

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный
университет»

На правах рукописи

Канашин Илья Валерьевич

**Математическое моделирование пластических течений
при внедрении жёстких штампов**

Направление подготовки 02.04.03
«Математическое обеспечение и администрирование
информационных систем»

АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор, профессор кафедры
«Прикладная математика и информатика»
Хромов Александр Игоревич

Рецензент: кандидат технических наук,
доцент кафедры Математики ФГБОУ ВО
«Амурский гуманитарно-педагогический
государственный университет»
Севастьянов Антон Мамиевич

Защита состоится 22 июня 2018 г. в 10.00 часов по адресу: 681000,
г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 321/3.

Автореферат разослан 15 июня 2018 г.

Секретарь ГЭК

А.А. Сиротин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Теория пластичности ставит своей целью математическое изучение напряжений и смещений в пластически деформируемых телах. Она является частью механики деформируемых тел и близко примыкает к теории упругости, изучающей напряжения и деформации в идеально упругих телах.

Теория пластичности имеет важные приложения в технике и физике.

Решение многих вопросов прочности разнообразных машин и сооружений опирается на выводы теории пластичности. Теория пластичности позволяет более полно использовать ресурсы прочности тел и приводит к отличающемуся простотой методу расчёта деталей машин и сооружений.

Применение компьютерных технологий значительно помогает при решении задач теории пластичности. Это относится и к проведению расчётов, и к моделированию различных процессов, применительно к которым в компьютерной среде возможна визуализация.

Целью работы является жестко-пластический анализ процесса накопления пластических деформаций и их локализация при плоских пластических течениях, содержащими при расчёте полей напряжений и скоростей перемещений особенности типа поверхности разрыва скоростей и центра вера линий скольжения.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

- изучение теории пластического течения;
- изучение подхода к расчёту полей тензоров конечных деформаций;
- создание программного продукта, визуализирующего пластическое течение при внедрении клина в полупространство;
- создание программного продукта для вычисления возникающих при этом деформаций;
- вычисление деформаций при внедрении выпуклого штампа в полупространство.

Объектом исследования являются технологические процессы внедрения углового и выпуклого штампов в полупространство.

Предметом исследования является распределение поля тензора конечных деформаций Альманси в окрестности особенностей поля скоростей перемещений.

Для решения поставленных задач использовались следующие методы исследования: теоретические (анализ) и эмпирические (изучение литературы и результатов деятельности).

Новизна работы заключается в следующем:

- исследованы поля тензоров деформаций в задаче о внедрении выпуклого штампа в полупространство;
- создан программный продукт для трёхмерной динамической визуализации процесса внедрения углового штампа в полупространство с использованием средств C# 6.0 и технологии Windows Presentation Foundation.

Достоверность полученных результатов основана на классических подходах механики сплошных сред и строгих математических выкладках.

Решение рассматриваемых задач актуально при разработке математических моделей поведения реальных элементов конструкций, оценке их надёжности при длительной эксплуатации с большим накоплением остаточной деформации. Возможно применение данного подхода при разработке методов расчёта технологических процессов обработки материалов давлением.

Результаты работы докладывались на:

- 47-ой научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научно-техническое творчество аспирантов и студентов», Комсомольск-на-Амуре, апрель 2017 г.;
- 48-ой научно-технической конференции студентов и аспирантов «Научно-техническое творчество аспирантов и студентов», Комсомольск-на-Амуре, апрель 2018 г.

По результатам выполненных в диссертации исследований автором опубликовано 2 работы:

- Канашин И.В., Лошманов А.Ю. Исследование полей деформаций в задаче о прямом прессовании полосы // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 10-21 апреля 2017 г./ редкол.: Э.А. Дмитриев (отв. ред). - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО "КнАГТУ", 2017. С. 486-488.

- Канашин И.В., Лошманов А.Ю. Математическое моделирование пластического течения при внедрении штампа в полупространство // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 09-20 апреля 2018г.: в 2

ч. /редкол.: Э. А. Дмитриева (отв. ред.) [и др.]. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2018. – Ч.2. С. 178 - 180.

Магистерская диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и трёх приложений. Объем работы – 87 страниц, в том числе 22 рисунков и 3 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность темы, обосновывается необходимость проведения работы, определяются цели, задачи объект и предмет исследования, указываются научная новизна, практическая значимость, достоверность и обоснованность результатов исследования.

В первой главе рассматриваются механические свойства твёрдых тел, простое и сложное нагружение, условия текучести, поверхность и кривая текучести, условие Треска – Сен-Венана, условие Мизеса, условия упрочнения, поверхность нагружения. Также приводятся основные положения теории пластического течения.

Во второй главе рассматривается теория плоской деформации и вывод её основных формул в рамках существующего подхода к расчёту полей тензоров конечных деформаций, определение полей деформаций, определение полей деформаций в окрестности поверхности разрыва скоростей и определение полей деформаций в окрестности особых точек поля линий скольжения.

В третьей главе рассматривается вывод формул для определения деформаций при внедрении клина в полупространство и выводятся формулы для последующего расчёта деформаций, возникающих при внедрении выпуклого штампа в полупространство.

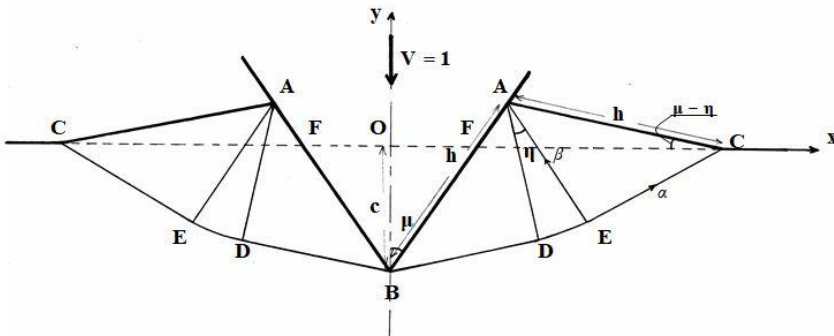


Рисунок 1 – Внедрение клина с углом раствора 2μ в полупространство

Автомодельность решения приводит к постоянным значениям величин \bar{W} , а следовательно и деформаций на прямолинейных составляющих линии BDEC. Так как разрыв скорости $[V_\tau]$ остаётся постоянным вдоль линии разрыва, изменения величины \bar{W} зависят от значений величины G в каждой точке рассматриваемой линии.

Согласно выбранной системе координат крайние точки рассматриваемой части пластической области имеют координаты:

- точка A : $x_A = h * \sin \mu$, $y_A = h * \sin(\mu - \eta)$,
- точка B : $x_B = 0$, $y_B = -t$,
- точка C : $x_C = h * (\sin \mu + \cos(\mu - \eta))$, $y_C = 0$,

Тогда уравнения составляющих линии BDEC имеют следующий вид:

- линия BD : $-[y - \operatorname{tg}(\pi/4 - \mu) * x] = t$;
- линия DE : $\begin{cases} x = x_A + R * \cos \xi, \\ y = y_A + R * \sin \xi, \end{cases}$

где $\xi = \alpha - \pi/2$; $R = h / \sqrt{2}$;

- линия EC : $y = \operatorname{tg}(\pi/4 - \mu + \eta) * [x - h * (\sin \mu + \cos(\mu - \eta))]$,

где 2μ – угол раствора клина, η – угол раствора центрированного веера, h – ширина свободной поверхности, c – глубина внедрения клина.

Значения скорости G для рассматриваемого решения будут следующими:

G

$$= \begin{cases} G = \cos(\pi/4 - \mu), & \text{для линии } BD \\ \frac{dx_A}{dt} \cos \xi + \frac{dy_A}{dt} \sin \xi + \frac{dR}{dt}, & \xi = \left[-\frac{\pi}{4} - \mu, \frac{\pi}{4} - \mu + \eta \right], & \text{для линии } DE \\ \frac{(\sin(\pi/4 - \mu + \eta) * [\sin(\mu) + \cos(\mu - \eta)])}{(\cos(\mu) - \sin(\mu - \eta))}, & & \text{для линии } EC \end{cases}$$

Удельная диссипация энергии определяется из равенства

$$\bar{W} = \sqrt{2} * \sin(\mu) / G.$$

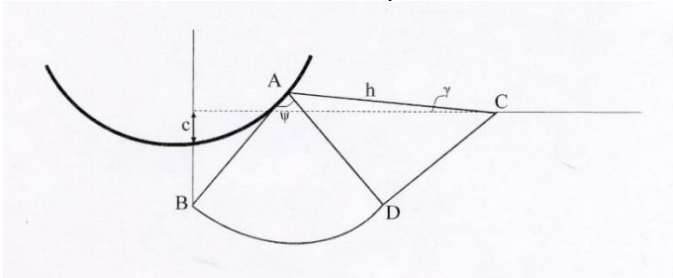


Рисунок 2 – пластическая область при внедрении выпуклого штампа в полупространство

Согласно выбранной системе координат (рисунок 2) крайние точки рассматриваемой части пластической области имеют следующие координаты:

- точка А: $x_A = h/2, \quad y_A = h \cos \psi,$
- точка В: $x_B = 0, \quad y_B = -h/2 (1 - 2 \cos \psi),$
- точка С: $x_C = h/2 (1 + 2 \sin \psi), \quad y_C = 0,$
- точка D: $x_D = h/2 (1 + 2 \sin \psi) - h/\sqrt{2} \sin(3\pi/4 - \psi),$
 $y_D = -h/\sqrt{2} \cos(3\pi/4 - \psi).$

Уравнения для составляющих линии BDC имеют вид:

- линия BD: $\begin{cases} x = x_A + R \cos \xi, \\ y = y_A + R \sin \xi, \end{cases}$

где $\xi = \frac{h}{\sqrt{2}}; \quad \xi = \left[-\frac{3\pi}{4}, -\frac{3\pi}{4} + \psi \right];$

- линия DC: $x - y \operatorname{tg} \left(\frac{3\pi}{4} - \psi \right) = \frac{h}{2} (1 + 2 \sin \psi).$

Тогда для рассматриваемого решения получаем следующие значения скорости G:

$$G = \begin{cases} \frac{(1 + 2 \sin \psi) \cos \left(\frac{3\pi}{4} - \psi \right)}{2 \cos \psi}, & \text{для линии DC} \\ \frac{dx_A}{dt} \cos \xi + \frac{dy_A}{dt} \sin \xi + \frac{dR}{dt}, \quad \xi = \left[-\frac{3\pi}{4}, -\frac{3\pi}{4} + \psi \right], & \text{для линии BD} \end{cases}$$

Удельная диссипация энергии определяется из равенства $\bar{W} = \frac{\sqrt{2}}{G}$, где G – соответствующее значение скорости распространения линии BDC по нормали.

Определение деформаций в окрестности точки А, являющейся центром веера линий скольжения BAD, сводится к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Для рассматриваемой задачи центр веера линий скольжения движется по закону

$$a' = \frac{dx_A}{dt} = \frac{f'(x_A) - 1}{2 \cos \psi},$$

$$b' = \frac{dy_A}{dt} = f'(x_A) - 1.$$

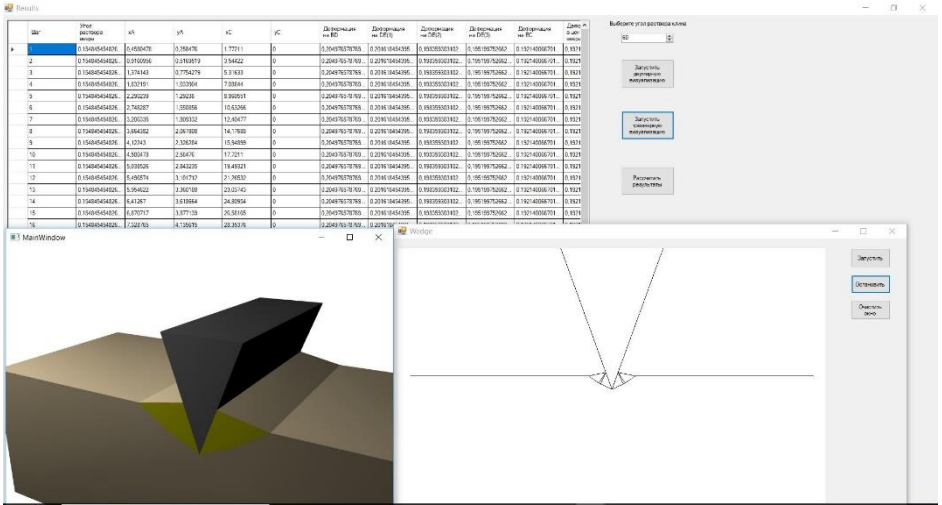


Рисунок 3 – Результат работы созданного программного продукта

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Канашин И.В., Лошманов А.Ю. Исследование полей деформаций в задаче о прямом прессовании полосы // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы 47-й научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 10-21 апреля 2017 г./ редкол.: Э.А. Дмитриев (отв. ред). - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО "КнАГТУ", 2017. С. 486-488.
2. Канашин И.В., Лошманов А.Ю. Математическое моделирование пластического течения при внедрении штампа в полупространство // Научно-техническое творчество аспирантов и студентов: материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов, Комсомольск-на-Амуре, 09-20 апреля 2018г.: в 2 ч. /редкол.: Э. А. Дмитриева (отв. ред.)(и др.]. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ», 2018. – Ч.2. С. 178 - 180.