

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)



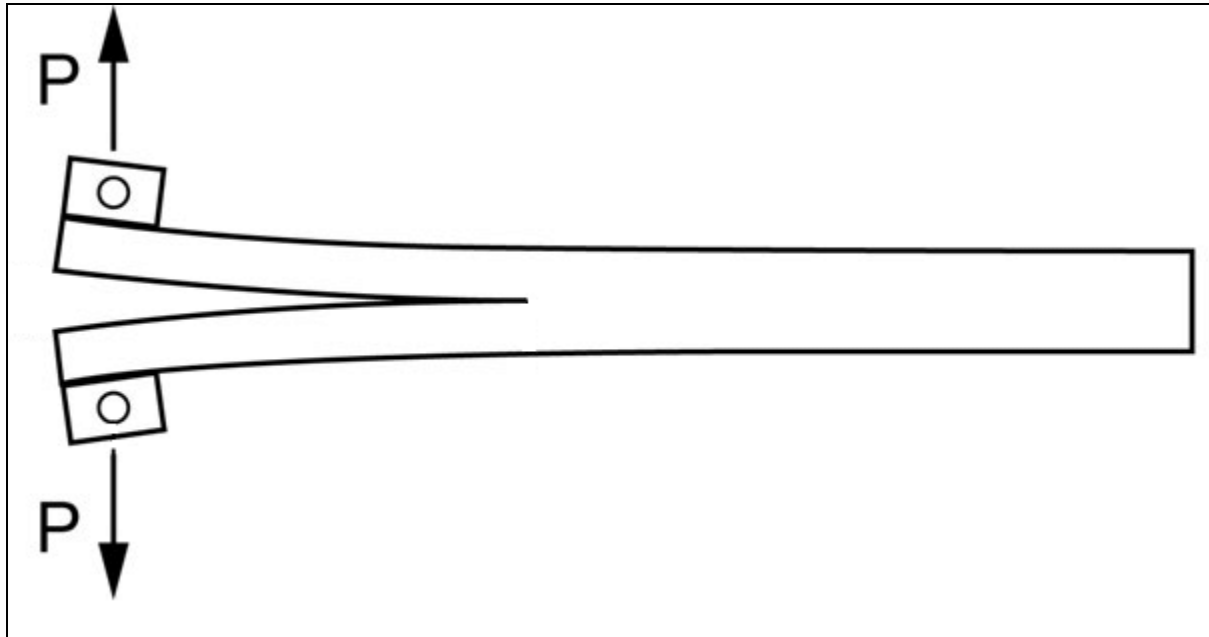
Научно-исследовательская работа студента
на тему:

Исследование особенностей несимметричного разрушения ДКБ-образца

Выполнил студент гр. РК5-11М: *Перминов С.Д.*
Научный руководитель: к.т.н., доцент кафедры
«Прикладная механика» *Чернятин А.С.*

Москва, 2017

Постановка задачи



ДКБ-образец (Double-cantilever beam specimen)

Метод максимального градиента плотности энергии упругих деформаций

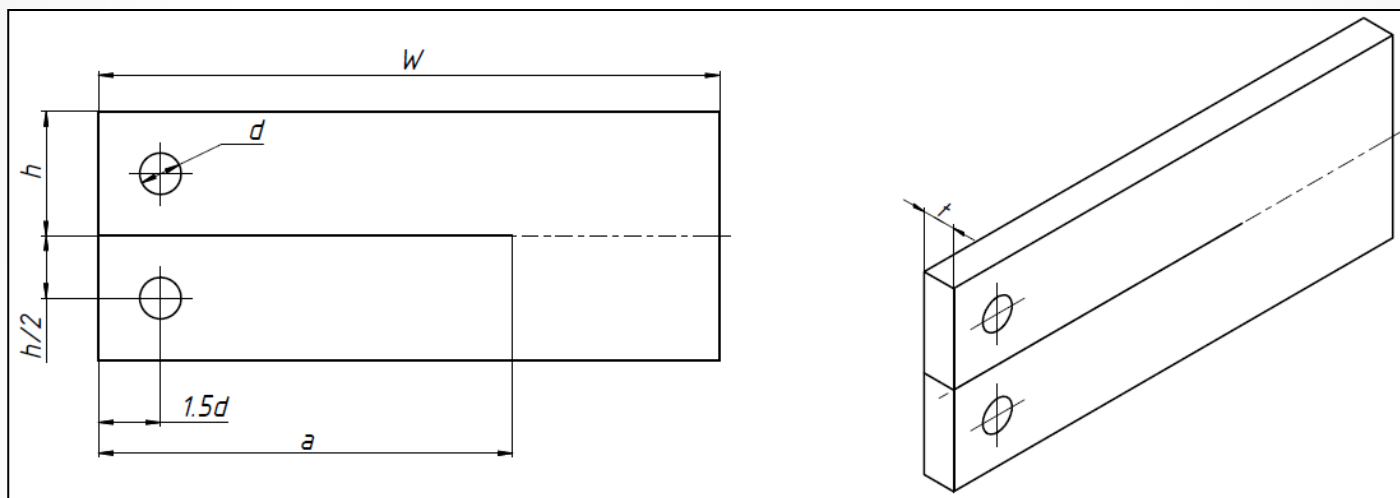
- *Гипотеза 1:* Вершина трещины при разрушении будет следовать траектории, касательная каждой точки которой будет соответствовать направлению градиента плотности энергии упругих деформаций
- *Гипотеза 2:* Разрушение начинается из вершины трещины по направлению, в точке, где плотность энергии достигает критического значения U_c . Прогнозируемая траектория это кривая, которая проходит через точки с максимальным градиентом плотности энергии и заканчивается в точке, где развит глобальный минимум плотности энергии упругих деформаций.

Цель работы

Изучить влияние учета дополнительных членов в разложении поля напряжений в окрестности вершины трещины на направление ее начального роста в ДКБ-образцах

Параметрическая конечно-элементная модель образца

Расчетная схема



Параметры модели:

h – высота половины образца, [мм];

a – длина трещины, [мм];

$t=10$ – толщина образца, [мм];

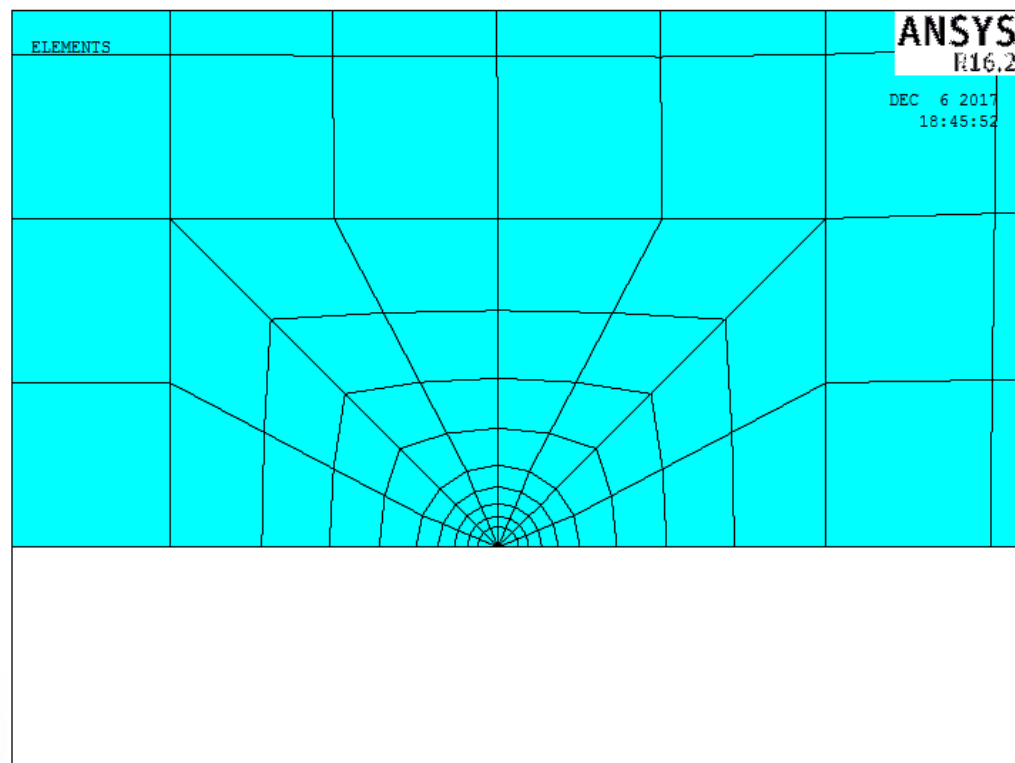
$W=150$ – длина образца, [мм];

$d=5$ – диаметр отверстий, [мм];

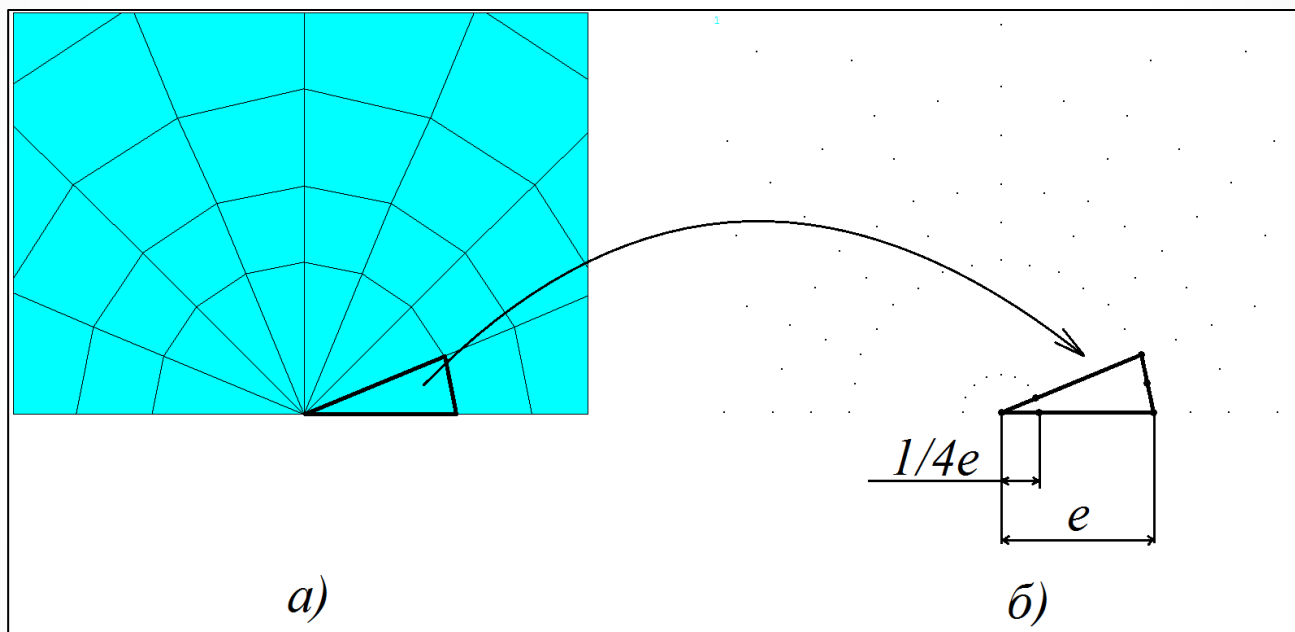
$E=3000$ – модуль упругости, [МПа];

$\mu=0.33$ – коэффициент Пуассона.

Моделирование трещины

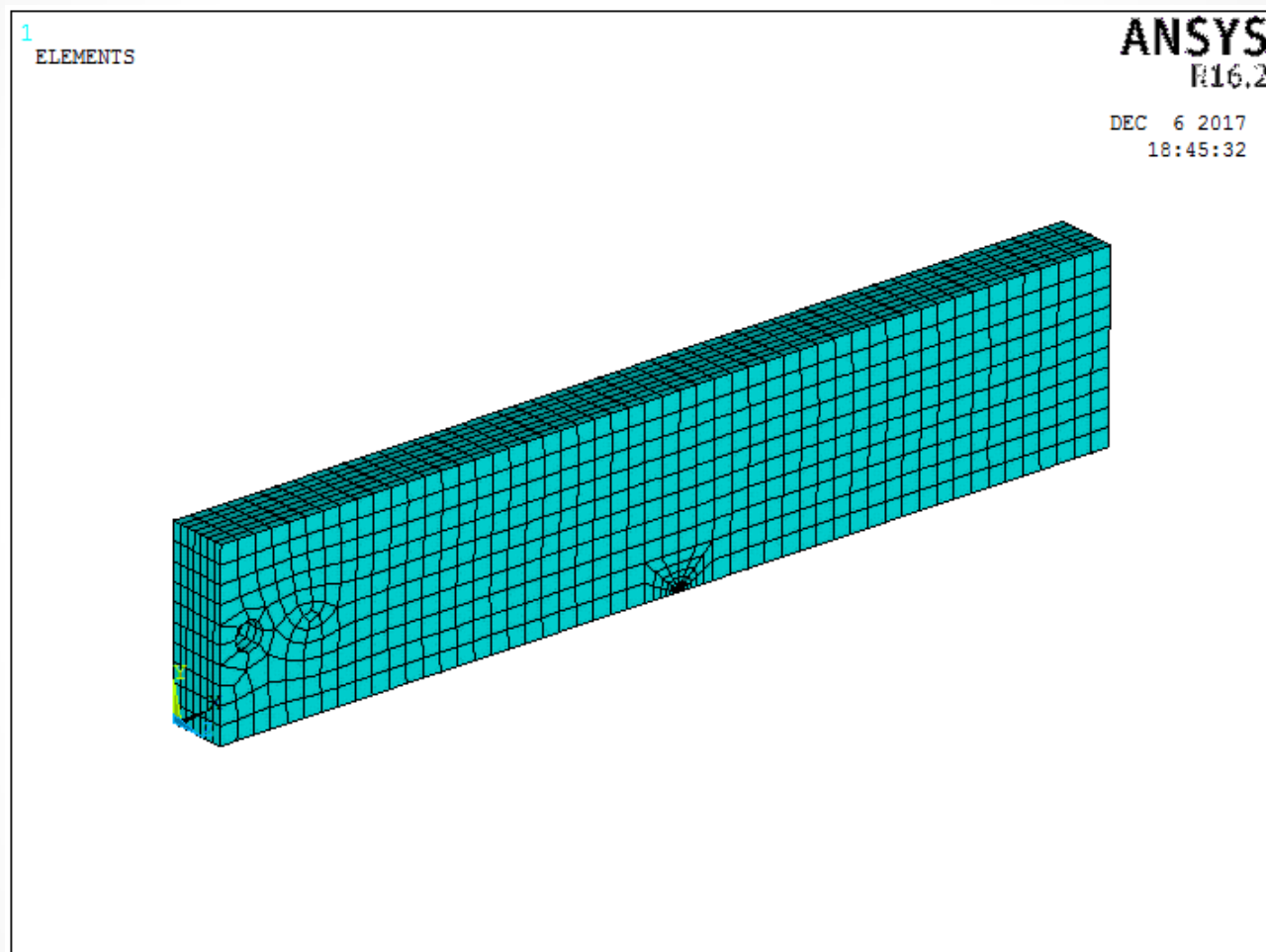


Сингулярные элементы в окрестности вершины трещины



- а) Сингулярные элементы
- б) Сетка узлов

Разбиение модели ДКБ-образца



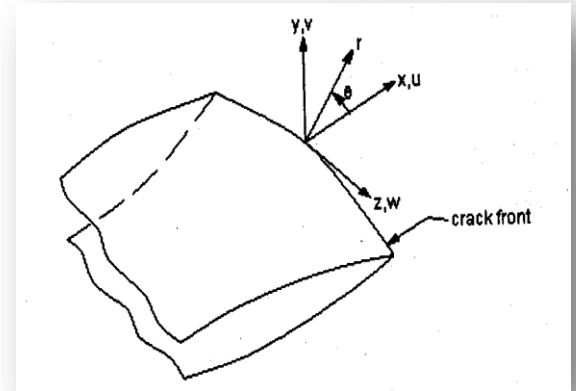
Численная процедура определения коэффициентов разложения

Полное разложение Вильямса для поля напряжений в области, содержащей вершину трещины

$$\sigma_x = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{2} r^{\frac{n}{2}-1} a_n \left[\left(2 + \frac{n}{2} + (-1)^n \right) \cos\left(\frac{n}{2} - 1\right) \theta - \left(\frac{n}{2} - 1 \right) \cos\left(\frac{n}{2} - 3\right) \theta \right]$$

$$\sigma_y = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{2} r^{\frac{n}{2}-1} a_n \left[\left(2 - \frac{n}{2} - (-1)^n \right) \cos\left(\frac{n}{2} - 1\right) \theta + \left(\frac{n}{2} - 1 \right) \cos\left(\frac{n}{2} - 3\right) \theta \right]$$

$$\tau_{xy} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n}{2} r^{\frac{n}{2}-1} a_n \left[\left(\frac{n}{2} - 1 \right) \sin\left(\frac{n}{2} - 3\right) \theta - \left(\frac{n}{2} + (-1)^n \right) \sin\left(\frac{n}{2} - 1\right) \theta \right]$$



Далее используется метод наименьших квадратов (МНК)

Реализация метода максимального градиента плотности упругих деформаций

Выражение плотности энергии упругих деформаций:

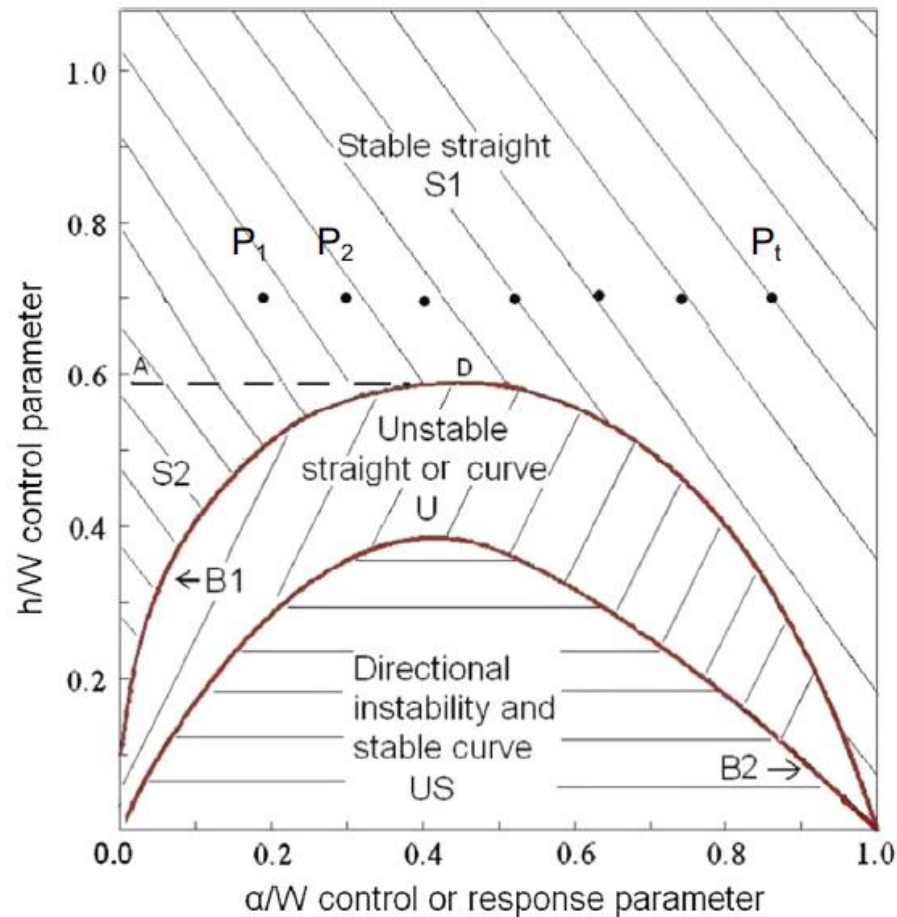
$$U = \frac{1}{2} \{\sigma\}^T \{\varepsilon\} = \frac{1}{2E} (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - 2\mu\sigma_x\sigma_y + \tau_{xy}^2 * 2(1 + \mu))$$

Критерии поиска направления начального роста трещины

$$\frac{\partial U(r_c, \theta_c)}{\partial \theta} = 0, \quad \frac{\partial^2 U(r_c, \theta_c)}{\partial \theta^2} > 0$$
$$\frac{dr(\theta_c)}{d\theta} = 0, \quad \frac{d^2 U(\theta_c)}{d\theta^2} > 0$$

Существующие результаты

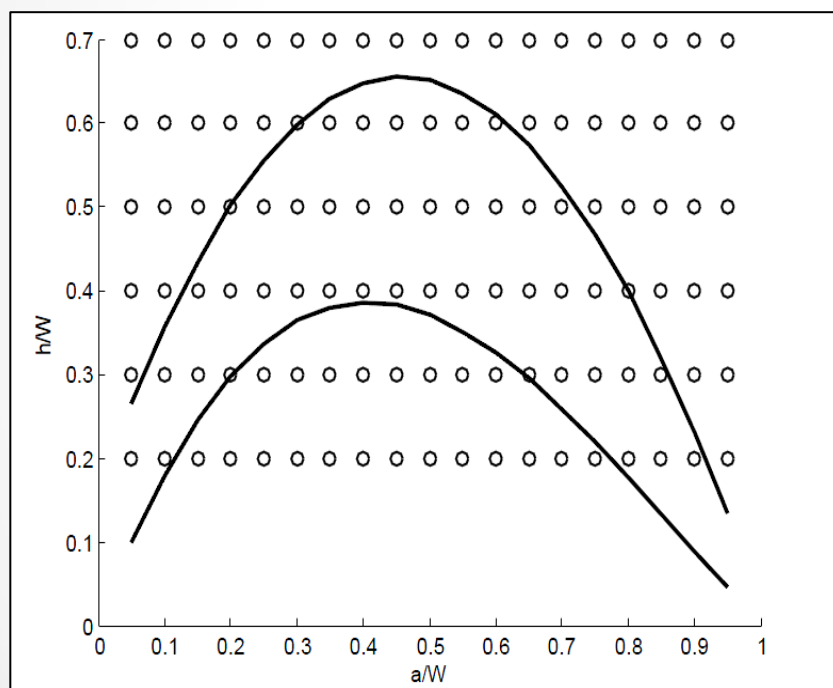
D.A. Zacharopoulos: The complication of crack path and its kind under mode-I loading: The case of the DCB specimen



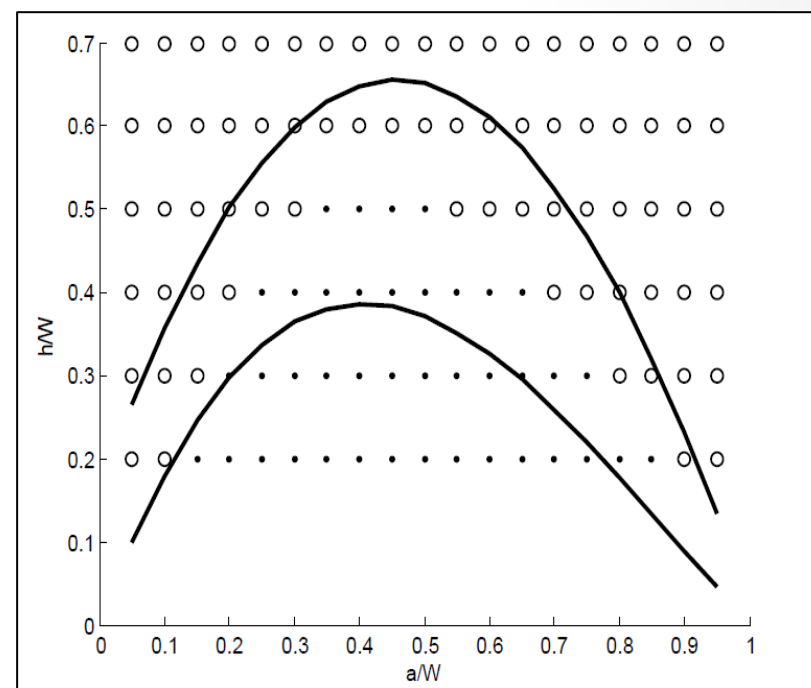
Классификационная карта траекторий роста трещины

Результаты проведенных исследований

Классификационная карта при
учете одного члена
разложения



Классификационная карта
при учете десяти членов
разложения

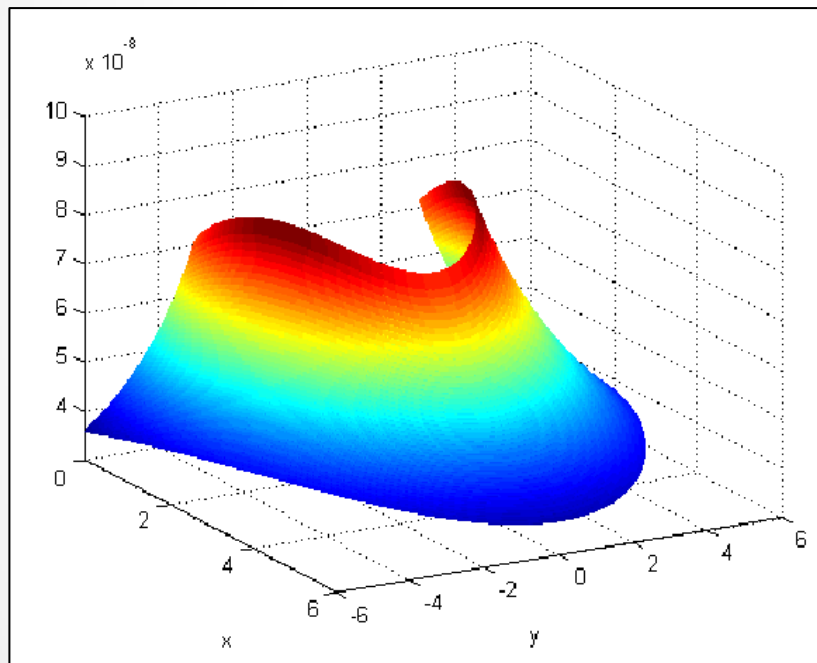


○ - угол отклонения
равен 0
• - угол отклонения
отличен от нуля

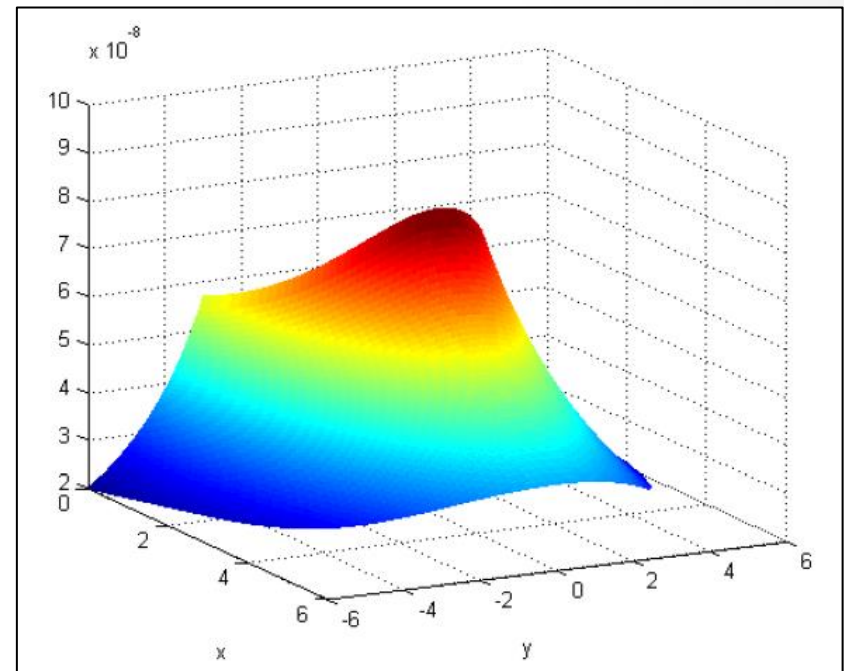
Поля плотности энергии:

(Размеры области < 5-10% от длины трещины)

При учете одного члена в разложении поля напряжений



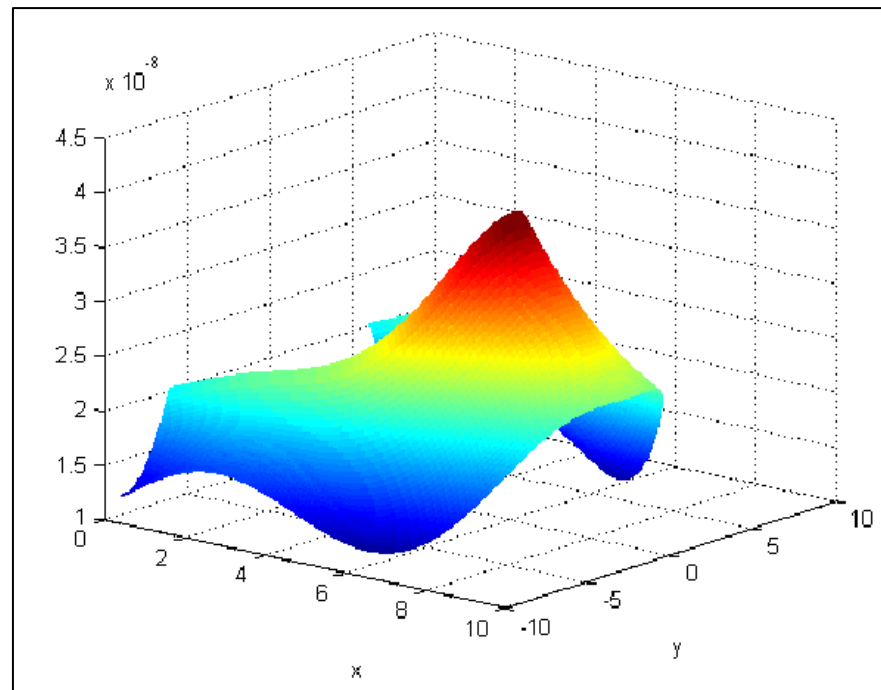
При учете десяти членов в разложении поля напряжений



$$\frac{h}{W} = 0.3, \quad \frac{a}{W} = 0.4$$

Поле плотности энергии при учете десяти членов в разложении поля напряжений

(Размеры области $> 10\%$ от длины трещины)



Выводы по данной работе

- Разработана численная процедура для определения коэффициентов разложения Вильямса поля напряжений в ПК ANSYS;
- Разработана параметрическая конечно-элементная модель ДКБ-образца в ПК ANSYS;
- Применен метод наибольшего градиента плотности энергии упругих деформации для определения направления начального роста трещины;
- Проведены исследования влияния учета количества членов разложения Вильямса поля напряжений (**одного и десяти членов**) на прогнозирование начального направления роста трещины;
- Сделан вывод о наилучшем согласовании с теорией плотности энергии деформаций при использовании **десяти членов** разложения поля напряжений по сравнению с учетом только **одного** сингулярного члена;
- Рассмотрены ДКБ-образцы, выполненные из хрупких материалов.