Презентация выпускной квалификационной работы

Тема: «Разрушение и пластическое деформирование материалов при ударно-волновых нагрузках»

Москва 2017

Введение

Высокоскоростное соударение твердых тел является не линейным процессом. Его результатом могут явятся разрушения, что существенно усложняет расчет напряженно-деформированного состояния тел. Эффективным инструментом анализа быстропротекающих процессов такого рода является компьютерное моделирование.

Откольное разрушение

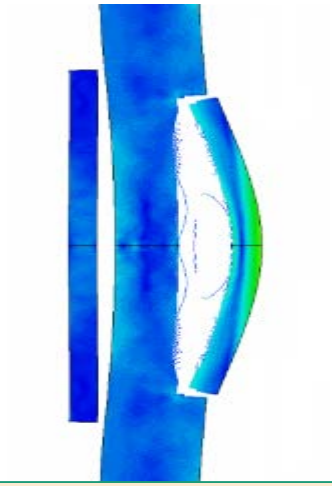


Рис. 1

Пластическая деформация

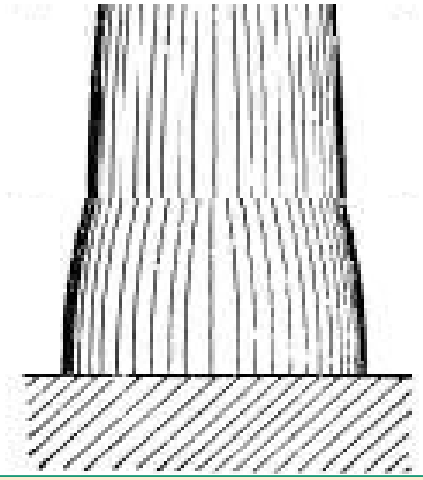


Рис. 2

Актуальность

Откольные явления

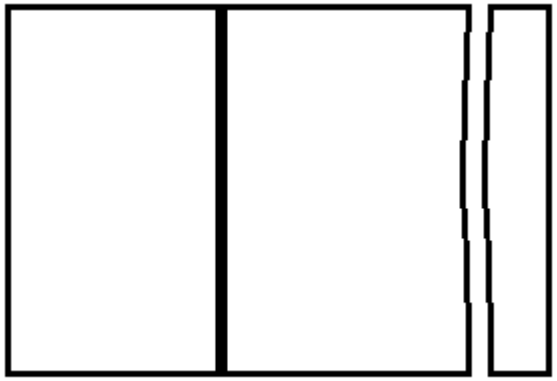


Рис. 3

Ударно-волновое прессование

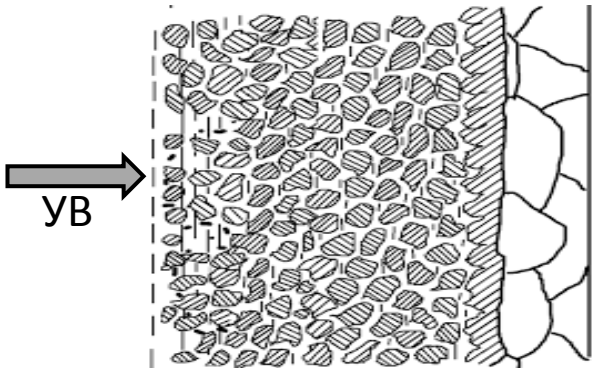


Рис. 4

Безопасность оболочки ЯР*

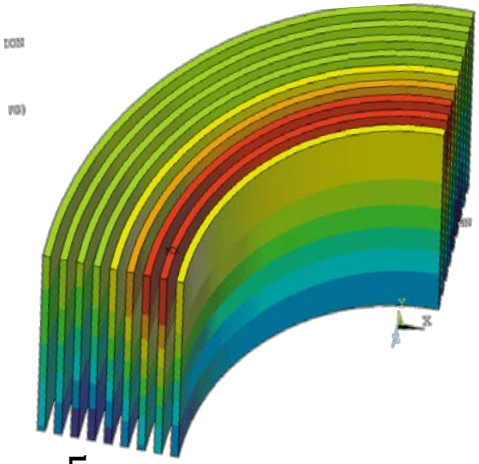


Рис. 5

Накопленный опыт в области высокоскоростного деформирования твердых тел представляет интерес:

1. **в ядерной физике**
2. **в астрофизике**
3. **в авиа-конструировании**
4. **в прочностном анализе**

***ЯР – ядерный реактор**

Цели

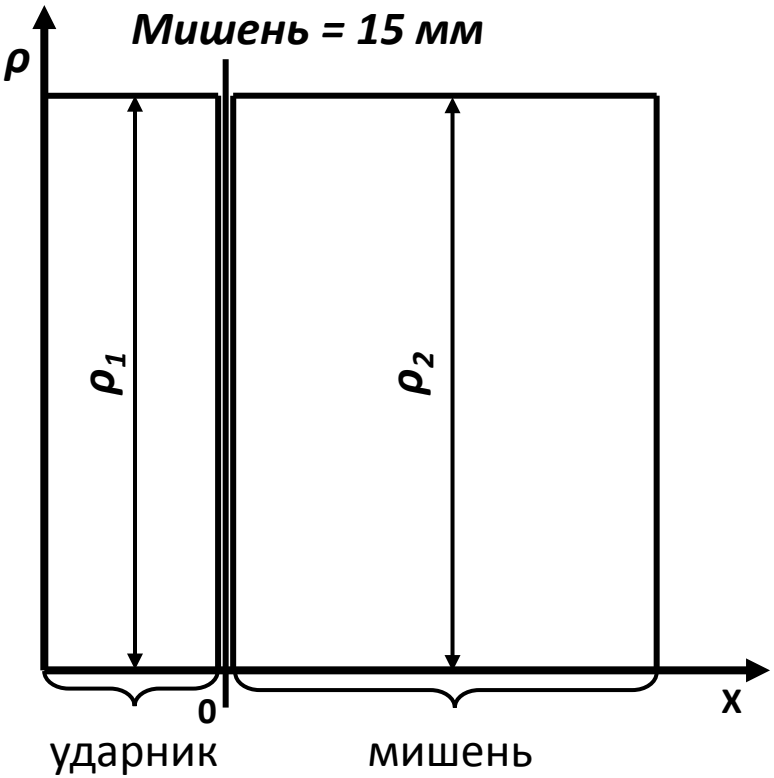
- Адаптация вычислительного алгоритма, для моделирования откольных разрушений с использованием интегрального критерия разрушения(Тулера-Бучера), на примере задачи соударения пластин.

- Адаптация и численная реализация алгоритма для моделирования пластических деформаций в декартовых координатах.

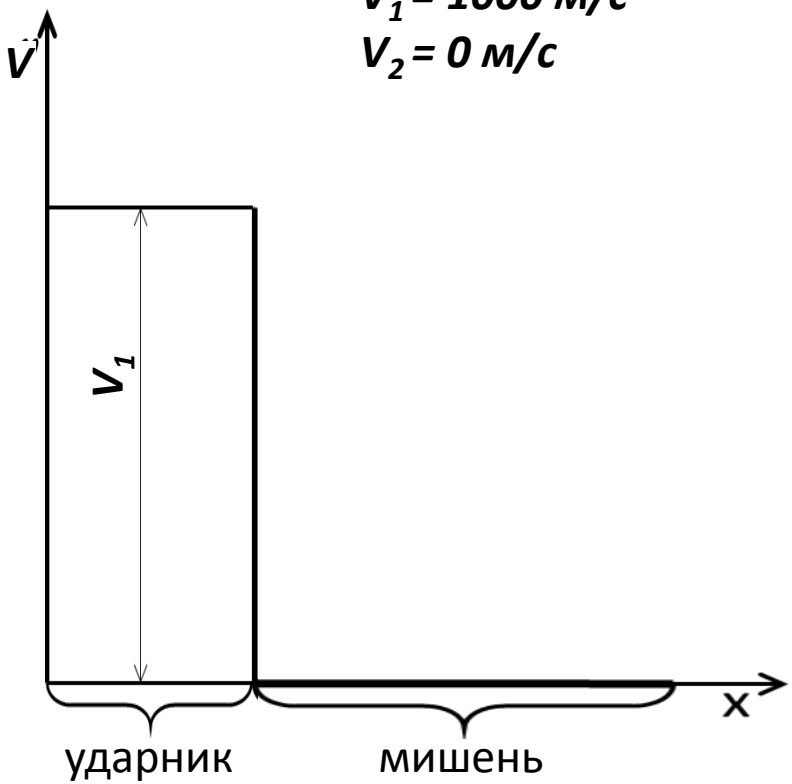
Моделирование откольных явлений

Постановка задачи

$\rho_1 = \rho_2 = 8{,}92$ г/см³
Ударник = 5 мм
Мишень = 15 мм



$V_1 = 1000$ м/с
$V_2 = 0$ м/с



Материал: медь

Дифференциальная постановка

1. $\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial m} = 0$ – закон сохранения импульса
2. $\frac{\partial x}{\partial m} = \frac{1}{\rho}$ – закон сохранения массы
3. $\frac{\partial}{\partial t}\left(E + \frac{u^2}{2}\right) + \frac{\partial (pu)}{\partial m} = 0$ – закон сохранения энергии
4. $\frac{\partial x}{\partial t} = u$ – закон движения
5. $p = A\left[\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^n - 1\right]$ – уравнение состояния*
6. $K = \int_{t_0}^{t}\left[\sigma_p(t) - \sigma_0\right]^{\eta} \partial t$ - критерий Тулера-Бучера

*Баротропное уравнение давления в форме Тэта

Результаты

t = 5.08 мкс

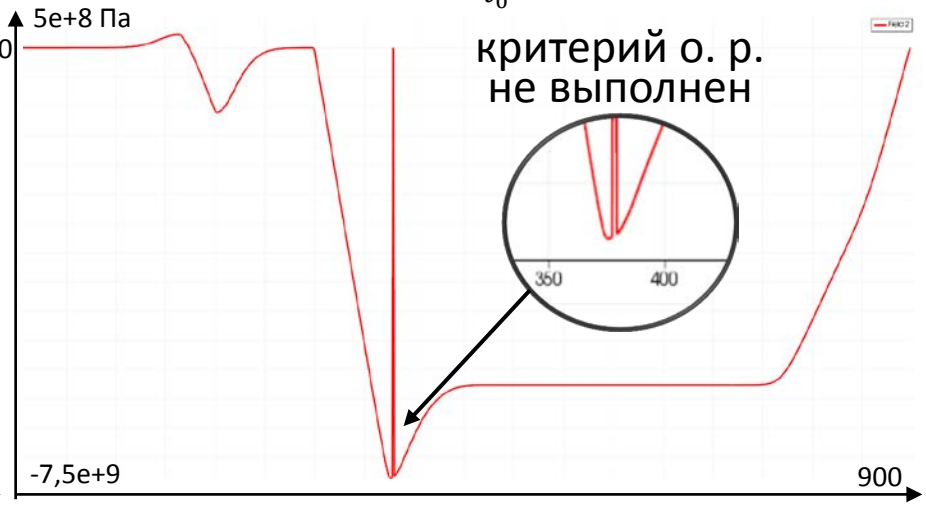
Критерий разрушения:

$P > \sigma_т$

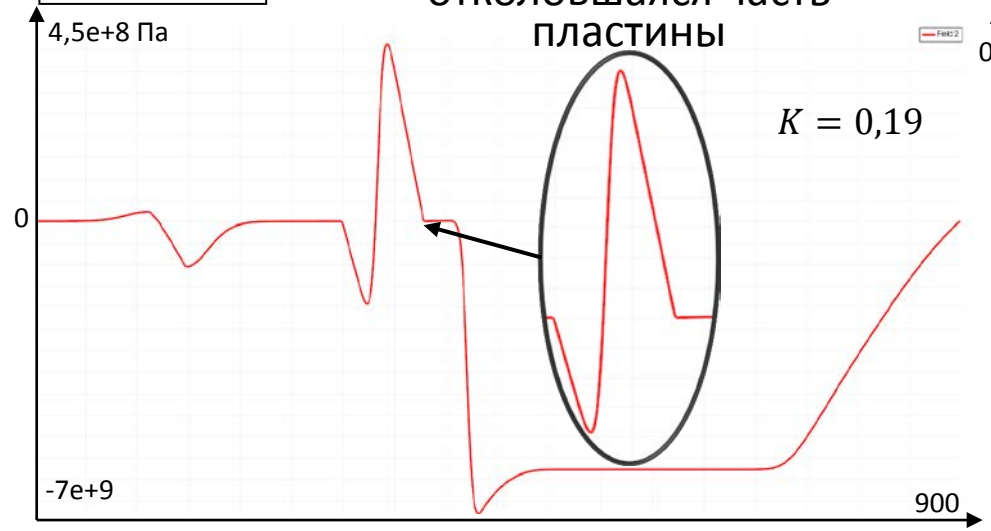
ДАВЛЕНИЕ

Критерий разрушения Тулера-Бучера

$$K = \int_{t_0}^{t} \left[\sigma_p(t) - \sigma_0\right]^{\eta} \partial t,$$



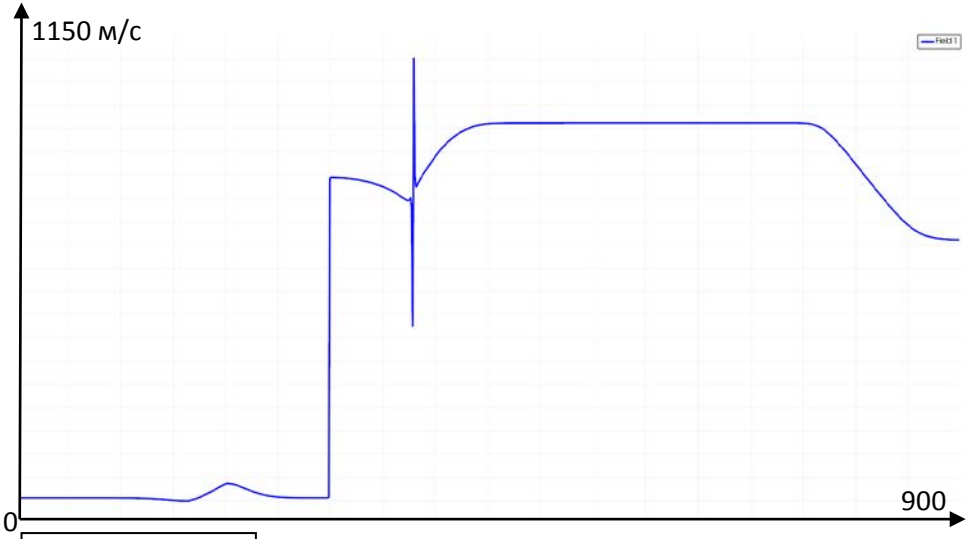
t = 5.3 мкс

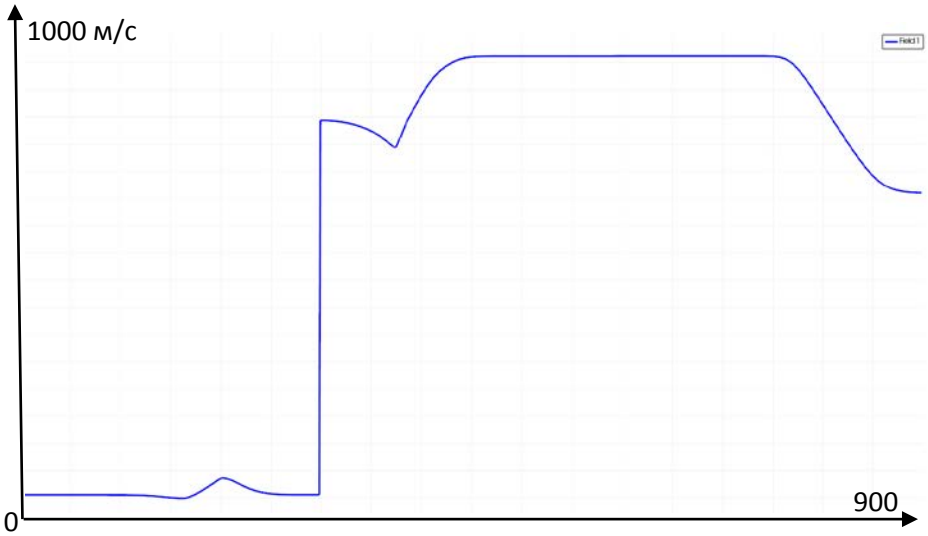


Результаты

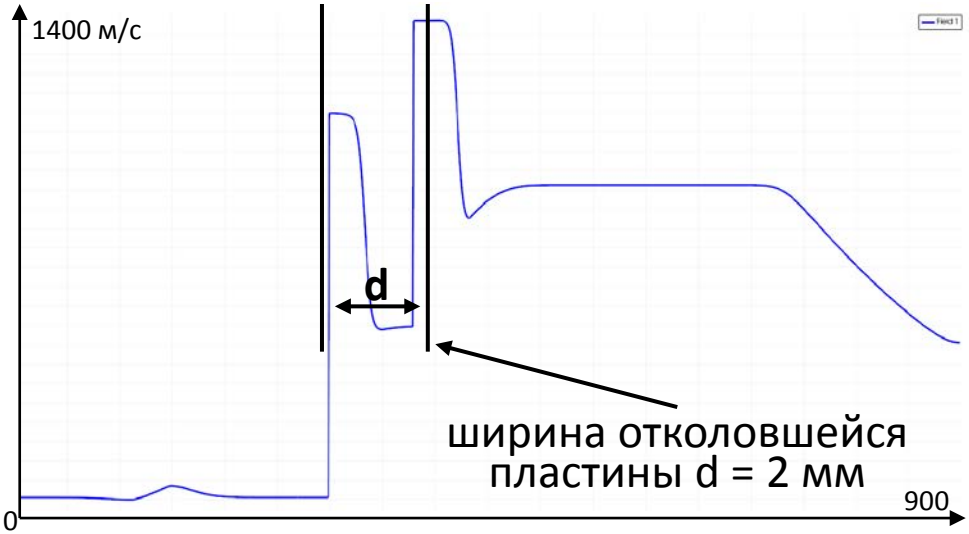
СКОРОСТЬ

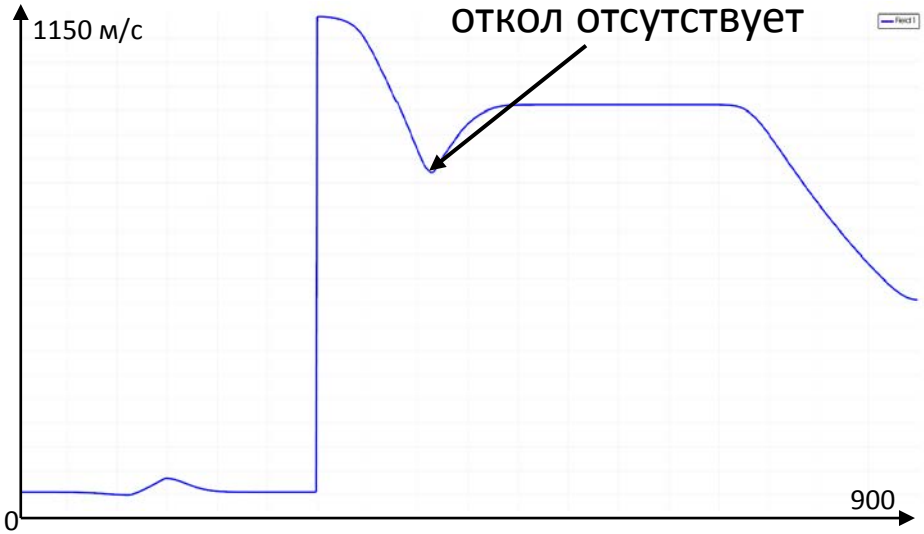
t = 5.08 мкс





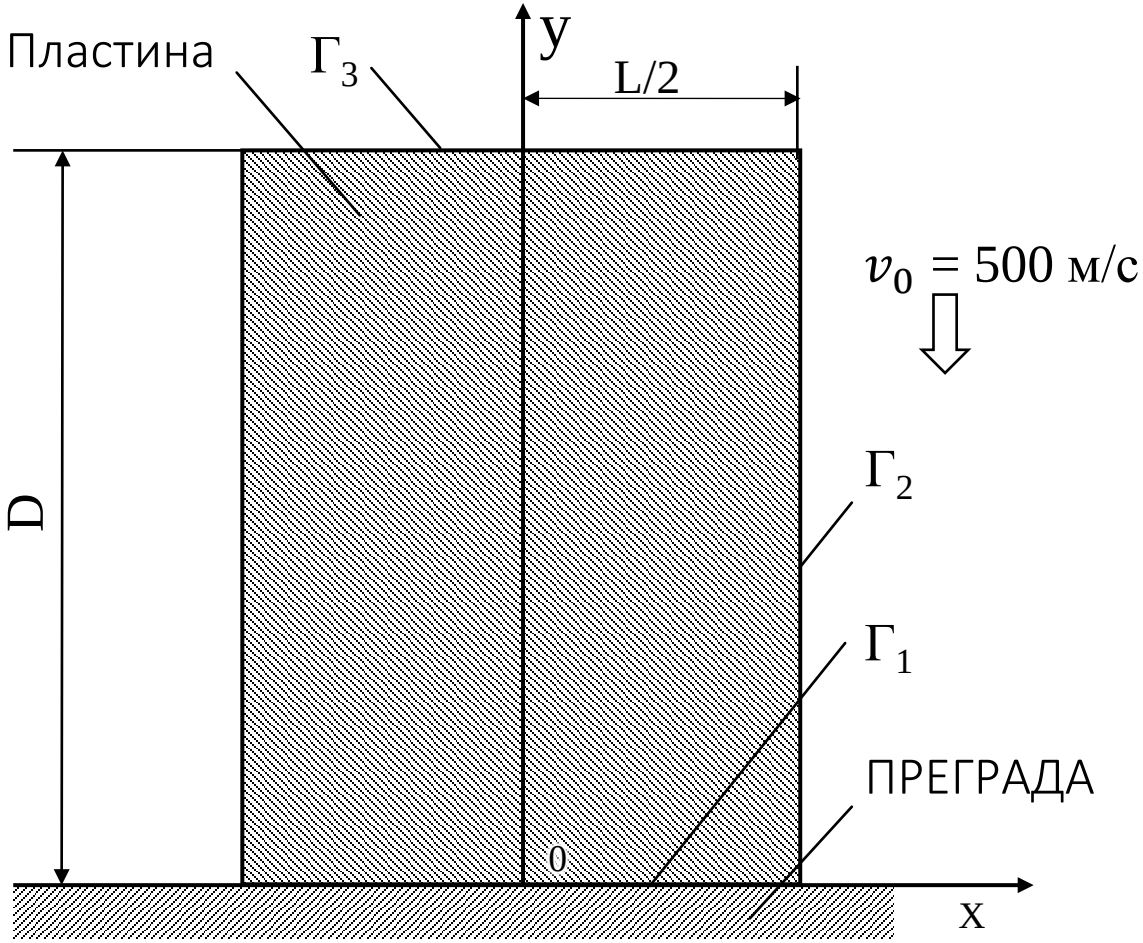
t = 5.3 мкс





Моделирование упругопластических течений

Постановка задачи



Постановка дифференциальной задачи

Уравнения движения:

1. $a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{\partial v_x}{\partial t} = \frac{V}{\rho_0}\left[\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y}\right];$

2. $a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{\partial v_y}{\partial t} = \frac{V}{\rho_0}\left[\frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x}\right];$

Уравнение неразрывности:

3. $\dot{V} = \frac{\partial V}{\partial t} = V\left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y}\right);$

Уравнение энергии:

4. $\dot{E} = \frac{\partial E}{\partial t} = -(p+q)\frac{\partial V}{dt} +$

$+ V\left(D_{\sigma xx}\dot{\varepsilon}_{xx} + D_{\sigma yy}\dot{\varepsilon}_{yy} + D_{\sigma xy}\,\dot{\varepsilon}_{xy}\right);$

Постановка дифференциальной задачи

Уравнение состояния:

1. $p = A\left[\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)^n - 1\right]$

Компоненты девиатора напряжений:

2. $\frac{\partial D_{\sigma xx}}{\partial t} = 2G\left(\dot{\varepsilon}_{xx} - \frac{\dot{V}}{3V}\right) + \delta_{xx};$

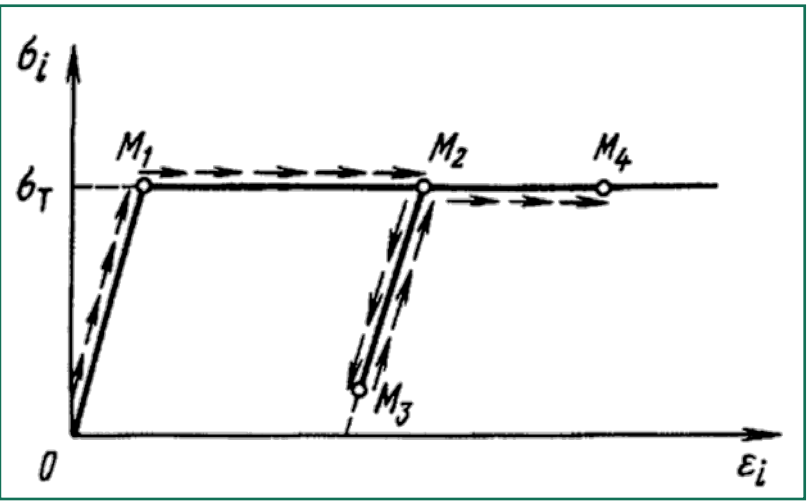
3. $\frac{\partial D_{\sigma yy}}{\partial t} = 2G\left(\dot{\varepsilon}_{yy} - \frac{\dot{V}}{3V}\right) + \delta_{yy};$

4. $\frac{\partial D_{\sigma xy}}{\partial t} = G\left(\dot{\varepsilon}_{xy}\right) + \delta_{xy};$

Моделирование упругопластических течений

Условие пластического течения

Критерий пластичности Мизеса $\sigma_i = \sigma_T$



$$f = D_{\sigma xx}^2 + D_{\sigma yy}^2 + D_{\sigma xy}^2;$$

$$f > \left(\frac{2}{3}\right)\sigma_{\text{т}}^2$$

TRUE

$$F = \sigma_{\text{т}}\sqrt{2/3f}$$

$$D'_{\sigma xx} = D_{\sigma xx}F; \quad D'_{\sigma yy} = D_{\sigma yy}F;$$

$$D'_{\sigma xy} = D_{\sigma xy}F;$$

FALSE

$$D'_{\sigma xx} = D_{\sigma xx}; \quad D'_{\sigma yy} = D_{\sigma yy};$$

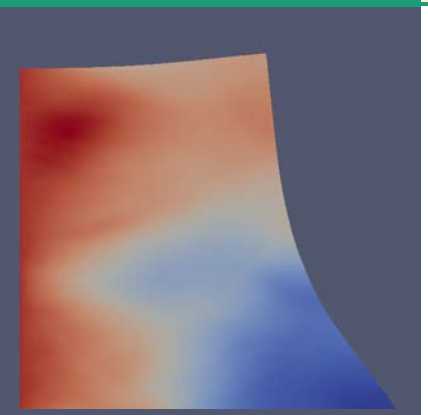
$$D'_{\sigma xy} = D_{\sigma xy};$$

*D' – скорректированное значение девиатора напряжений

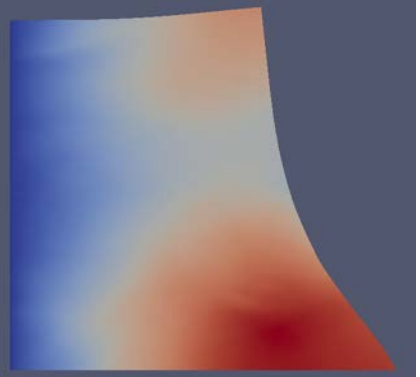
*f – вспомогательная функция, приведение напряжений на круг текучести

Результаты

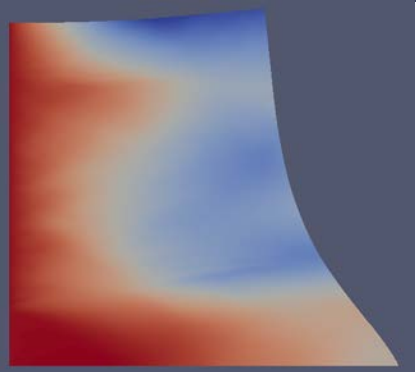
R - Z



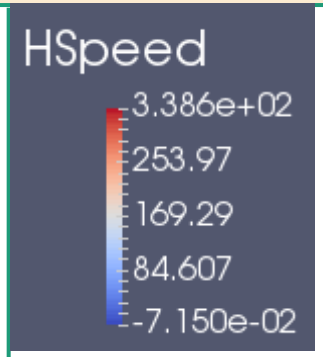
150dt



200dt



250dt



Материал: сталь 60
Плотность: 7800 кг/м^3

Геометрия:

- R-Z: Стержень
  Диаметр = 20 см;
  Высота = 40 см;
- X-Y: Пластина
  Ширина = 20 см;
  Высота = 40 см;

Скорость: 500 м/с;
Расчетная сетка: 500 тыс. ячеек;
dt = 8*10^{-8}

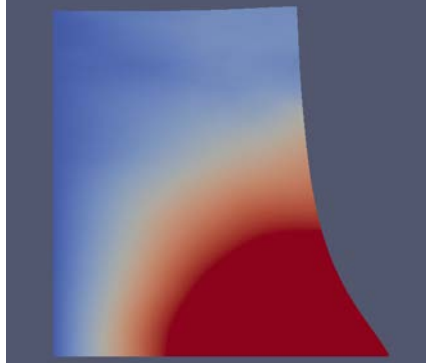
Время расчета: 200 мкс.

На рисунках показана горизонтальная компонента скорости V_r и V_x

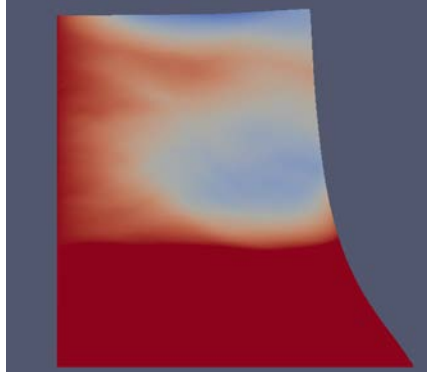
X - Y

150dt

200dt

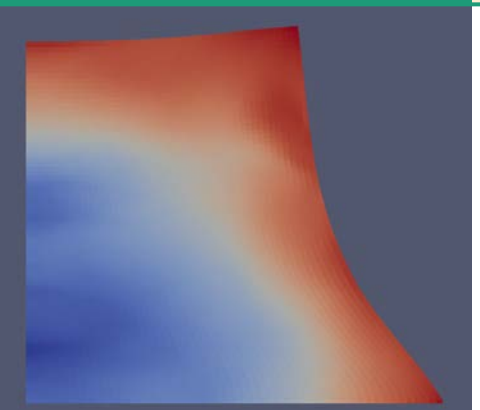


250dt

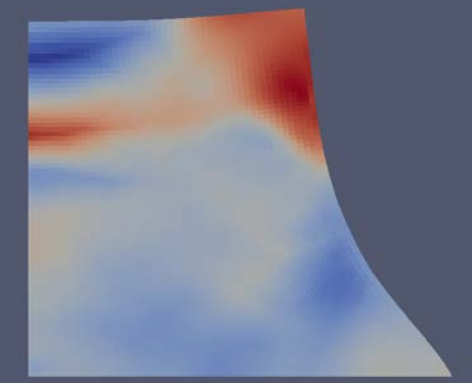


Результаты

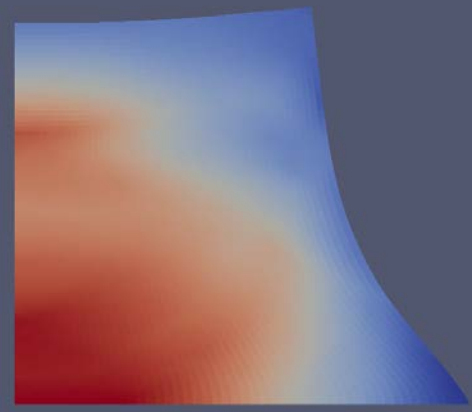
R - Z



150dt



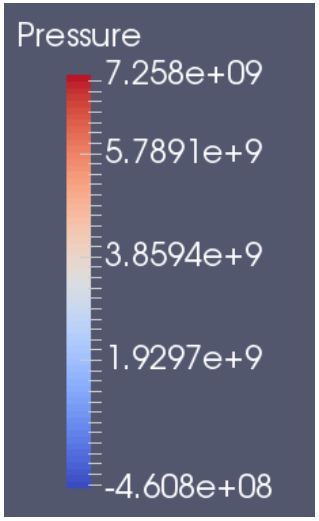
200dt



250dt

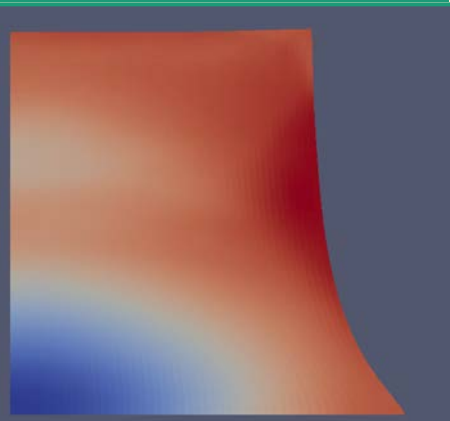
На рисунках показана эволюция давления в стержне(слева) и пластине(справа)

В результате анализа ударно-волновых процессов в стержне и пластине было отмечено что существенно изменился процесс деформации в декартовых координатах.

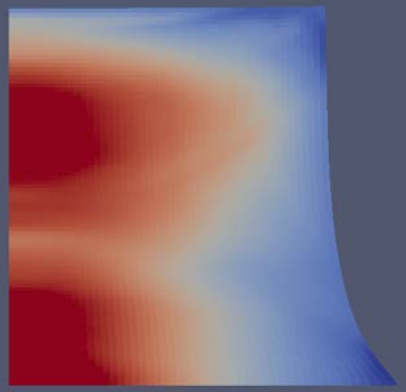


X - Y

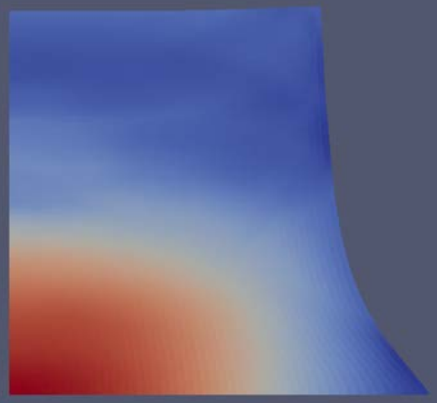
150dt



200dt



250dt



Заключение

Рассмотрен цикл теоретического исследования процесса взаимодействия деформируемых тел и сред — от постановки задачи и формулировки физико-математической модели до анализа получаемых результатов. Таким образом, происходящие в ходе соударения пластин сложные ударноволновые процессы достаточно адекватно отображаются с помощью численных методов решения задач, являющихся эффективным инструментом их исследования.

Завершение доклада

Спасибо за внимание!