

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Чжо Йе Ко на тему «Топологическая оптимизация плоских ребренных панелей на основе моделей пластин переменной толщины», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

Диссертационная работа посвящена математическому моделированию топологической оптимизации, происходящей в образцах оптимизированных армированных панелей в процессе 3D-печати. Методы являются современным и быстроразвивающимся направлением в производстве, позволяющим внедрять изделия различной сложности во многие отрасли промышленности, такие как медицина, строительство, автомобилестроение, приборостроение, а также в авиационную и ракетно-космическую технику.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании изготавливаемых конструкций изделий и элементов конструкций. Таким образом, тема диссертационной работы является **актуальной** и **соответствует** специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Научная новизна работы определяется следующими полученными результатами:

– Предложена и реализована методика топологической оптимизации подкрепленных плоских панелей, в том числе композитных, работающих в условиях сложного напряженного состояния. В предложенной методике функция фиктивной плотности используется для задания локальной толщины панели, а локальный угол армирования в слоях композита задается дополнительные узловыми переменными, вводимыми в задачу оптимизации. Методика позволяет получать оптимизированные варианты конструкций с наибольшей жесткостью.

– Получены рекомендации по выбору наилучших настроек задачи оптимизации, связанных с выбором размера сетки, типа конечных элементов, начальных условий для толщины пластины и типа аппроксимирующей функции для дополнительных переменных модели.

– Разработанная численная методика валидирована на основе примера аналитического решения для квадратной пластины, нагруженной сосредоточенной силой, смещенной относительно центра. Показана согласованность геометрии ребер жесткости, возникающих в численном решении, с результатами оптимизации, получаемыми в рамках аналитического подхода. Также показана высокая точность решений, получаемых для пластин переменной толщины, по сравнению с соответствующими моделями с прорисовкой ребер жесткости пластинчатыми элементами.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

28. 11 2023 г.

– Получены новые результаты экспериментальных исследований для образцов оптимизированных подкрепленных панелей из материала PЕТ-G, синтезированных на установке 3д печати, а также результаты механических испытаниях на изгиб. Показано преимущество оптимизированной геометрии оребрения панелей по сравнению со стандартными регулярными вариантами.

Практическая значимость работы заключается в разработке прикладной численной методики, позволяющей подобрать оптимальную геометрию силового набора оребренных плоских панелей, обеспечивающих повышение жесткости конструкции в заданных условиях нагружения. Кроме того, в разработке достоверных конечно-элементных моделей для определения напряженно-деформированного состояния как в рамках одного слоя, так и для компоновочного решения в известных программных комплексах Ansys и COMSOL Multiphysics.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на следующих конференциях:

– Чжо Йе Ко, Соляев Ю.О. Применение методов топологической оптимизации для выбора геометрии силового набора подкрепленных панелей. 19-й Международная конференция "Авиация и космонавтика" МАИ. 2020 г.

– Чжо Йе Ко, Рабинский Л.Н. Оценка корректности решений задач топологической оптимизации подкрепленных панелей, полученных на основе теории пластин Миндлина-Рейсснера. Международная молодежная научная конференция. Секция "Механика и моделирование материалов и технологий". Москва, 2021 г.

– Чжо Йе Ко, Соляев Ю.О., Рабинский Л.Н. Топологическая оптимизация оребренных панелей, нагруженных сосредоточенными силами. Международная конференция «Космические системы». МАИ. 2021 г.

– Чжо Йе Ко, Соляев Ю.О., Рабинский Л.Н. Методика топологической оптимизации геометрии подкрепляющих элементов плоских панелей. Международная конференция «Композитные материалы и конструкции». МАИ. 2021 г.

– Чжо Йе Ко, Соляев Ю.О., Бабайцев А.В. Топологическая оптимизация оребренных панелей, нагруженных различными силами. XI Международная научно-практическая конференция «Проблемы безопасности на транспорте». Гомель. 2021 г.

– Чжо Йе Ко, Бабайцев А.В., Чубаров В.С. Исследование остаточных деформаций в зависимости от условий печати. Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред Материалы XXVIII международного симпозиума имени А.Г. Горшкова. 2022 г.

– Чжо Йе Ко, Рабинский Л.Н. Топологическая оптимизация подкрепленных панелей на основе аналитических решений. Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред Материалы XXIV международного симпозиума имени А.Г.Горшкова. 2023 г.

– Чжо Йе Ко, Рабинский Л.Н., Соляев Ю.О. Теоретическое и экспериментальное обоснование подхода к оптимизации топологии переменной толщины для ребристо-жестких панелей. Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред Материалы XXIV международного симпозиума имени А.Г.Горшкова. 2023 г.

Результаты работы представлены в 12 публикациях, из них 2 публикации в журналах, индексируемых международной системой цитирования Scopus, 2 публикации в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, 8 публикаций в виде тезисов докладов конференций, в том числе международных.

Структура диссертации состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы (125 источников), всего 150 стр. текста.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертационной работы.

Во введении отмечается актуальность темы диссертационного исследования, дается краткое описание содержания работы по главам, формируются объект, предмет, цели и задачи исследования, представляются положения, выносимые на защиту, оценивается личный вклад соискателя, дается заключение об апробации работы, обсуждается теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе диссертации представлен обзор существующих методов топологической оптимизации геометрии плоских панелей, усиленных ребрами жесткости. Дается общее описание методов топологической оптимизации для армированных панелей и их подкреплений.

В второй главе предложены формулировки метода топологической оптимизации легких металлических и металло-композитных элементов авиационных конструкций, работающих в условиях сложно-напряженного состояния, включая расширенную формулировку, подробно представленной в главе.

В третьей главе представлены результаты решения задач топологической оптимизации для подкрепленных панелей, нагруженных сосредоточенными силами. Проводится поиск наилучшего распределения ограниченного объема материала в заданном объеме конструкции с целью получения наибольшей

жесткости. Методика основана на численном решении задачи о деформациях панели переменной толщины. Параметром оптимизации является толщина панели, задаваемая через фиктивную функцию плотности. В качестве целевой минимизируемой функцией используется полная энергия деформаций панели. Также представлен метод оптимизации панелей переменной толщины, который был реализован в Comsol Multiphysics для оптимизации топологии пластин с ребрами жесткости и задача оптимизации для пластины переменной толщины. В главе представлены результаты численно-аналитического решения для определения оценки оптимального расположения ребер прочности и жесткости. Предложенное решение используется для проверки эффективности реализованной методики численной топологической оптимизации. Моделирование проводилось в широко известном программном комплексе Ansys. Также представлены результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния с использованием программного комплекса COMSOL Multiphysics. Полученные результаты сравнивались с результатами, полученными при численно-аналитическом моделировании, и показали хорошую корреляцию.

В четвертой главе представлены результаты расчетов, выполненных с использованием предложенных методов оптимизации топологии композитных конструкций. В качестве примера топологической оптимизации предложены плоские металло-композитные панели, в которых металлические элементы изготовлены из сплава Д16.

Имеется ряд замечаний, которые, однако, не относятся к основной содержательной части работы и не снижают её общего уровня:

1. Представляется, что в предлагаемом подходе можно было бы использовать толщину пластин непосредственно в качестве переменной задачи оптимизации, что могло бы позволить снизить размерность задачи, однако в работе вводится отдельная переменная (фиктивная плотность), через которую пересчитывается толщина;
2. В разделе, связанном с оптимизацией металло-композитных конструкций не представлен анализ весовой эффективности полученных оптимальных вариантов конструкции в сопоставлении со стандартным регулярным оребрением;
3. При описании расчета с использованием программы COMSOL Multiphysics следовало бы более подробно описать тип выбранных конечных элементов и представить их свойства в виде таблицы;
4. В тексте автореферата, автору необходимо обозначить ось Y графиков, представленных на рис. 2 (аналогично рисунок 3.8 в диссертации);
5. В диссертации и автореферате имеется незначительное число опечаток.

Заключение

Представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней ВАК РФ, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года №842 «О порядке присуждения ученых степеней» (с изменениями и дополнениями). Считаю, что соискатель Чжо Йе Ко заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент:

Королев Вадим Вадимович, гражданин Российской Федерации
кандидат технических наук по специальности 2.9.2. – Железнодорожный путь,
изыскание и проектирование железных дорог

Адрес: 127994, ГСП-4, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9.

Тел.: +7 495 681-13-40

E-mail: tu@miit.ru

Доцент кафедры «Транспортное строительство» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта»

В.В. Королев

Я, Королев Вадим Вадимович, даю согласие на включение своих персональных данных, содержащихся в настоящем отзыве, в документы, связанные с защитой диссертацией Чжо Йе Ко, и их дальнейшую обработку.

В.В. Королев

С отзывом
ознакомлен

28.11.2023



Подпись Королева В.В.
Заведующий
Директор ЦКБ ИС
С.Н. Коржин

27.11.2023