

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Федоровой Натальи Витальевны «Определение напряженно-деформированного состояния контактирующих тел и моделирование их хрупкого разрушения», представленную к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Диссертационная работа Федоровой Н. В. посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния хрупкого материала в условиях контактного взаимодействия. Полученные методом конечных элементов численные решения задач для тел ограниченного объёма сравниваются с известными аналитическими решениями подобных задач для полупространства. Исследование строится на основе численных решений, полученных с помощью программы ANSYS.

Актуальность темы диссертации. Задачи о контактном взаимодействии и разрушении твердых тел в целях применения методов индентирования для определения прочностных характеристик хрупких сред бурно развиваются в последнее время. Исследованию взаимодействия имплантатов с костной тканью, их приживаемость, поиск новых форм и материалов имплантатов, возможности увеличения срока эксплуатации посвящено большое количество статей и монографий в современной биомеханике. С этой точки зрения тема диссертации представляется, безусловно, актуальной.

Структура и содержание работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка используемой литературы из 126 наименований, изложена на 135 страницах и содержит 46 рисунков и 7 таблиц.

Первая глава представляет обзор отечественной и зарубежной литературы, посвященной контактному взаимодействию различных твердых тел. В данном обзоре рассмотрены не только современные научные статьи, но и основополагающие работы по контактному взаимодействию и разрушению.

Во второй главе рассматривается математическое моделирование контактных задач методом конечных элементов. Представлены основные принципы решения контактных задач в конечно – элементном пакете ANSYS.

В третьей главе представлены постановки и решения отдельных контактных задач.

Рассмотрена задача о возникновении кольцевой трещины при внедрении шарового индентора в стеклянный образец, опирающийся на твердое основание с отверстием. Результаты проведенных вычислений показывают, что существенного влияния на значения растягивающих радиальных напряжений в области контакта наличие отверстия с тыльной стороны в данной геометрии не оказывает. Проведенное сравнение полученных максимальных радиальных растягивающих напряжений с напряжениями по аналитическому решению Губера, позволяет использовать формулу Губера в данном случае.

В задаче об определении поперечной прочности на разрыв хрупких материалов, с использованием контактного разрушения круглой хрупкой пластины шаровым индентором, численно определено растягивающее напряжение, ответственное за разрушение. Проведенное сравнение с аналитической формулой Войновского-Кригера для максимального растягивающего напряжения в пластине, свободно опертой по периметру и нагруженной в центре сосредоточенной силой, показывает, что отличие численного решения от решения по формуле Войновского-Кригера составляет 5%. При этом в контактной задаче при нагружении пластины шаровым индентором в окрестности контакта возникают растягивающие радиальные напряжения, значительно превосходящие растягивающие напряжения в центре тыльной стороны пластины. Соискатель видит противоречие между инициацией разрушения от изгиба с тыльной стороны пластины и более высокими растягивающими напряжениями по периметру контакта.

В задаче о контакте прямоугольных блоков с профилированным зазором рассчитаны контактные напряжения отдельных зон. Такой метод создания ступенчатого распределения напряжений можно использовать для моделирования гидроразрыва в слоистых средах.

Моделированию контактного взаимодействия имплантатов с костной тканью посвящена глава 3.4. Численно определены эквивалентные напряжения по Мизесу в кортикальной и губчатой кости и в имплантах разной формы.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Установлено, что для вычисления максимального растягивающего напряжения в окрестности области контакта, где образуются кольцевые трещины, при испытании исследованных образцов конечных размеров, можно воспользоваться аналитической формулой, полученной Губером для растягивающих напряжений в полупространстве.

2. В контактной постановке численно решена задача об изгибе круглой пластины при вдавливании в неё стального шара и проведено сравнение чис-

ленных результатов с результатами, полученными по известной формуле Войновского-Кригера. Показано, что для определения поперечной прочности на разрыв по известной методике испытаний хрупких материалов можно пользоваться аналитической формулой Войновского-Кригера.

3. Численно получено ступенчатое распределение контактного давления между плоским и профилированным прозрачными блоками из оргстекла конечных размеров. Рассмотренный метод создания ступенчатого распределения контактного давления с помощью профилированного блока может быть использован при экспериментальном моделировании гидроразрыва пласта в слоистых горных породах.

4. Модифицированная форма стоматологических имплантатов существенно снижает напряжения в костной ткани челюсти при критической минерализации, поэтому такая форма рекомендована при протезировании пациентов в пожилом возрасте.

Обоснованность и достоверность научных результатов обеспечивается проверенными алгоритмами решения классических контактных задач методом конечных элементов, исследованием сходимости сетки конечных элементов, сравнением с классическими аналитическими решениями, корректностью подготовки и проведения экспериментов, подтверждается соответствием с результатами других авторов.

Практическая значимость результатов.

Выполненное численное моделирование напряженно-деформированного состояния образцов, подверженных контактному нагружению, подтвердило пригодность использования аналитических формул для определения напряжений в образцах ограниченных размеров, что является удобным инструментом для инженеров и экспериментаторов.

Полученные результаты оптимальной формы керамических стоматологических имплантатов, в зависимости от площади контакта с кортикальной костью и степени минерализации кости, могут быть использованы в качестве рекомендации для изготовления новых образцов имплантатов. Для пациентов пожилого возраста рекомендуется использовать обратно-конусную форму имплантатов при зубном протезировании.

Соответствие содержания научной специальности. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела и отвечает формуле специальности, по следующим пунктам областей исследования:

Пункт 1. Законы деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых.

Пункт 7. Постановка и решение краевых задач для тел различной конфигурации и структуры при механических, электромагнитных, радиационных, тепловых и прочих воздействиях, в том числе применительно к объектам новой техники.

Пункт 8. Математические модели и численные методы анализа применительно к задачам, не допускающим прямого аналитического исследования.

По теме диссертации автором опубликовано 17 работ, из них 6 статей – в журналах, индексируемых в международных базах данных и включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК. Основные научные результаты диссертации в публикациях отражены достаточно полно.

Автореферат и публикации отражают основные результаты и содержание диссертации.

Недостатки в диссертации и автореферате

1. В пункте 3.1 в диссертации и в автореферате не указан диаметр отверстия под микроскоп. Вывод о возможности использования аналитического решения Губера для данной геометрии мало информативен без определения границы его применимости.
2. Относящаяся к этой задаче фраза в результатах работы стр. 116 «Формулу Хубера для получения растягивающих напряжений в полупространстве можно использовать для образцов конечных размеров, испытанных по рассмотренной методике» некорректна.
3. В пункте 3.2 рисунки 3.14 и 3.15 «Эпюра максимальных растягивающих напряжений на нижней стороне пластины» неудачны, имеются только цифры максимальных напряжений, а эпюры не видно.
4. В пункте 3.2 для оценки градиента главного напряжения было использовано аналитическое решение для полуплоскости, а разрушению подвергались пластины толщиной 2 – 3 мм.
5. В пункте 3.2 следовало бы привести диаграммы нагружения, возможно, это помогло бы разрешить противоречие, отмеченное соискателем.
6. В пункте 3.3 не указан диаметр отверстия для нагнетания жидкости для гидроразрыва. Из рисунков 3.21 и 3.22 неясно: численное моделирование распределения напряжения проведено с его учетом или нет?

Заключение по диссертационной работе

Диссертация Федоровой Натальи Витальевны является законченной

научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований получены научные результаты, представляющие существенный вклад в развитие научных направлений в механике деформируемого твёрдого тела – контактных задач и биомеханики. Результаты работы сформулированы четко и ясно, выводы обоснованы, являются новыми, имеют научное и прикладное значение и полностью отражены в публикациях автора. Указанные выше замечания не снижают положительную оценку представленной работы.

Диссертация «Определение напряженно-деформированного состояния контактирующих тел и моделирование их хрупкого разрушения» соответствует требованиям пп. 9, 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. №842) в части, касающейся ученой степени кандидата наук, а ее автор Федорова Наталья Витальевна достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Оппонент согласен на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и дальнейшую их обработку.

Заведующий лабораторией механики взрыва и разрушения горных пород Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН), д.ф.-м.н. по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела



Ефимов Виктор Прокопьевич

8 сентября 2020 года

Российская Федерация, 630091,
г. Новосибирск, Красный проспект, д.54
Телефон: +7-(383)-205-30-30, доб. 723.

Адрес электронной почты: efimov-pedan@mail.ru

Подпись Ефимова В. П. удостоверяю
Ученый секретарь ИГД СО РАН, к.т.н.



Хмелинин А.П.