

Моделирование микроэлектронного тензопреобразователя давления в Comsol-Multiphysics

З.П. КОЗИЛ, В.О. ТУРИН, О.П. ПЕРЕПЕЛИЦЫН

**Орловский Государственный Технический Университет,
ООО "ПромА", г. Орёл**



Цель работы

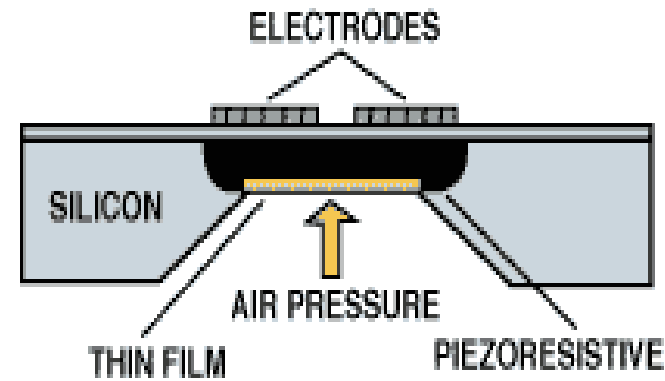
Оптимизация конструкции тензодатчиков давления

Диапазон параметров:

- Элемент полупроводниковый чувствительный из КНС (кремний на сапфире)
- Титановая мембрана и слой припоя
- Рабочее давление от 1,6 МПа до 150 МПа
- Диапазон температур от -50С до +200 С
- Диаметр мембраны от 2,5 до 5,8 мм, толщина от 0,11 до 1,8 мм.

Используемые средства

- **Comsol Multiphysics** ПО (МКЭ)
- **Gnuplot** СПО (рисунки и несложные вычисления), **xfig** СПО (рисунки)
- **Perl** СПО (скриптовый язык, полезный для работы с текстом)
- Аналитические методы (**Приближение тонкой пластины**)

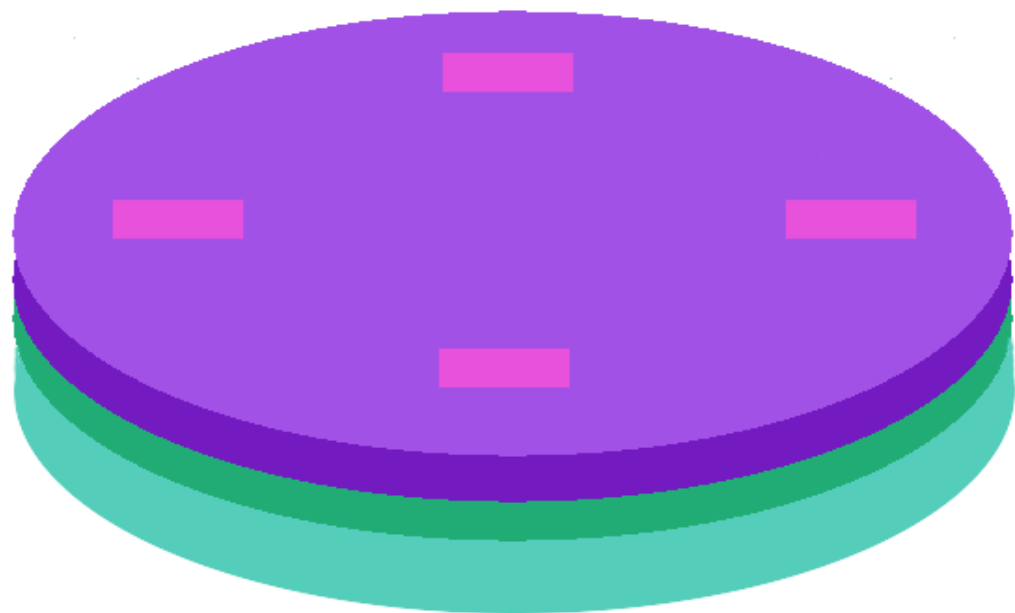


Применения

- Машинное оборудование
- Автомобили --- !!!
- Химическая технология
- Военная техника
- Ядерные технологии
- Научные исследования
- И многое другое ...

Практически...

4 Silicon resistors on the surface

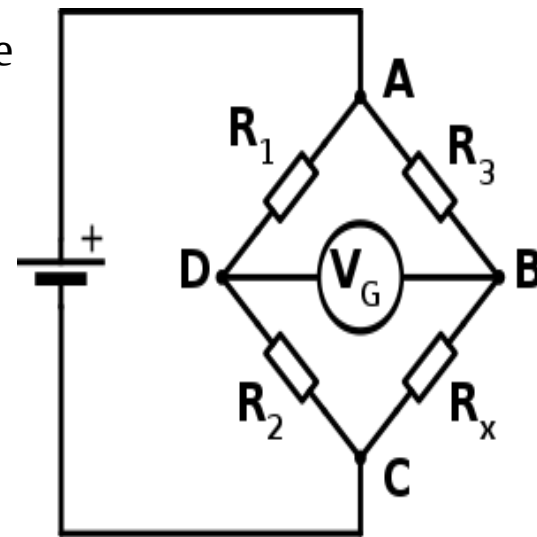


Sapphire

Solder

Titanium

Wheatstone
bridge



Электроника

может быть очень

сложной

Механика + Полупроводники + Электроника

Классическое уравнение тонкой пластины

- Ограничения Теории
- Зависимость между перемещением и деформацией (в цилиндрических координатах)
- Уравнения локального равновесия
- Уравнения глобального равновесия
- Прикрепленная пластина
- Радиальное перемещение и тангенциальное перемещение
- Многослойная проблема

Анизотропия сапфира

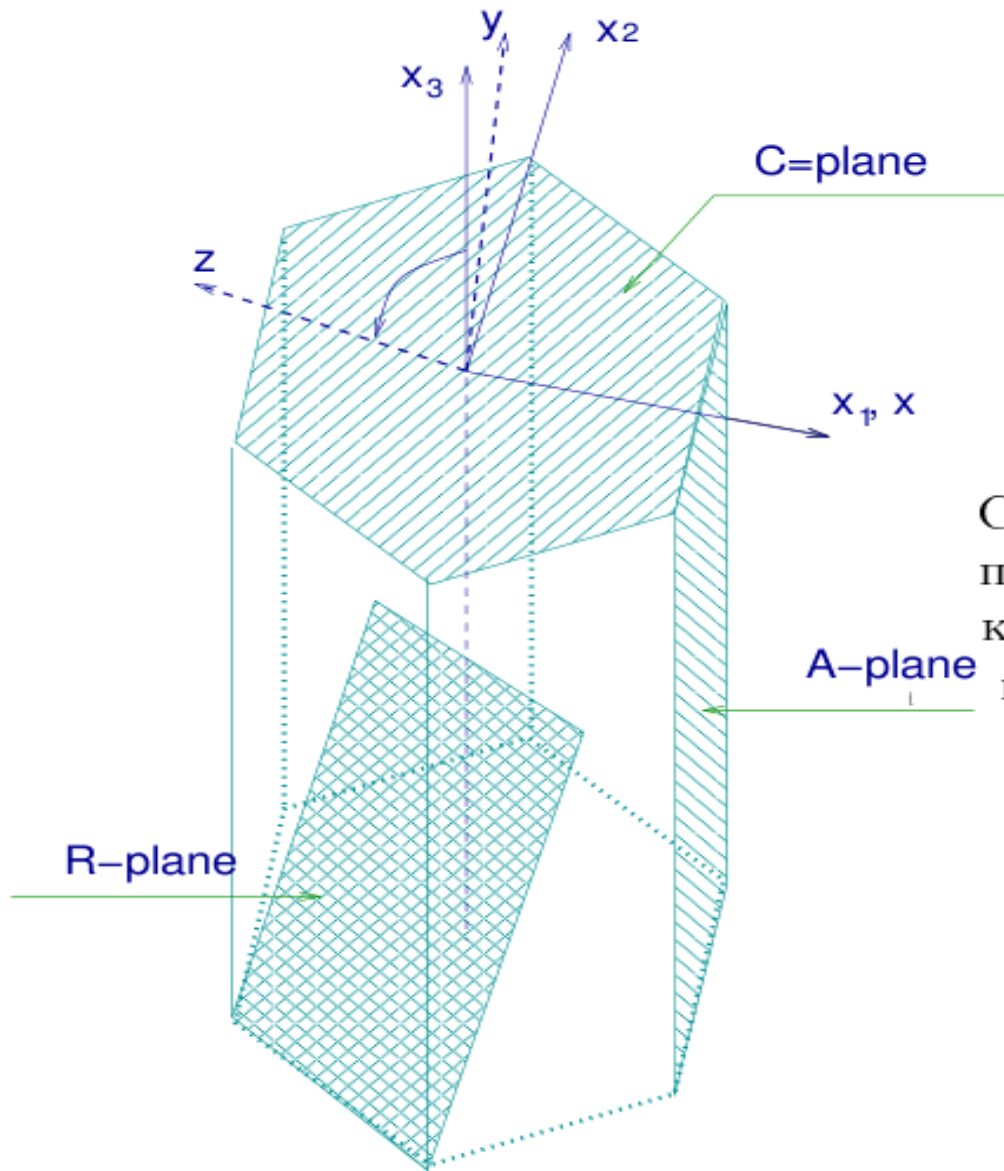
Кристаллографическая структура сапфира, Al_2O_3 .

Параметры решетки

$a = 4.758\text{\AA}$ и $c = 12.991\text{\AA}$.

Систем координат R -плоскости получается через вращение координатной системы (x_1, x_2, x_3) на угол θ вокруг оси x_1 .

$\theta = 57.11^\circ$.



Коэффициент теплового расширения титана и его сплавов.

$T(^{\circ}K)$	200	293	500	800	1100
α	7.4	8.6	9.9	11.1	11.7

Для численного моделирования, желательно иметь простое приближение $\alpha(T)$.

Хорошее приближение получается при следующих функций:

$$\alpha(T) = \alpha_0 + \beta \cdot (T - T_0)^{\gamma},$$

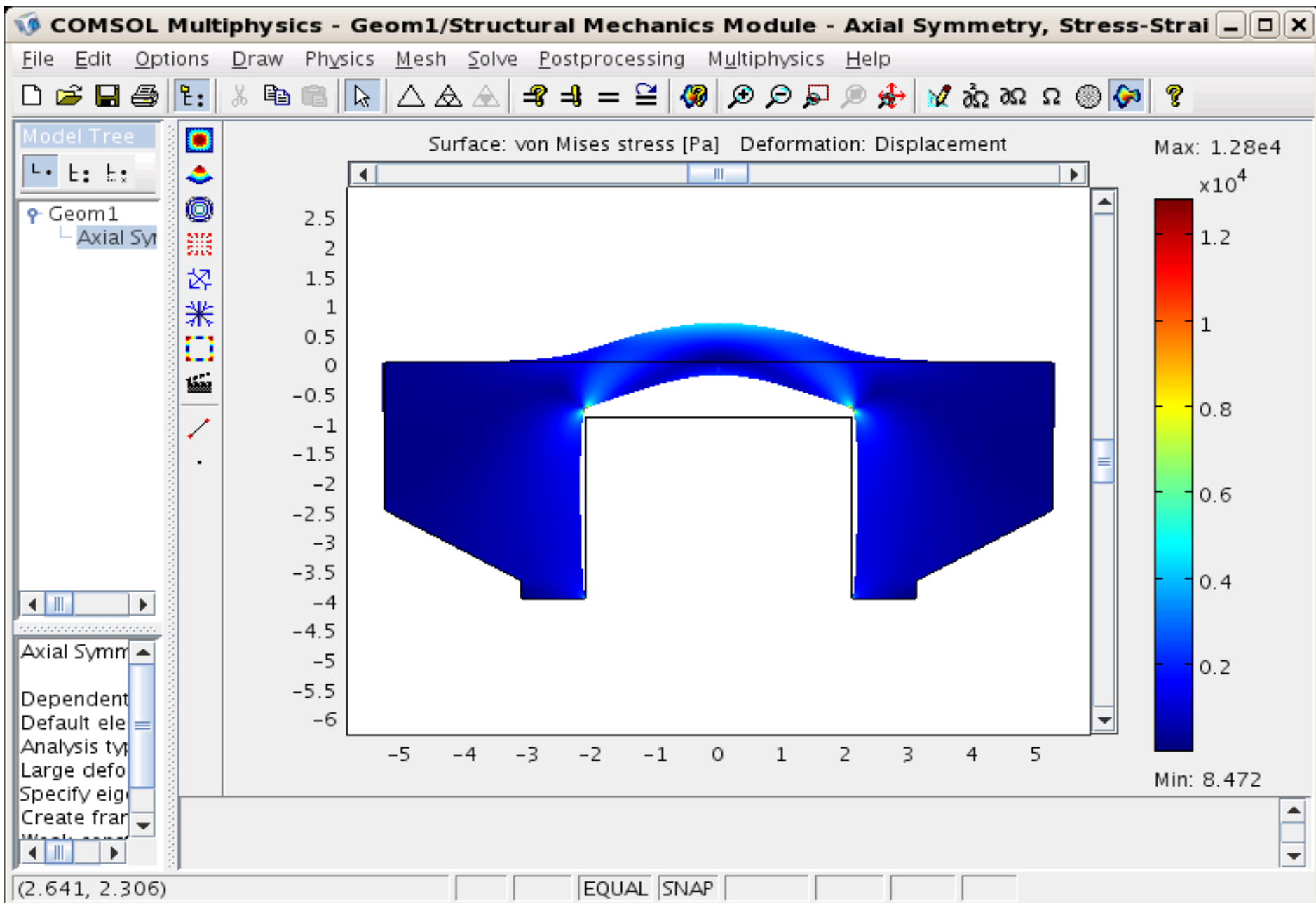
где $\alpha_0 = 6.91$, $\beta = 0.35$, $T_0 = 236.4$, и $\gamma = 0.39$.

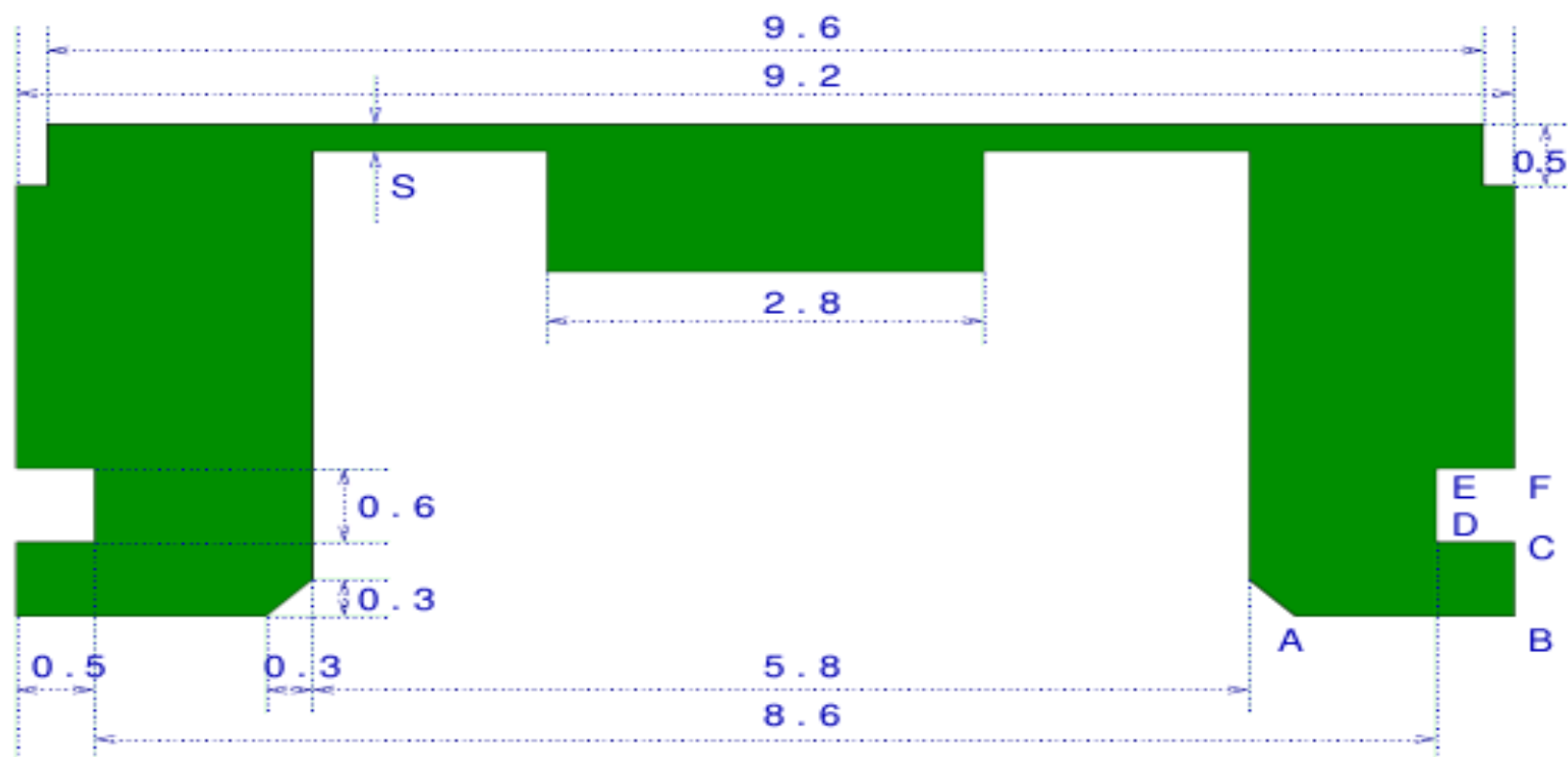
Comsol -Multiphysics – Вычисления методом конечных элементов (FEM)

ВОЗМОЖНОСТЬ моделировать широкий спектр научных и инженерных явлений из многих областей физики, таких как:

- акустика, химические реакции, диффузия, электромагнетизм,
- гидродинамика, фильтрование, тепломассоперенос, оптика,
- квантовая механика, полупроводниковые устройства, сопломат

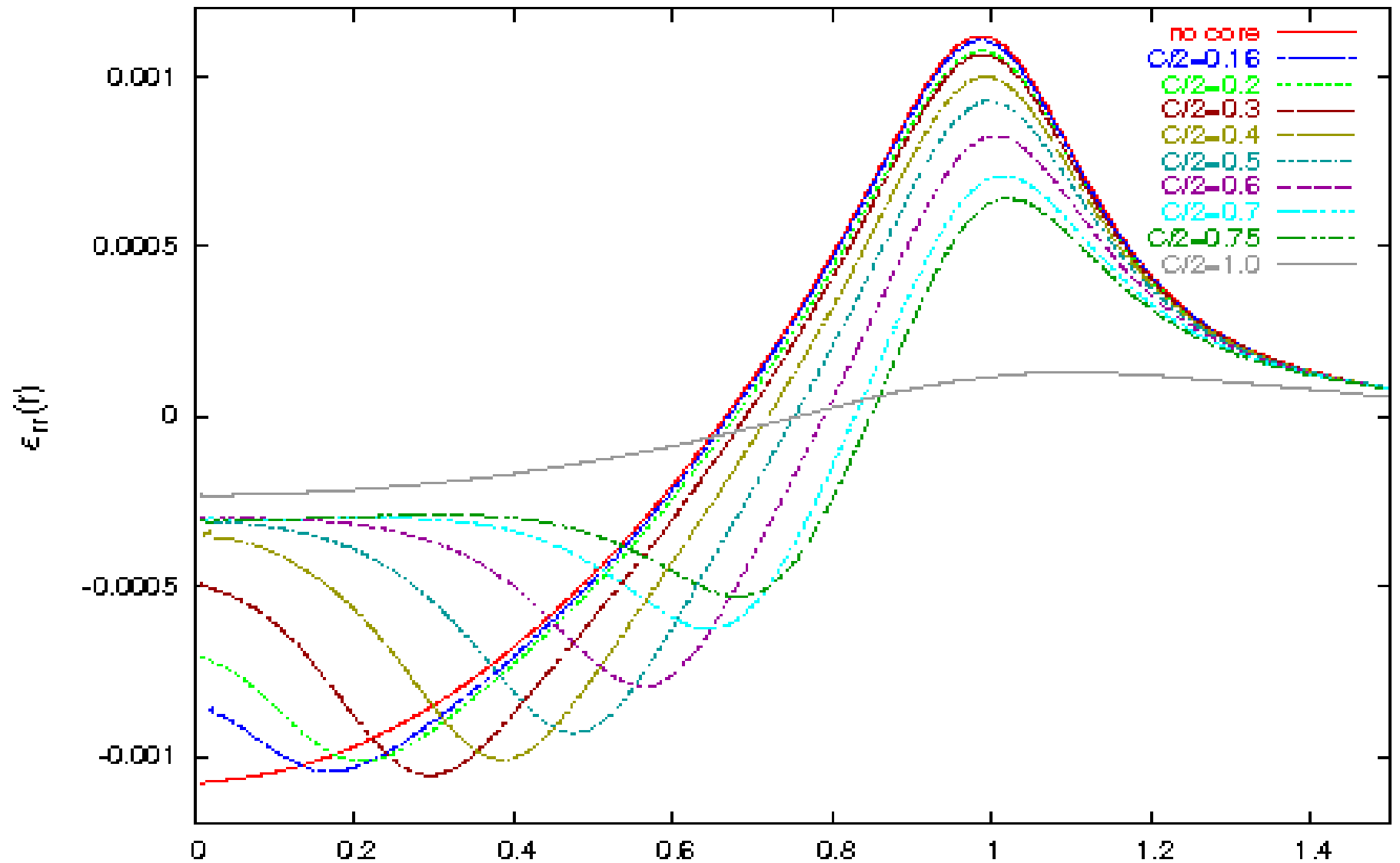
Вычисления используя Comsol



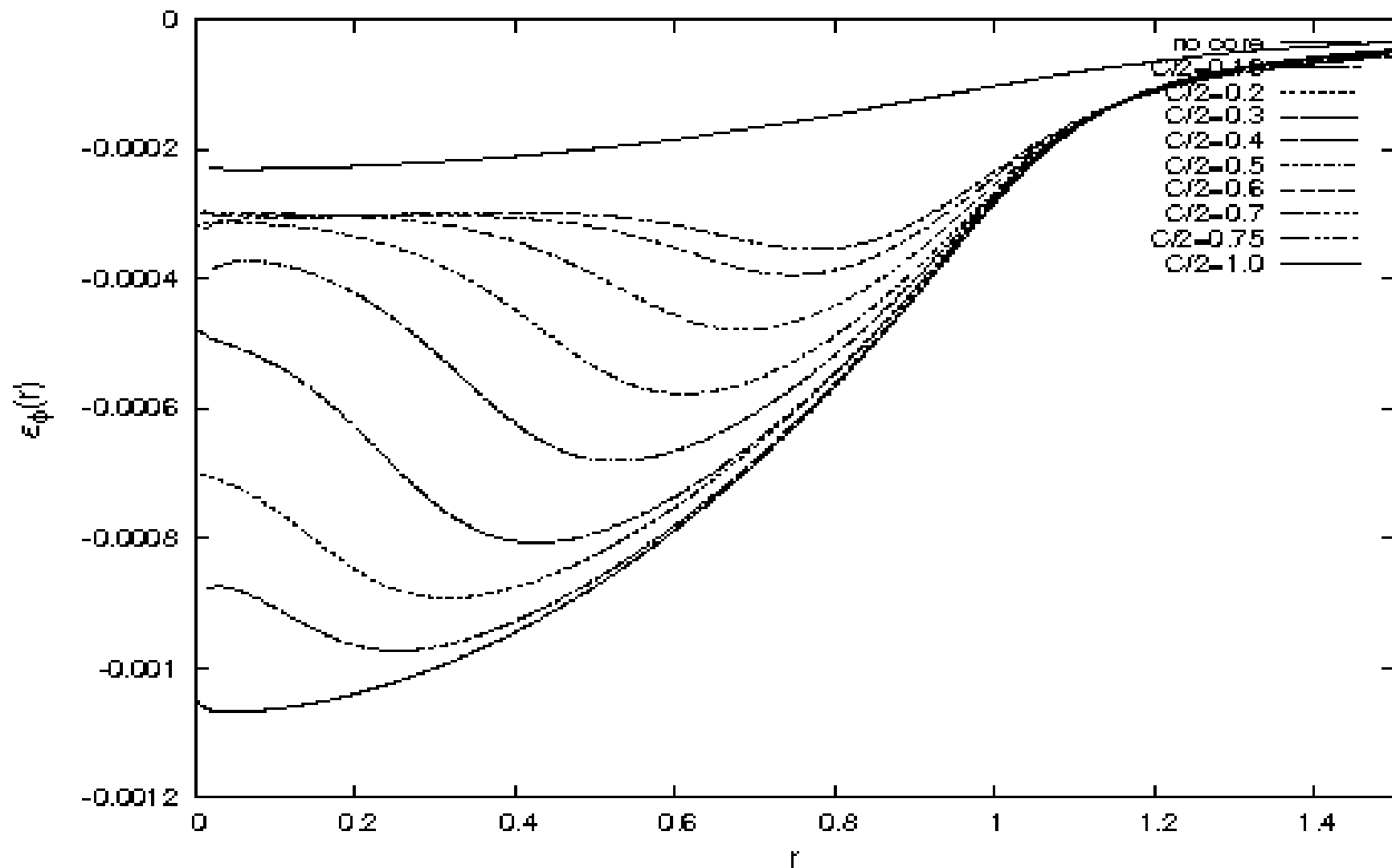


Геометрические параметры

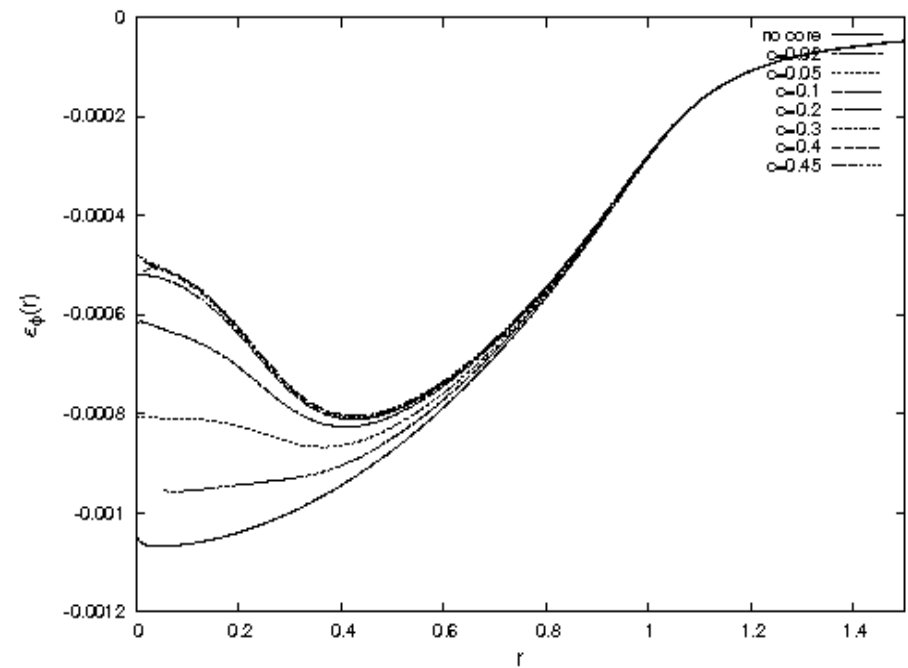
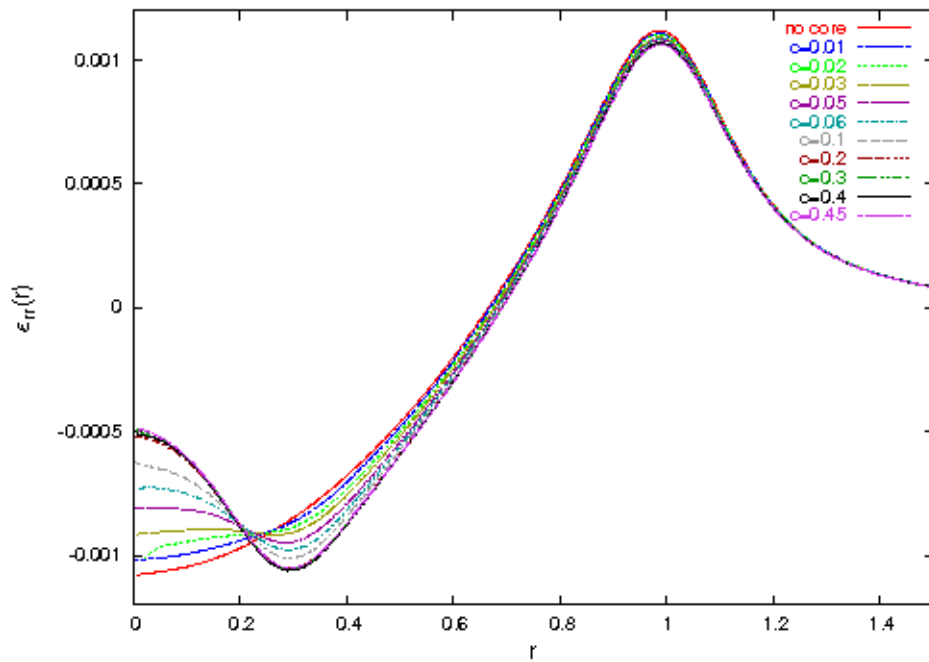
"действительных" датчиков



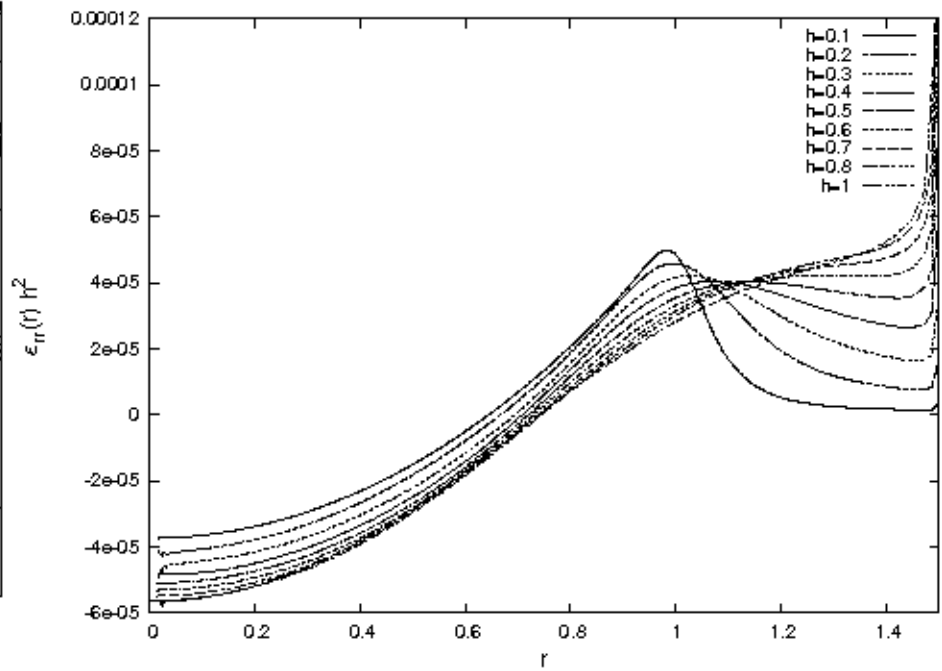
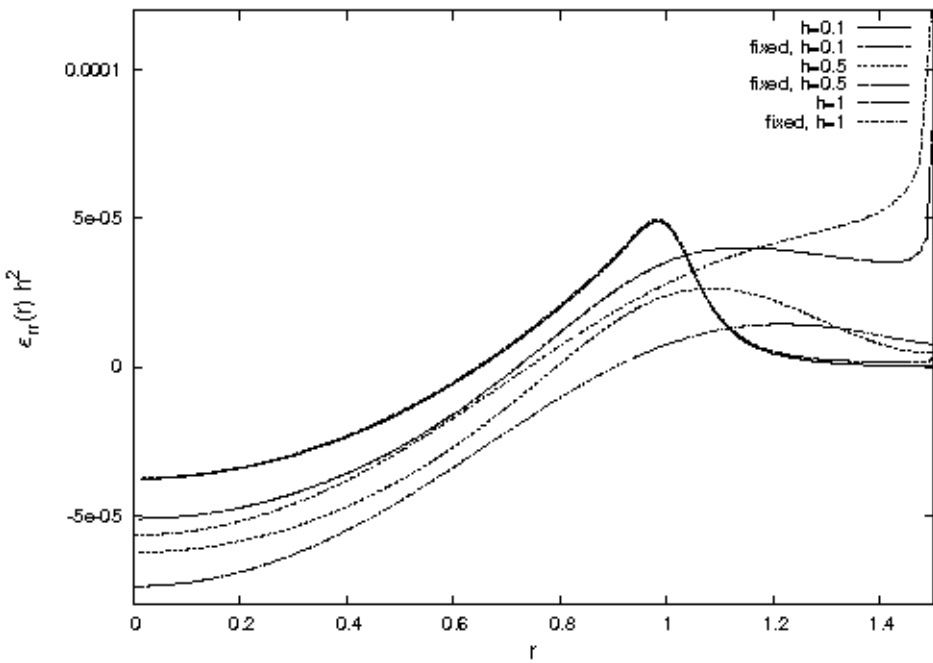
Влияние внутреннего жесткого центра диаметром C на компонент тензора деформации. Наиболее верхняя кривая рассчитана при отсутствии жесткого центра. Толщина пластины составляет $h=0.2$.



Влияние внутреннего жесткого центра диаметром C на компонент тензора деформации. Наиболее верхняя кривая рассчитана при отсутствии жесткого центра. Толщина пластины составляет $h=0.2$.



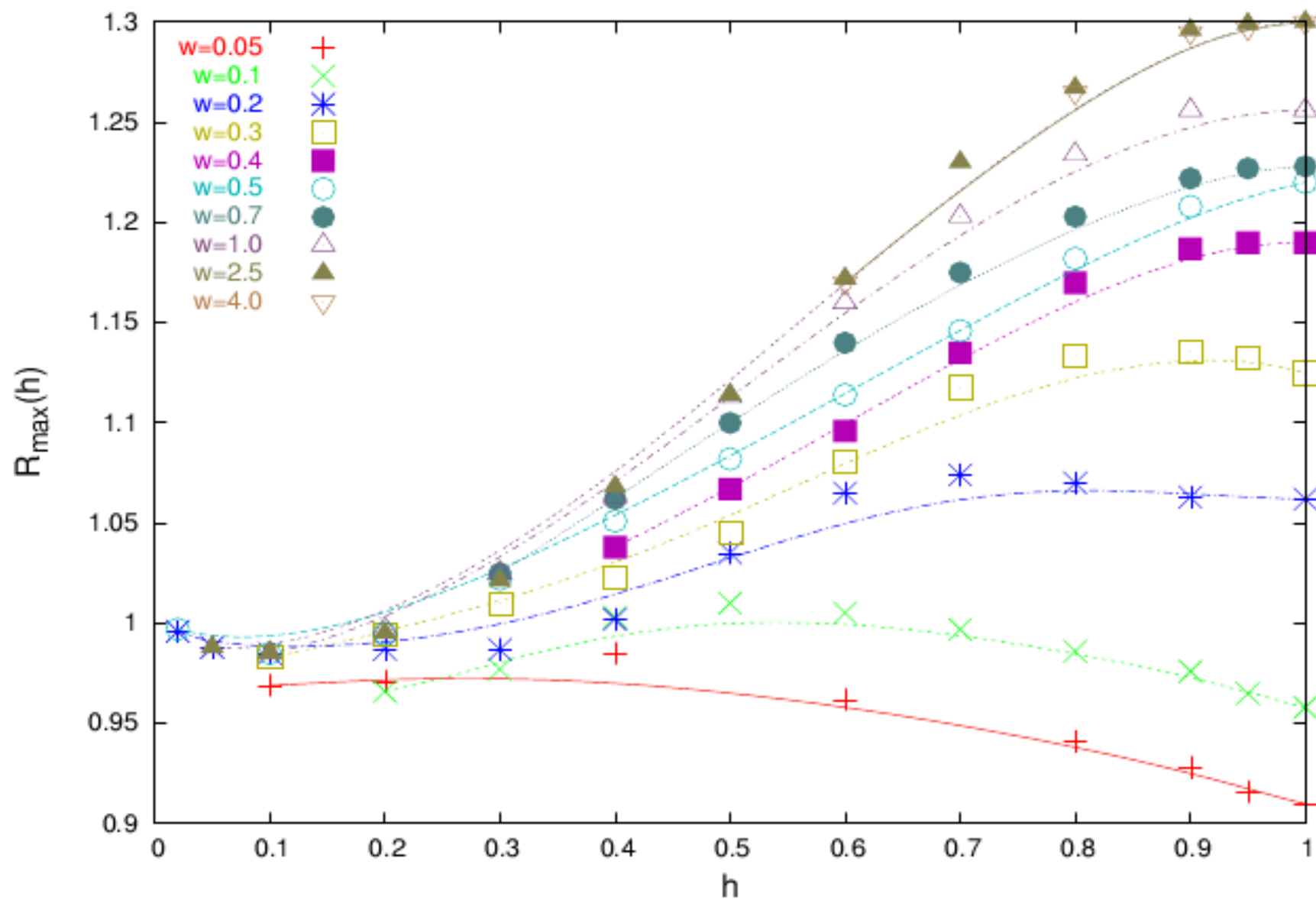
Значение высоты внутреннего жесткого центра, c , на компоненты тензора деформации. Радиус жесткого центра составляет 0.3, а толщина пластинки составляет $h=0.2$.



Роль граничных условий на внешней поверхности стенок.

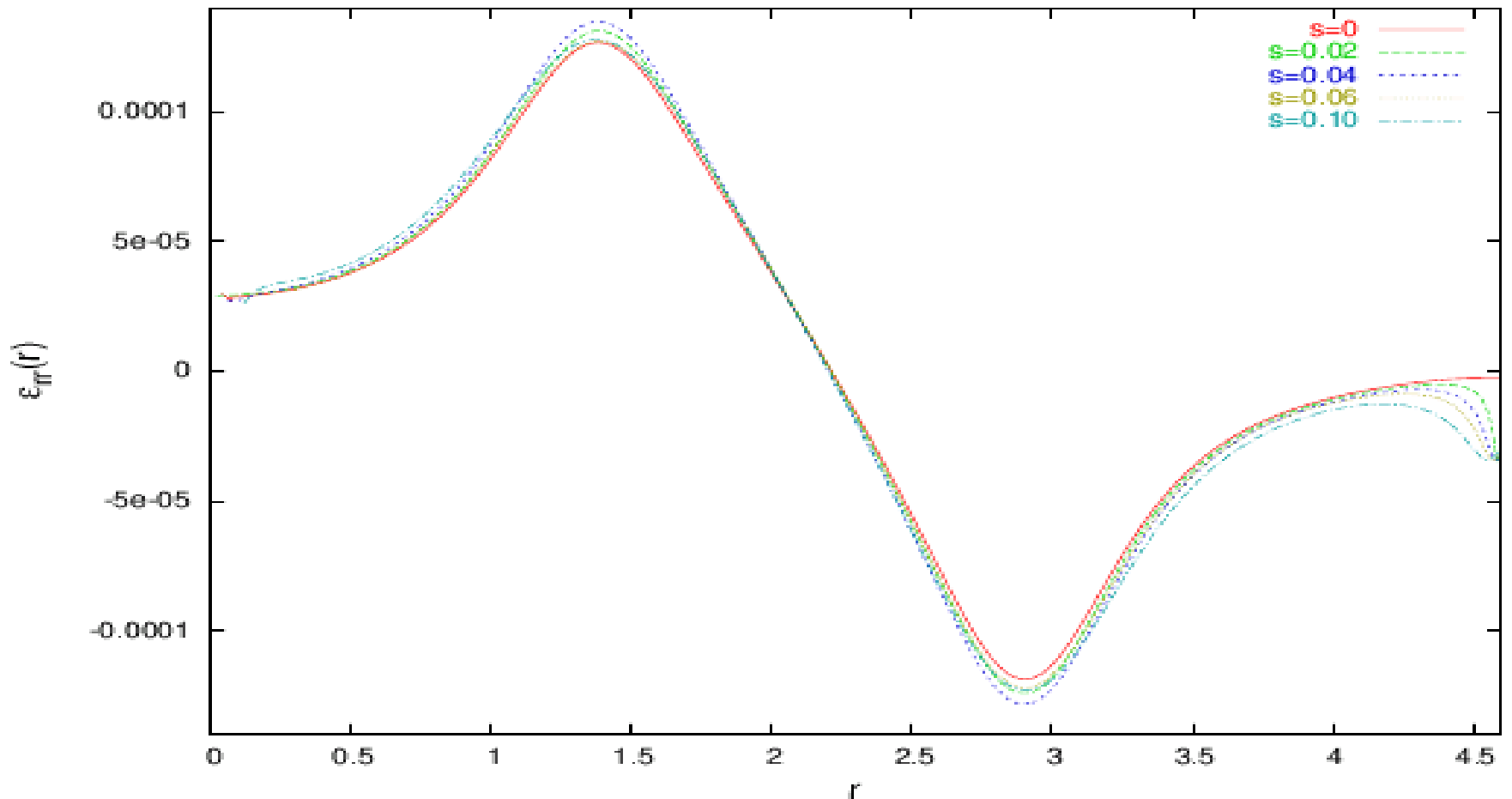
С левой: сравнено для внешней поверхности стенок зафиксированой и свободной.

С правой: Внешная поверхность стенок зафиксированая.



Позиция максимумов в $\varepsilon_{rr}(r)$, $R_{max}(h)$, для различных значений толщины стенки. R/H равно 1.

– Многослойная проблема



Компонент тензора деформации, $\varepsilon_{rr}(r)$,
когда присутствует слой припоя

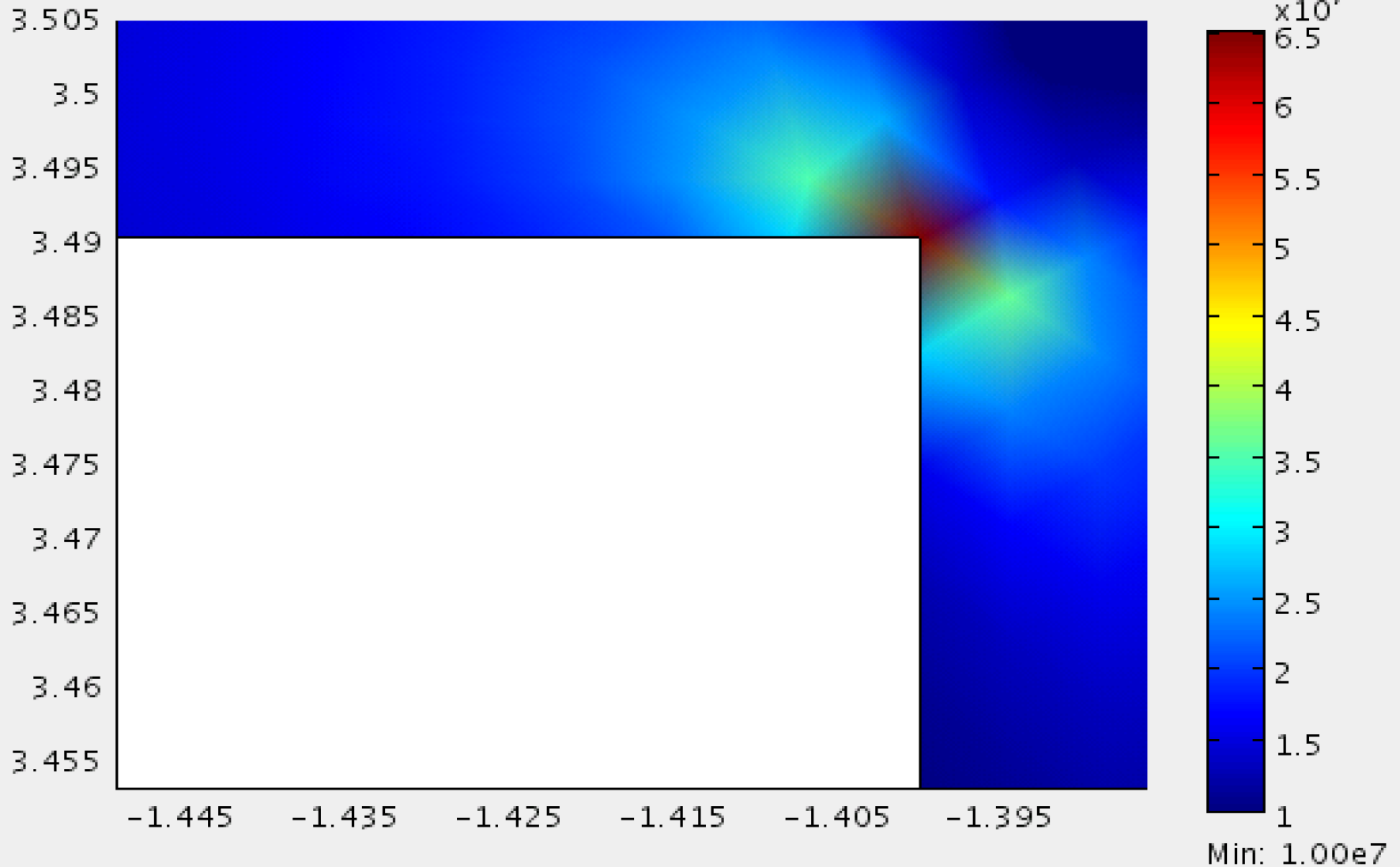
Нелинейные эффекты

Титановые сплавы могут иметь предел эластичной прочности от 950 Мпа или более, и возможность упругих деформаций до около 1.6% или больше. Любые расчеты на основе линейной зависимости между деформацией и напряжением должны подвергаться ошибкам при давлениях больше около 100 Мпа. Однако, нелинейные эффекты будут присутствовать при давлениях значительно ниже из-за нелинейной формы деформаций мембраны.

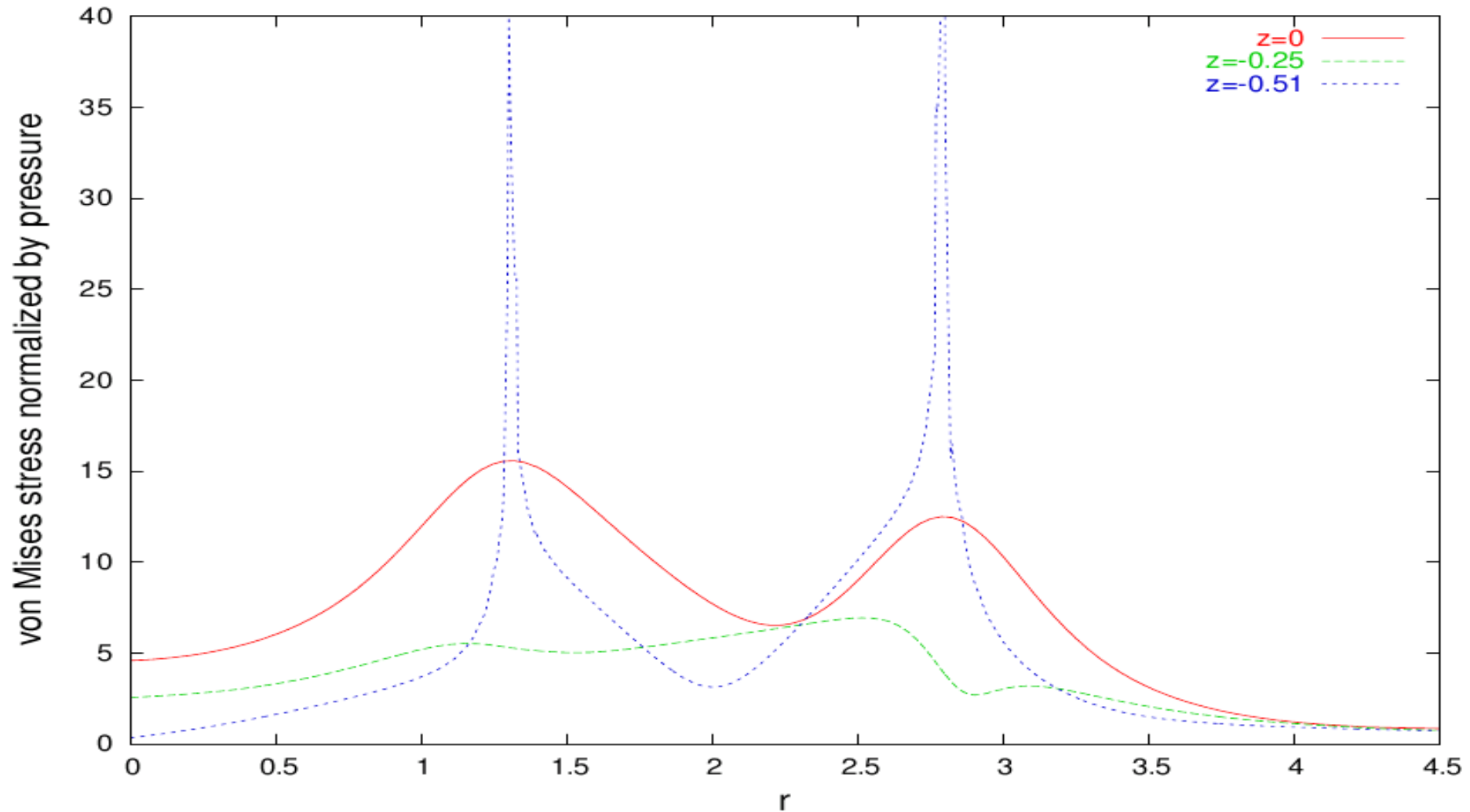
Напряжения фон-Мизеса

Одним из критериев, использованных в вычислениях, когда материал ломается, есть так называемый критерий фон-Мизеса, который принимает во внимание, что материал становится пластичным при еще более низких напряжениях, если будут применяться дополнительные напряжения в других направлениях.

Surface: von Mises stress [Pa]



Напряжения фон-Мизеса вблизи угла с жёстким центром для приложенного давления 1 МПа.



Напряжения фон-Мизеса. Единицы в миллиметрах: $D = 9.2$, $h=0.51$, $C=2.8$, $R=2.9$, $c=1.49$, $H=4.0$. Давление приложенное 1 МПа, а параметры материала как для титана. Графики нормированные приложенным давлением.

I этап:

Механические свойства

завершен в 4 / 5