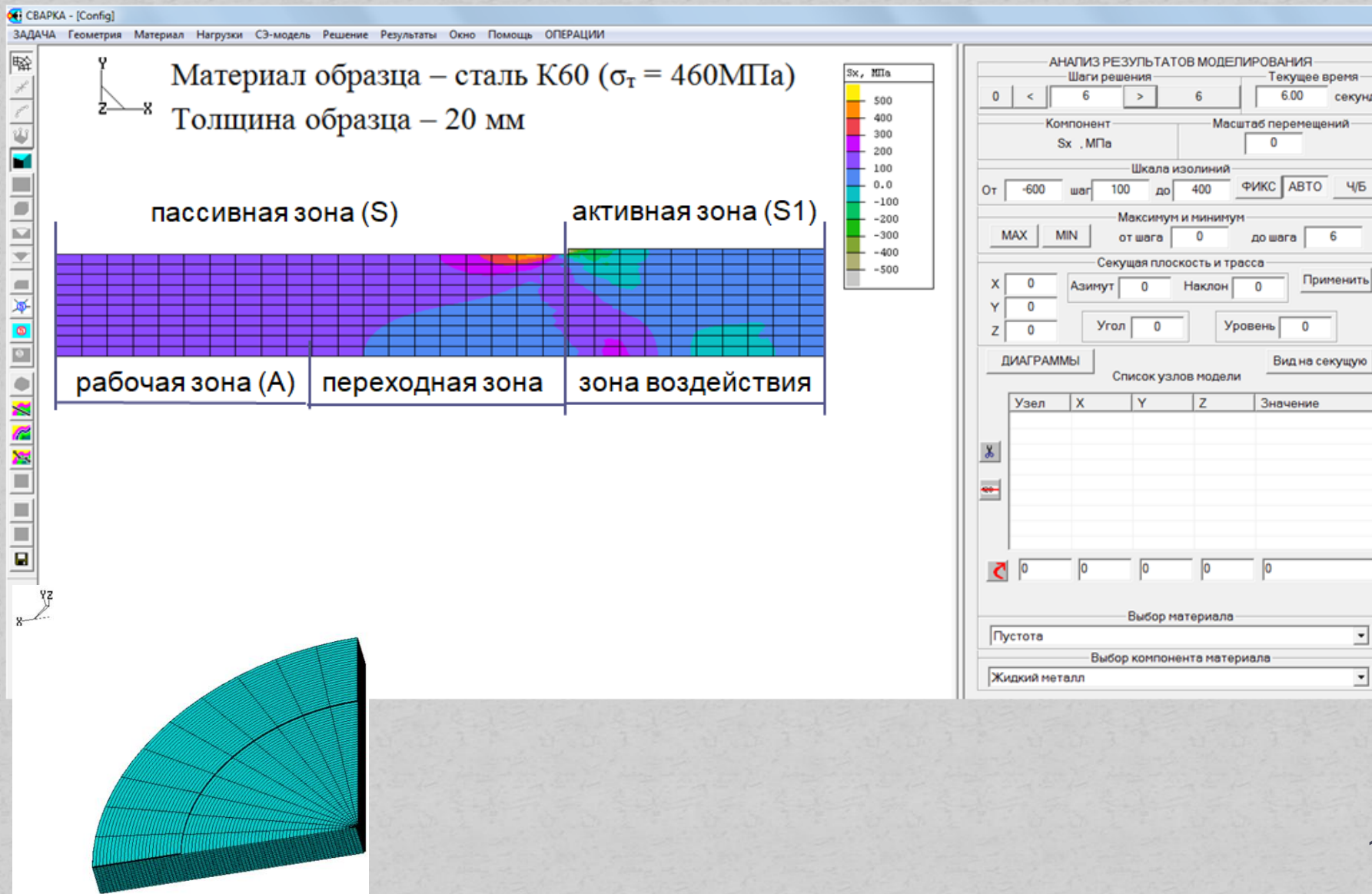


Предлагаемая модель образца

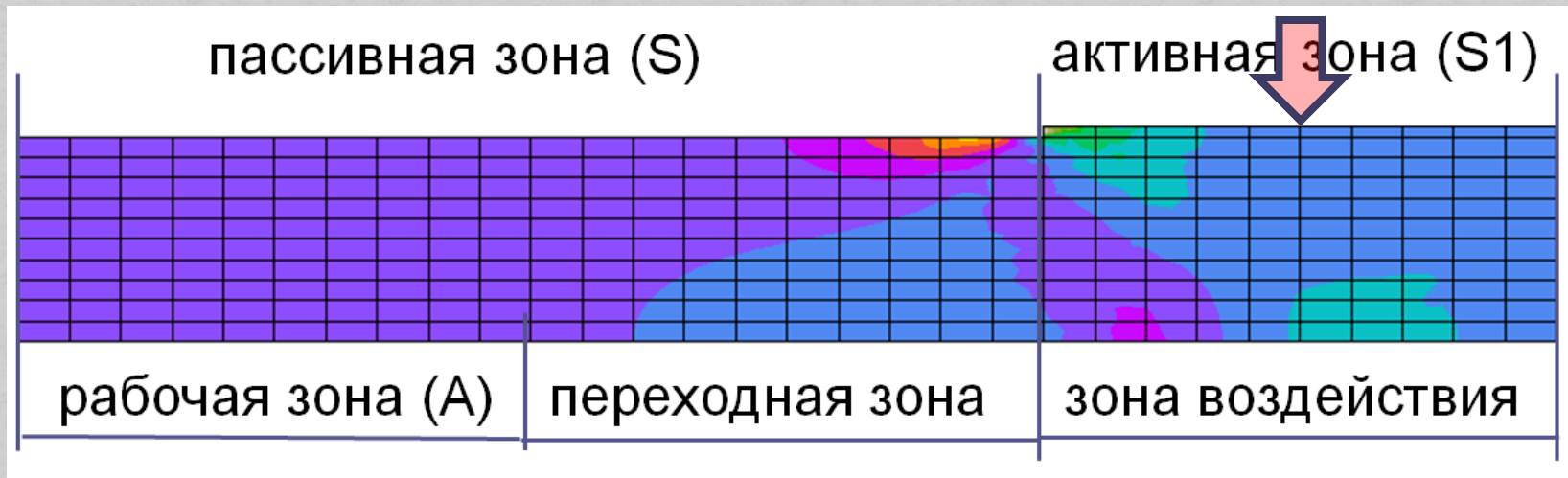


1 – образец; 2 – зона прокатки роликами; 3 – переходная зона; 4 – установка для прокатки роликами; 5 – зона для измерений (с растягивающими напряжениями).

Компьютерное моделирование процессов в программном комплексе «СВАРКА»

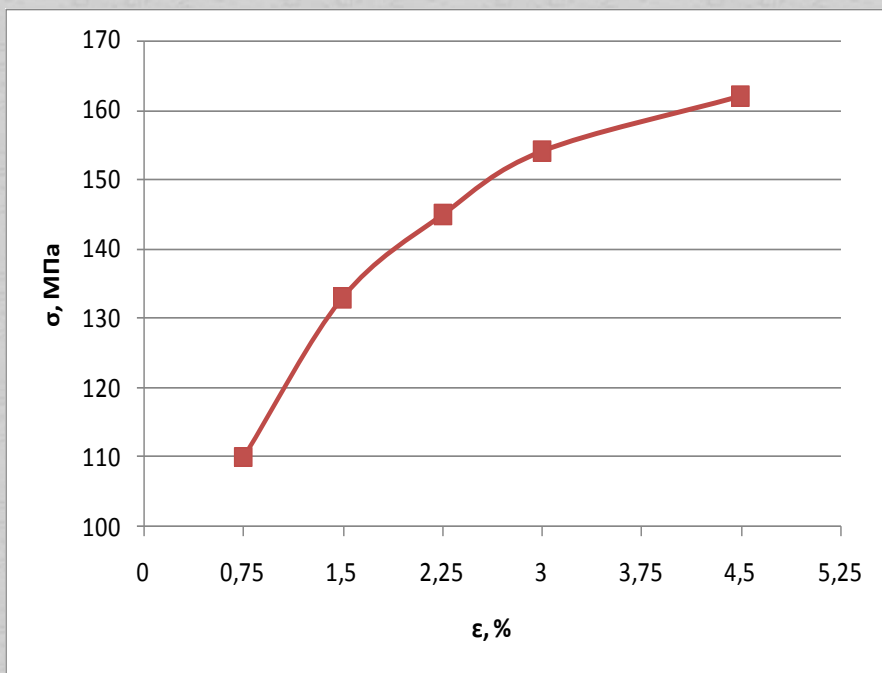


$\epsilon, \%$

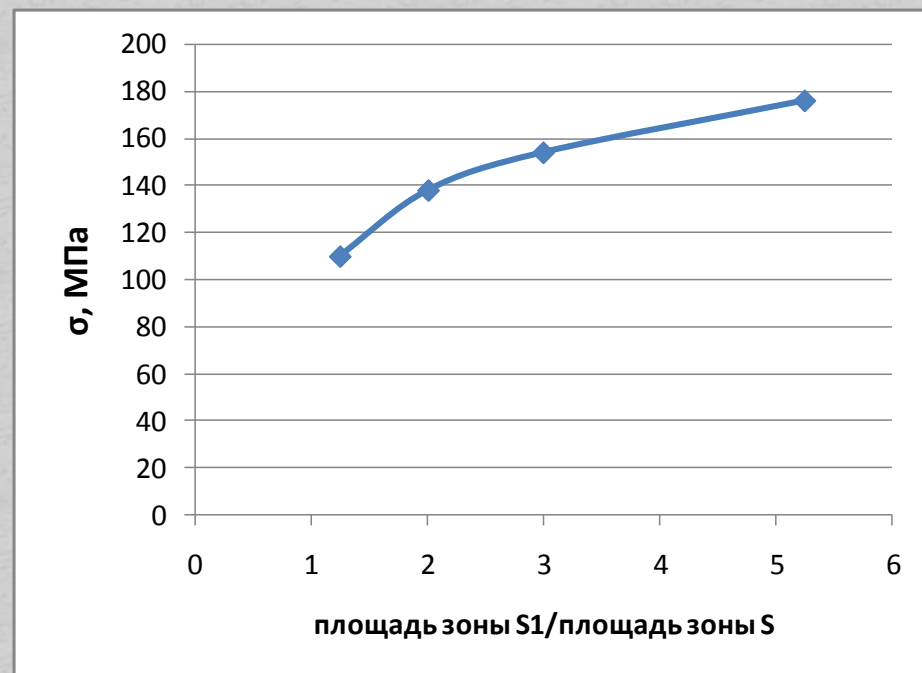


1. $\varnothing A = \varnothing S/2$;
2. $\varnothing A$ не зависит от уровня деформации зоны S1;
3. $\varnothing A$ не зависит от площади зоны S1.

Зависимость возникающих напряжений в рабочей зоне А на поверхности образца от уровня деформаций (ϵ , %) в зоне S1



Зависимость возникающих напряжений в рабочей зоне А на поверхности образца от отношения площадей S1/S

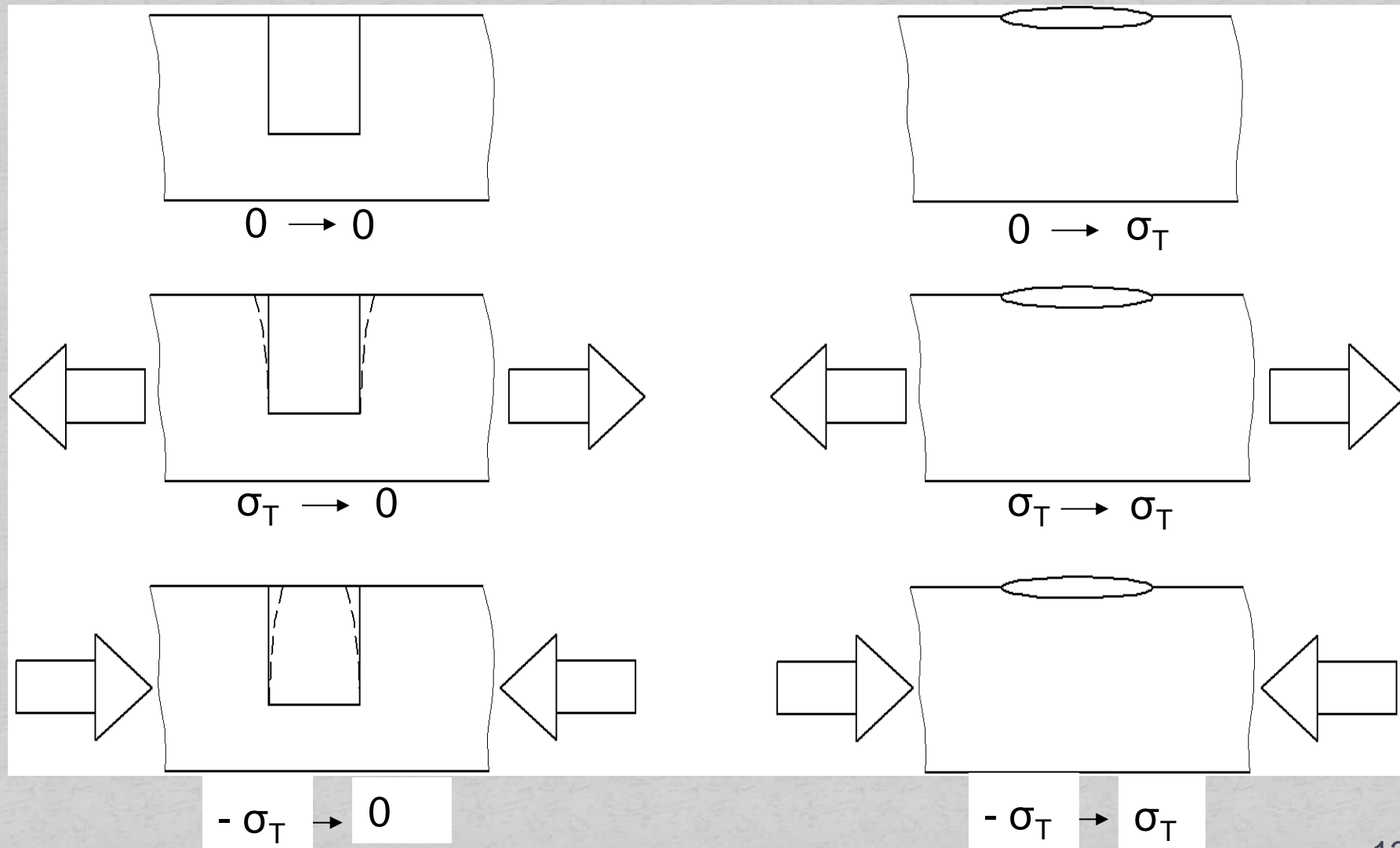


При оптимальном подборе (ϵ , %) в зоне S1 и отношении площадей S1/S, можно достичь напряжений близких к σ_T материала в рабочей зоне образца.

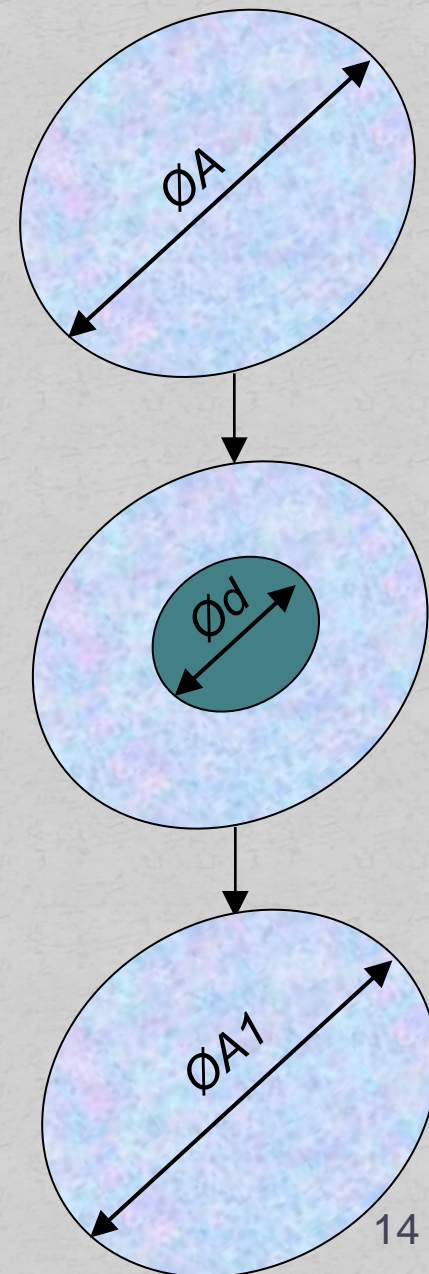
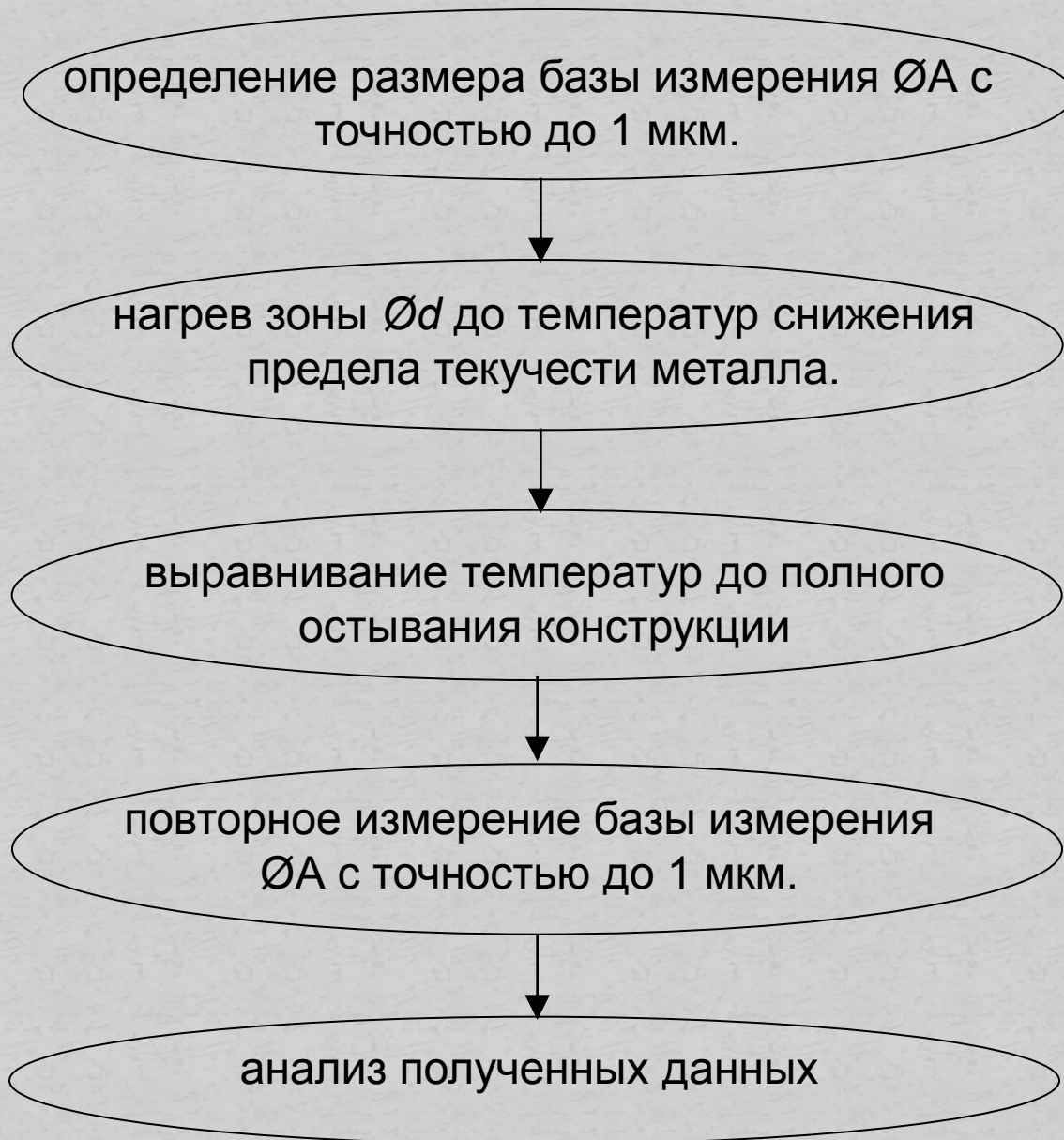
Возможность определения остаточных напряжений

Принцип зондирующей лунки

Принцип локального нагрева



Принципиальная схема предполагаемого метода



Анализ временных и остаточных напряжений при локальном нагреве пластины

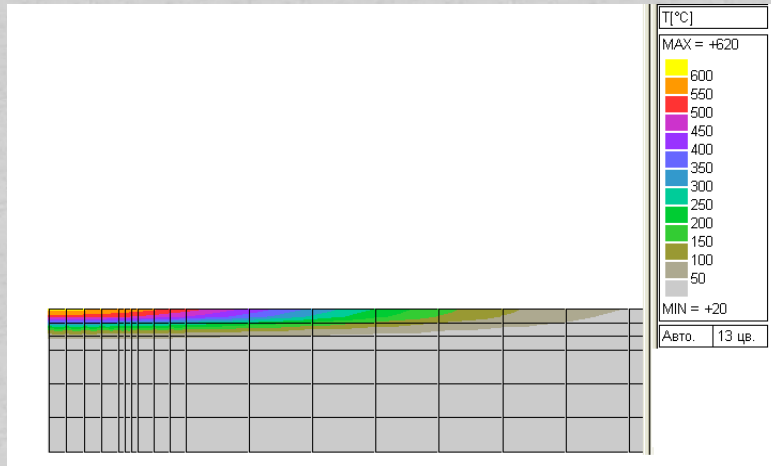
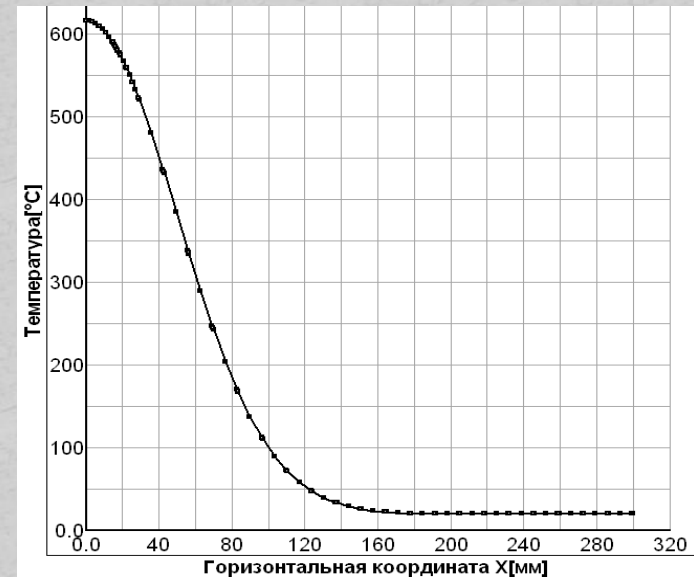
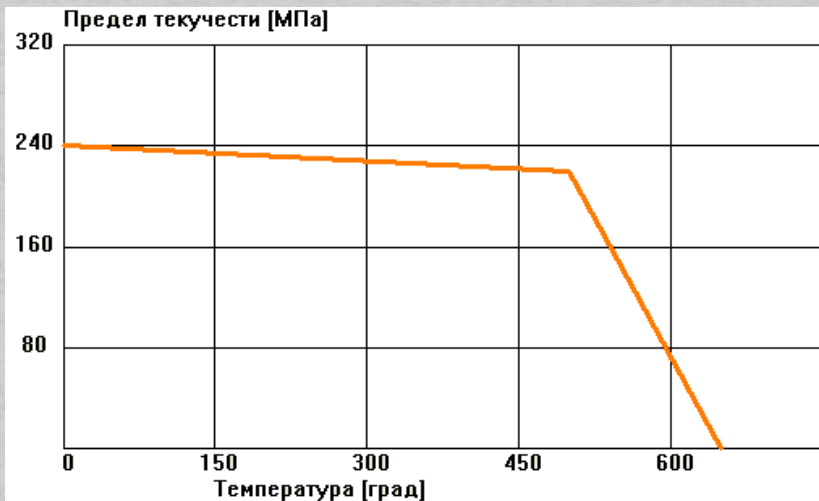


Схема нагрева поверхности круглой пластины диаметром 640мм и толщиной 30 мм в программном комплексе «СВАРКА»



Распределение температуры по поверхности при максимальном нагреве центра пластины

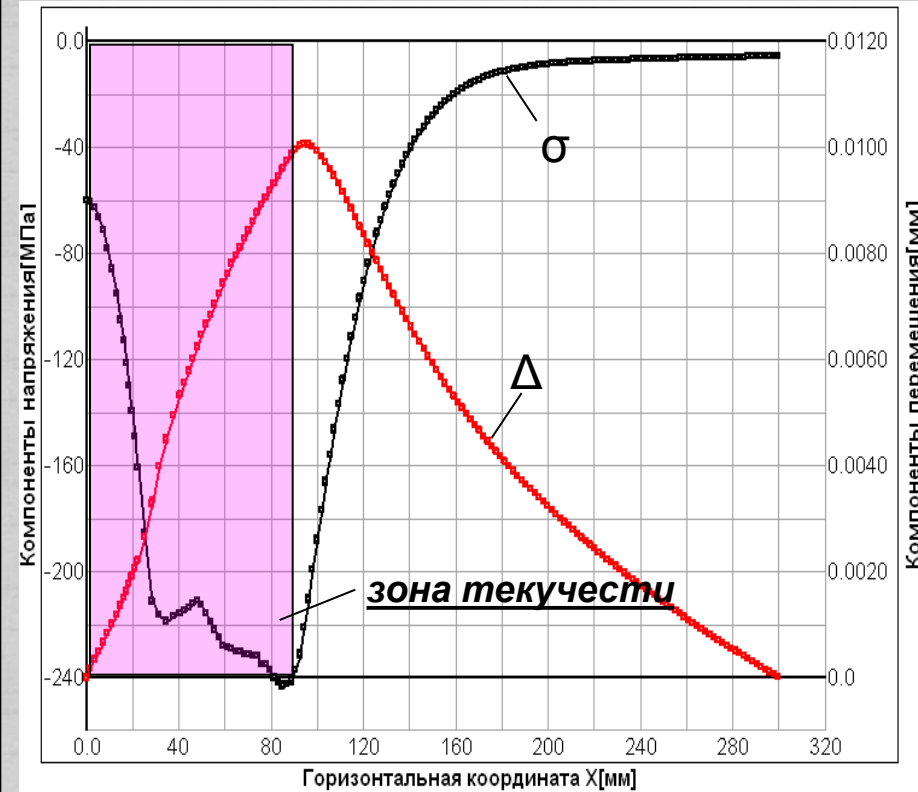


Упрощенная схема зависимости предела текучести материала от температуры

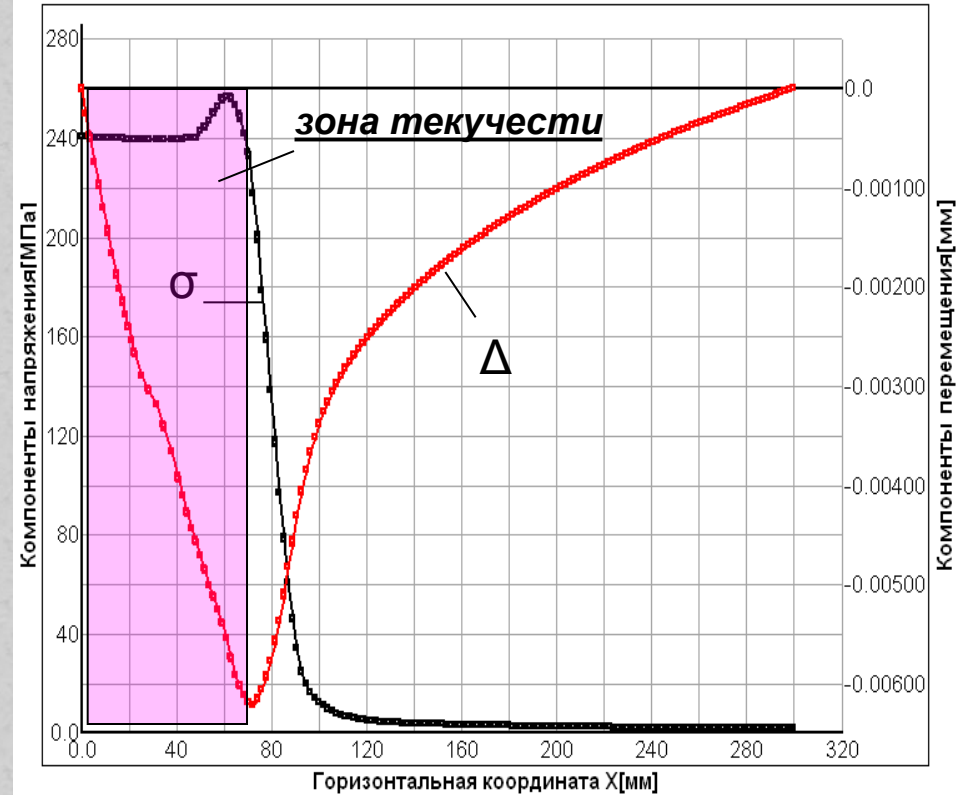
$$T = T_0 + (T_H \cdot \exp^{-((x^2) \cdot \kappa + (z^2) \cdot n)})$$

T_0 – начальная температура (20°C),
 T_H – максимальная температура нагрева (600°C),
 X – расстояние от центра пластины,
 Z – расстояние от поверхности пластины,
 κ и n – коэффициенты, характеризующие распределение температуры вдоль осей X и Z ($\kappa = 2 \cdot 10^{-4}$; $n = 8 \cdot 10^{-2}$)

Распределение напряжений и перемещений на поверхности пластины от нагрева

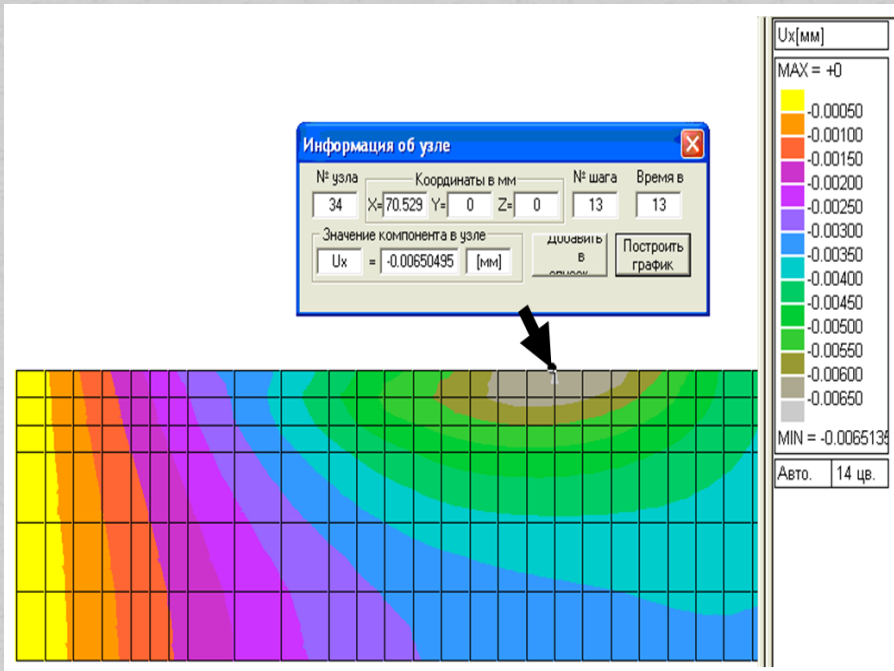


Характер распределения временных напряжений σ и перемещений Δ в момент максимального нагрева

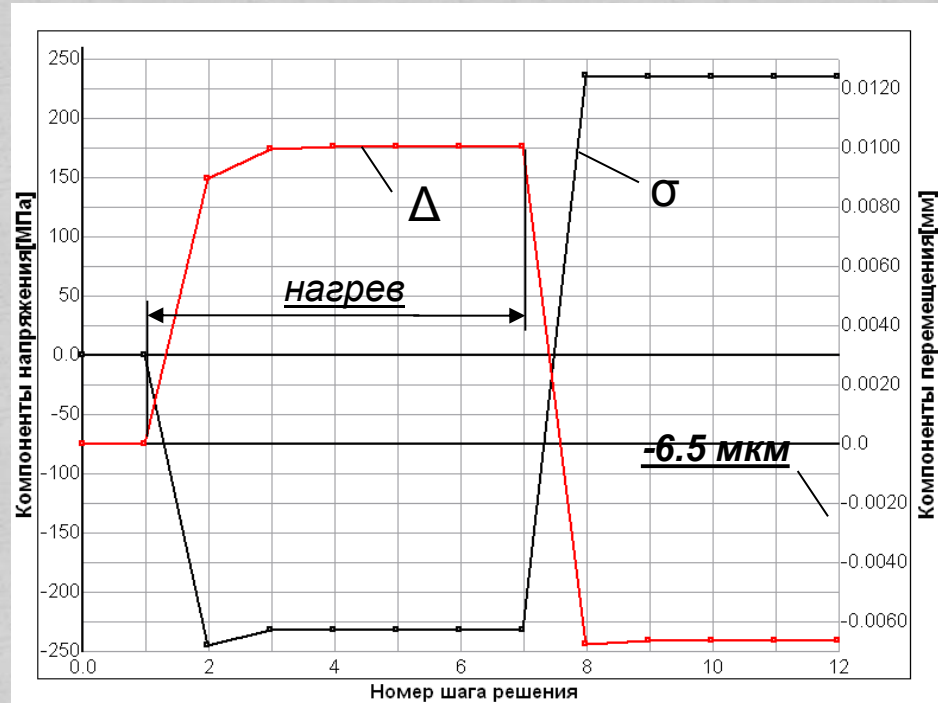


Характер распределения остаточных напряжений σ и перемещений Δ после остывания пластины

Радиальные перемещения и напряжения в точке, удаленной на 70 мм от центра пятна нагрева при нагреве и охлаждении



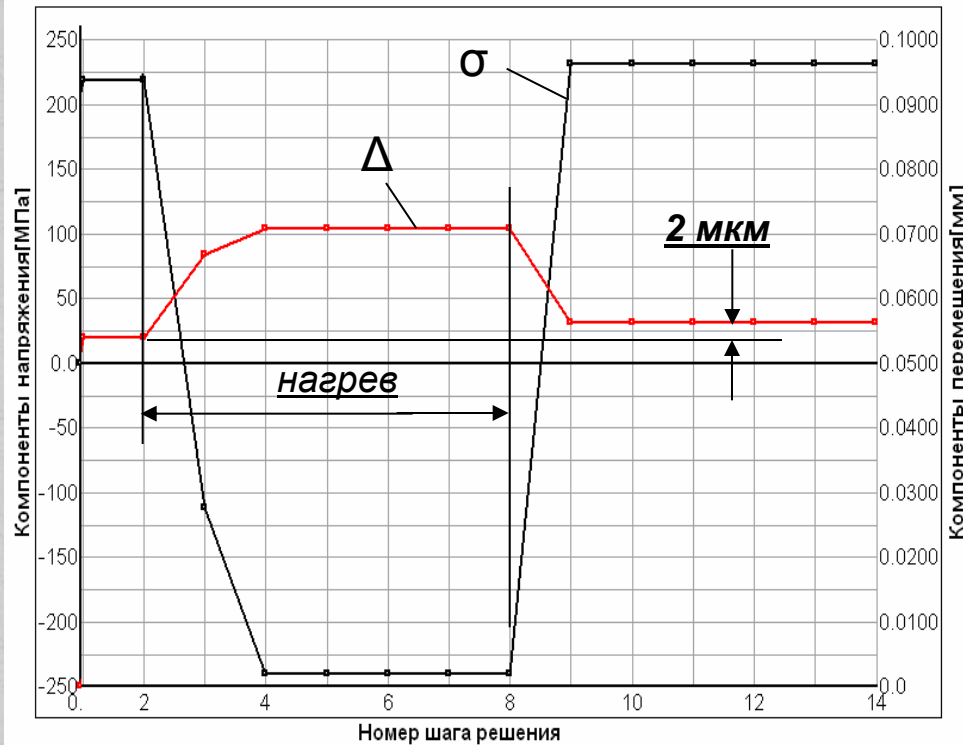
Распределение остаточных перемещений точек пластины. Максимум перемещений, на расстоянии **70 мм** от центра пятна нагрева



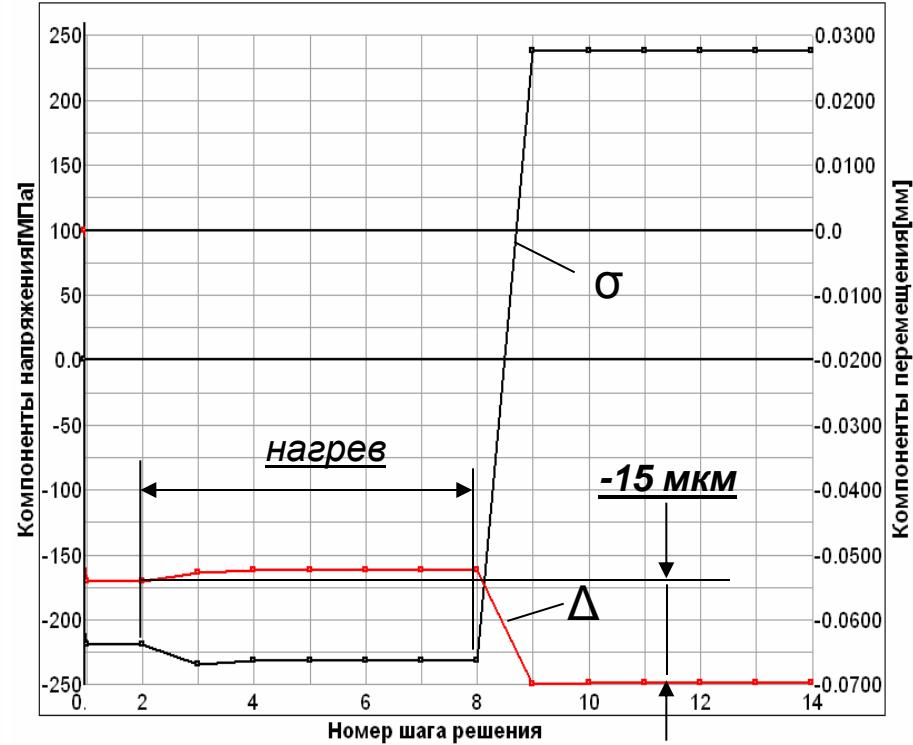
Изменение радиального перемещения Δ и радиального напряжения σ на расстоянии 70 мм при нагреве и охлаждении.

В процессе расширения нагретой зоны точка переместилась от центра пластины на **10 мкм**. При этом в нагретой зоне возникли сжимающие напряжения, вызванные сопротивлением не нагретой части пластины. Эти напряжения достигли предела текучести и привели к пластической деформации укорочения в нагретой зоне. В процессе остывания в центральной зоне возникли растягивающие напряжения, достигающие предела текучести материала ($\sigma_T = 240$ МПа), а точка сместилась на **16,5 мкм** к центру пластины. Остаточное перемещение точки составило **6,5 мкм** к центру нагрева.

Влияние начальных напряжений на временные и остаточные перемещения



Изменение перемещения Δ и напряжений σ при растяжении, нагреве и охлаждении

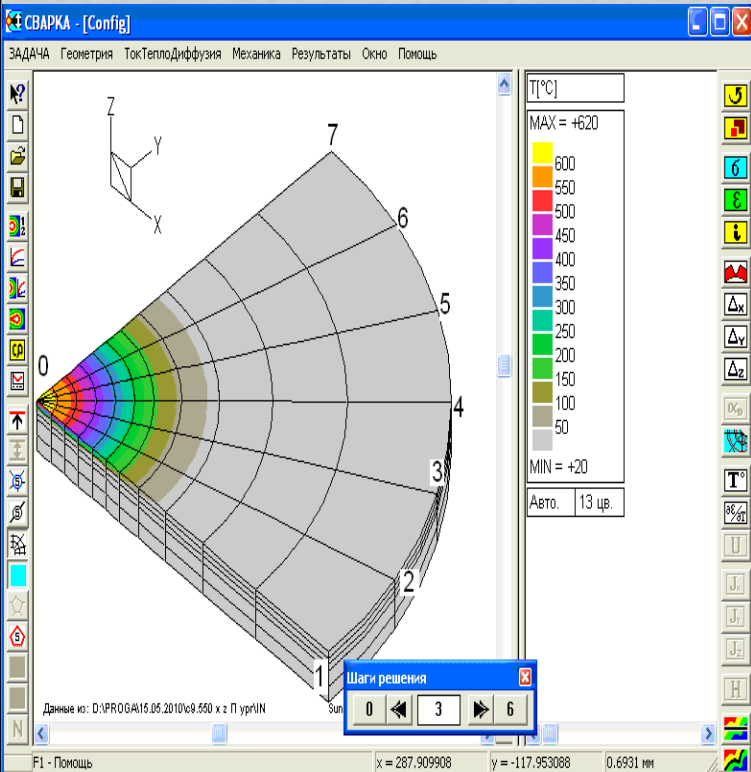


Изменение перемещения Δ и напряжений σ при сжатии, нагреве и охлаждении.

Перемещение точки в процессе нагрева существенно больше (17 мкм), а пластическая деформация в нагретой зоне меньше. Это связано с тем, что растянутый металл не нагретой части пластины оказывает меньшее сопротивление расширению нагреваемой зоны. Смещение точки к центру пластины в процессе остывания почти такое же, как при отсутствии начальных напряжений (на 15 мкм). Остаточное перемещение после нагрева и охлаждения составило 2 мкм от центра нагрева.

Перемещение точки в процессе нагрева существенно меньше (2 мкм), а пластическая деформация в нагретой зоне больше, поскольку сжатый металл не нагретой части пластины практически устраняет расширение нагреваемой зоны. Смещение точки к центру в процессе остывания несколько больше, чем при растяжении и отсутствии начальных напряжений (на 17 мкм). Остаточное перемещение после нагрева и охлаждения составило 15 мкм к центру нагрева.

Влияние схемы начального напряженного состояния на перемещения вдоль осей, точки, находящейся на расстоянии 70 мм от центра нагрева, при нагреве до температур порядка 600°C.



Характер напряженного состояния	Перемещение по оси X	Перемещение по оси Y	Направление перемещений
	<i>МКМ</i>		
Отсутствие предварительных нагрузок	6.5	6.5	<i>к центру</i>
Растяжение по двум осям	2	2	<i>от центра</i>
Сжатие по двум осям	15	5	<i>к центру</i>
Растяжение по одной оси	3	11	<i>к центру</i>
Чистый сдвиг (растяжение по оси X, сжатие по оси Y)	1	22	<i>от центра/ к центру</i>

Подбор параметров источника нагрева

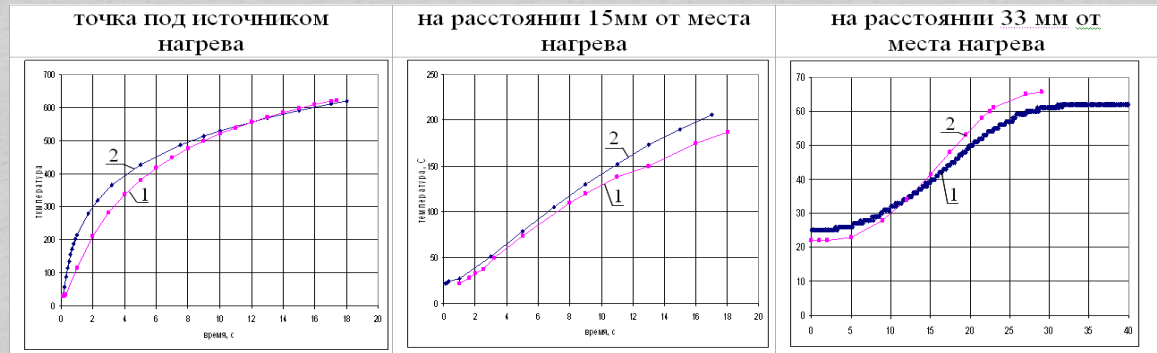
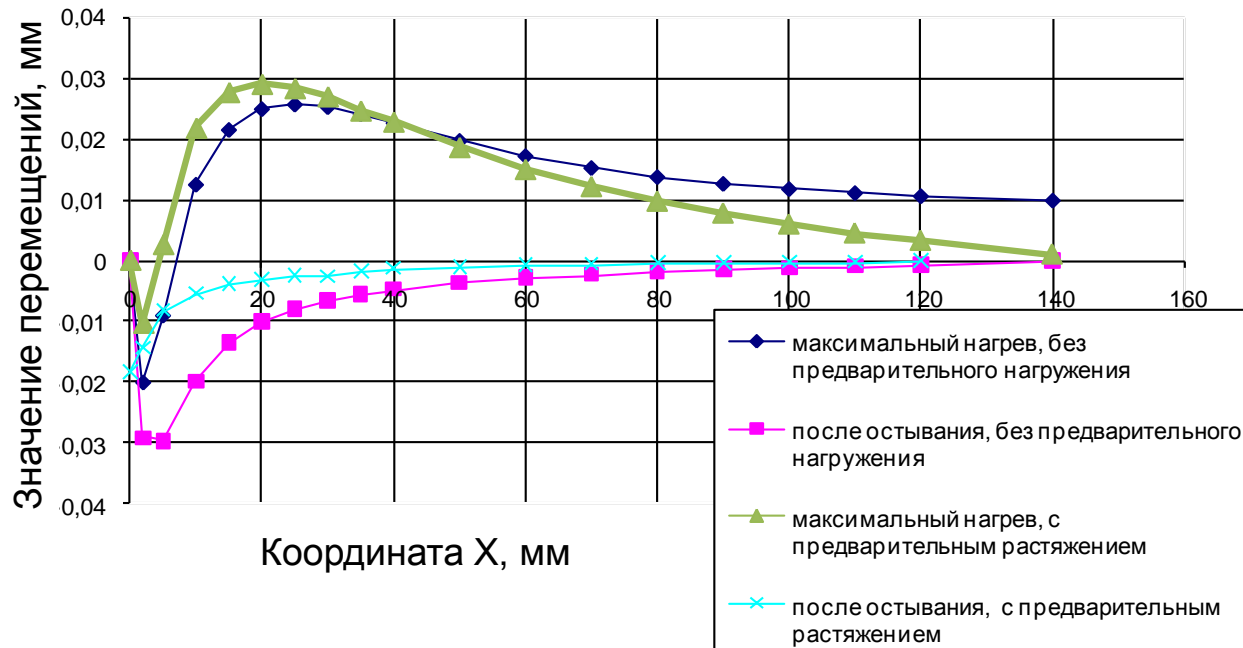


Рисунок 1. Термические циклы нагрева точек.
1 - полученные экспериментальным путем; 2 - рассчитанные в программном комплексе «СВАРКА».

Перемещения точек поверхности пластины



Способ нагрева
- ручная дуговая сварка
в аргоне;

Сварочный ток - 40А;

Время действия источника
- 18сек.

Используемые источники

1. ГОСТ 9.901.1-89(ИСО 7539-1-87). Единая система защиты от коррозии и старения материалов и изделий. Металлы и сплавы. Общие требования к методам испытаний на коррозионное растрескивание.
2. СТО Газпром 2-2.3-173-2007 Инструкция по комплексному обследованию и диагностике магистральных газопроводов, подверженных коррозионному растрескиванию под напряжением. - М.: ООО «ИРЦ Газпром». – 2007;
3. СТО Газпром 2-5.1-148-2007 (с изменением №1). Методы испытаний сталей и сварных соединений на коррозионное растрескивание под напряжением. М.: ООО «ИРЦ Газпром». – 2007;
4. Отчет о НИР «Экспериментальные исследования по результатам моделирования НДС дефектов коррозионного растрескивания под напряжением сварных соединений и основного металла труб».
5. Куркин А.С., Макаров Э.Л. Программный комплекс «СВАРКА» - инструмент для решения практических задач сварочного производства // Сварка и Диагностика. 2010. №1. С.16-24.
6. Мельникова А.Н. Диссертационная работа «Оценка допустимости стресс-коррозионных повреждений труб в составе длительно эксплуатируемых магистральных газопроводов.
7. Электронная база патентов ФИПС.
http://ptn.su/Patent/Otkritie_reestry_Fips_Rospatenta.html).

Благодарю за внимание!)