

ОТЗЫВ
официального оппонента на диссертационную работу
Вакаевой Александры Борисовны
«Исследование почти круговых дефектов в твердом теле
на макро- и наномасштабном уровне»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы.

В современной промышленности широко применяются детали, содержащие вырезы разнообразной геометрии и включения из материалов, обладающих различными упругими свойствами. Чтобы обеспечить прочность и надежность работы конструкции, необходимо знать распределение напряжений, возникающих в результате силовых воздействий. Известно, что на границе кругового отверстия при одноосном растяжении (задача Кирша) возникают напряжения, в три раза превышающие приложенную нагрузку. Отверстия и включения, которые считаются круговыми, обычно не являются таковыми, а имеют некоторое отклонение от круговой формы. В связи с этим, важно оценить влияние отклонения на напряженно-деформированное состояние тела.

По мере уменьшения размеров деформируемых тел до нанометрового диапазона начинают проявляться масштабные эффекты их механического поведения. В первую очередь, это связано с тем, что физико-механические свойства приповерхностных слоев существенно отличаются от аналогичных свойств в глубине тела. На макроуровне это различие практически не отражается на свойствах и поведении всего тела в целом. Однако, в случае наноразмерных структур, это различие проявляется, в частности, в заметном влиянии поверхностных напряжений на физические свойства материала. Таким образом, для отверстий нанометрового размера необходимо учитывать эффект влияния поверхностных напряжений на решение задачи о напряженно-деформированном теле.

Сказанное свидетельствует о несомненной актуальности темы данной диссертационной работы.

Практическая значимость темы.

Диссертационная работа посвящена разработке аналитических методов решения задачи о почти круговом дефекте в твердом теле на макро- иnano- масштабном уровне, а также исследованию влияние размера дефекта, его формы и степени отклонения его границы от круговой формы на напряженно- деформированное состояние тела. Построенные аналитические решения для упругих тел с дефектами позволяют формулировать и решать широкий класс задач, связанных с определением напряженно-деформированного состояния тела при различных видах нагружения. Потребность в решении этих задач возникает при проектировании и эксплуатации приборов микро- и оптоэлектроники с улучшенными рабочими характеристиками. Решения таких задач являются важным шагом в развитии области механики деформируемого тела, которая описывает процессы влияния поверхностных и межфазных напряжений на уникальные свойства наноматериалов и характер напряженно-деформированного состояния твердых тел.

Наиболее значимые результаты диссертационной работы:

- Аналитическое решение задачи о напряженно-деформированном состоянии упругого тела с почти круговым макроотверстием в условиях плоской деформации при действии нагрузки на бесконечности и решение аналогичной задачи при использовании пакета конечно-элементного анализа ANSYS. Сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния, полученного методом возмущений и методом конечных элементов.
- Аналитическое решение задачи о деформации цилиндрического макроподключения, близкого к круговому, и матрицы, а также оценка влияния погрешности отклонения формы включения от круговой на напряженное состояние тела.
- С использованием поверхностной теории упругости Гертина – Мердока, аналитическое решение задачи о напряженно-деформированном состоянии упругого тела с отверстием нанометрового размера при учете поверхностного напряжения. Построение решения аналогичной задачи для цилиндрической нанополости в упругом материале методом конечных элементов в пакете ANSYS. Сравнительный анализ результатов компьютерного моделирования с аналитическим решением задачи.

- Аналитическое решение задачи о напряженно-деформированном состоянии упругого тела с близким к круговому нановключением при учете межфазного напряжения.

Достоверность результатов обеспечивается использованием апробированных математических методов, корректностью постановки задач, сравнением аналитических результатов с результатами компьютерного моделирования в пакете конечно-элементного анализа ANSYS, сопоставлением в частных случаях с результатами аналогичных задач в современной литературе.

Основные результаты по теме диссертации изложены в шестнадцати статьях, шесть из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, шесть — в других изданиях и четыре — в тезисах докладов. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на международных и всероссийских конференциях.

Научная новизна. По мнению оппонента, оригинальность работы определяется следующими основными результатами:

- Для задачи об упругом теле с почти круговым дефектом при плоской деформации разработан метод возмущений, позволяющий получить решение в любом приближении и оценить влияние отклонения формы дефекта от круговой на напряженно-деформированное состояние вблизи дефекта. Решение на макроуровне получено в виде интегралов типа Коши в каждом приближении.
- Разработан новый метод решения плоской задачи для упругого тела с отверстием нанометрового размера. В отличие от метода, основанного на использовании конформного отображения, форма отверстия, хотя и мало отличается от круговой, но может быть произвольной.
- Впервые получено решение задачи для упругого тела с наноразмерным почти круговым цилиндрическим включением в условиях плоской деформации. С использованием метода возмущений границы, соотношений объемной и поверхностной теории упругости и условия непрерывности перемещений на межфазной границе, решение найдено в любом приближении для различных форм межфазной границы.

- Проанализирован размерный эффект (size effect), который проявляется в зависимости напряженного состояния от размера дефекта в диапазоне от одного до нескольких десятков нанометров.

Замечания по диссертационной работе.

В целом оппонент удовлетворен как качеством полученных результатов, так и использованными путями их достижения. Приведенные ниже замечания относятся к частным вопросам или носят характер пожеланий.

1. Во второй главе решение методом возмущений сравнивается с решением, полученным методом конечных элементов с использованием пакета ANSYS. Приведены результаты расчетов в ANSYS только при значении $\varepsilon=0.5$. Утверждается, что погрешность не превышает 2-3 % до значения $\varepsilon=0.5$. Уместно было бы привести результаты при нескольких значениях ε и сводную таблицу результатов.
2. В работе получены решения ряда задач методом возмущений только в первом приближении. Желательно было бы получить решение во втором приближении хотя бы для одной задачи.
3. В главе 3 рассматривается бесконечное упругое тело с включением. Задача о деформировании под действием нагрузки решается для случая, когда упругие свойства тела и включения различаются только модулем сдвига. В работе не указывается, с чем связана именно такая постановка. Возможно ли применение подхода, описанного в работе, для рассмотрения вариантов, когда тело и включение характеризуются различным набором модулей упругости?
4. В главе 4 построены зависимости коэффициента концентрации напряжений от радиуса отверстия для различных упругих свойств поверхности. Из текста работы не ясно, чем обусловлен выбор именно таких упругих свойств и с каким результатом при $M=0$ происходит сравнение.
5. В главе 4 сопоставления решения задачи, полученное при помощи метода возмущений, с решением методом конечных элементов в пакете ANSYS желательно было бы привести в виде сводной таблицы.

Перечисленные замечания не умаляют полученные в работе результаты и не снижают их научную новизну, достоверность и практическую значимость.

Заключение. Диссертационная работа «Исследование почти круговых дефектов в твердом теле на макро- и наномасштабном уровне» является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной на высоком научном уровне, ее основные положения, полученные результаты и выводы обоснованы и соответствуют необходимым критериям научной новизны и практической значимости. Диссертант показал прекрасное владение как аналитическими, так и численными методами и подходами. Содержание автореферата адекватно отражает основные положения диссертации и полученные результаты. Результаты, выносимые на защиту, опубликованы. Диссертация отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Вакаева Александра Борисовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Официальный оппонент,
доцент кафедры «Теоретическая механика»
Санкт-Петербургского политехнического
Университета Петра Великого,
кандидат физ.-мат. наук, доцент

«10» мая 2018 г.

Лобода Ольга Сергеевна
195251, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул. 29.
Телефон: +7-812-2909872
e-mail: loboda_o@mail.ru

