

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной и инновационной деятельности
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский
технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»



_____ Михайлов С.А.

» апрель 2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева – КАИ»
на диссертацию Безмельницына Александра Викторовича
«ОЦЕНКИ ЖЁСТКОСТИ И ПРОЧНОСТИ ВТУЛОК
ОПОРНЫХ УЗЛОВ ДОРОЖНЫХ МАШИН
НА ОСНОВЕ МНОГОМАСШТАБНЫХ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ
ПОРИСТОГО ТКАНЕВОГО СТЕКЛОПЛАСТИКА»,
представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы диссертации определяется ростом применения в высоконагруженных опорах скольжения самосмазывающихся втулок из открытопористого стеклопластика. Они изготавливаются методом прямой окружной намотки стеклоткани, предварительно пропитанной эпоксидным связующим, с последующим отверждением при повышенной температуре. При намотке тканевого препрега на жесткую оправку внутренние слои уплотняются в большей степени по сравнению с внешними, что приводит к изменению структуры и физико-механических свойств композита по его толщине. Вследствие этой неоднородности после отверждения полимерной матрицы в толстостенных изделиях возникают остаточные межслойные растягивающие напряжения, в некоторых случаях даже приводящие к расслоению.

Таким образом, при оценке несущей способности, прочности и жесткости втулок высоконагруженных опор скольжения необходимо проводить анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) с учетом структурной и физико-механической неоднородности материала втулки и учетом начальных напряжений. Это обуславливает актуальность представленной диссертационной работы.

Целью диссертации является разработка расчетно-экспериментальных методов оценки упругих и прочностных характеристик композитных конструкций, полученных окружной намоткой тканевого препрега, с применением подхода численной гомогенизации.

Оценка содержания диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Работа содержит 78 рисунков, 6 таблиц. Общий объем диссертационной работы составляет 116 страниц, список литературы включает 162 источника.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, а также положения, выносимые на защиту. Представлены основные результаты, показана их научная новизна и значимость.

Первая глава содержит результаты анализа отечественных и зарубежных литературных источников, посвященных использованию антифрикционных полимерных композитных материалов в высоконагруженных опорах скольжения. Отмечены преимущества самосмазывающихся втулок из тканевых композитов с открытой пористостью. Уделено внимание технологии намотки, использованной при создании таких втулок. Показано, что для изделий, полученных окружной намоткой, с увеличением толщины стенки растет вероятность расслоений из-за высоких технологических межслойных растягивающих напряжений. Приведены основные механизмы возникновения таких напряжений, а также технологические приемы их снижения. Представлены экспериментальные методы оценки величины остаточных напряжений. Рассмотрены методы расчетной оценки несущей способности композитных втулок, работающих в высоконагруженных опорах скольжения.

Вторая глава посвящена экспериментальным исследованиям. Для этого методом окружной намотки диссертантом была изготовлена партия втулок из композита с открытой пористостью. При помощи оптического микроскопа исследована микроструктура внешних и внутренних слоев втулок. Проведены экспериментальные исследования распределения упругих и теплофизических свойств, из которых видно, что они меняются практически линейно по радиусу втулки. Выполнено исследование трансверсального предела прочности и влияния на него остаточных технологических напряжений. Для этого было проведено два типа испытаний: растяжение втулки диаметрально приложенными силами и межслойное растяжение кубических образцов, вырезанных из втулки. Найдены модуль упругости и температура стеклования используемого эпоксифенольного связующего.

В третьей главе при оценке упругих и теплофизических свойств используется многоуровневое моделирование. На микроуровне рассматривается нить, представляющая пучок волокон, связанных между собой полимерной матрицей. Определение физико-механических характеристик нити было выполнено в программном комплексе Ansys Workbench. На основе полученных снимков структуры композитной втулки были разработаны мезомодели внутреннего и внешнего слоев. Слой, представляет собой переплетенные основные и уточные нити, свойства для которых были определены из микромоделирования. Учитывая практически линейное распределение характеристик по радиусу, было выполнено моделирование только для внешнего и внутреннего слоев втулки, а остальные имеют промежуточные свойства в зависимости от положения по толщине. Разработана и описана расчетно-экспериментальная методика оценки остаточных технологических напряжений втулки с неоднородно распределенными по толщине ортотропными свойствами.

Четвертая глава посвящена сравнительной оценке несущей способности втулок из стеклопластика и бронзы, работающих в составе опорного катка гусеничного движителя. Для композитных втулок экспериментально определён коэффициент трения покоя, который в дальнейшем использовался при моделировании контактного взаимодействия с валом. Получены значения трансверсального модуля упру-

гости и предела прочности при сжатии. Выполнена расчетно-экспериментальная оценка межслойного предела прочности на сдвиг с использованием критерия И.М. Дэниэла. При помощи разработанной трёхмерной численной модели опорного катка для втулок из композита и бронзы были найдены величины предельно допустимых радиальных зазоров. Расчет показал, что композитная втулка обладает достаточной прочностью для использования в опорных катках гусеничных движителей и сохраняет работоспособность в узле трения при величине зазора более 0,8 мм, в то время как для бронзовой втулки допустимая величина зазора не превышает 0,2 мм.

Новизна результатов работы заключается в следующем:

- Разработаны и верифицированы оригинальные численные модели, позволяющие определить упругие и теплофизические свойства ортотропных тканевых слоев в открытопористых композитах, основываясь на свойствах матрицы и волокон.

- Впервые для втулок из композита с открытой пористостью, изготовленных намоткой, получены новые экспериментальные данные о распределении по толщине стенки пористости, окружного модуля упругости и коэффициентов теплового линейного расширения.

- Выявлен новый механизм образования остаточных технологических напряжений в цилиндрических изделиях, полученных намоткой, связанный с изменением по радиусу мезоструктуры в процессе производства, и разработана оригинальная расчетно-экспериментальная методика для оценки величины этих напряжений.

- Предложена методика оценки несущей способности втулок из ортотропных слоистых композитов, работающих в высоконагруженных узлах трения.

Обоснованность и достоверность полученных результатов определяется грамотным и корректным использованием современного поверенного научного оборудования Лаборатории экспериментальной механики и Научно-образовательного центра «Нанотехнологии» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», выполнением расчетов в лицензионных программных пакетах, реализующих методы

конечных элементов, сравнением расчетных и экспериментальных результатов исследований с известными данными, полученными другими авторами.

Значимость для науки и практики имеют разработанный комплекс многоуровневых моделей для определения упругих и теплофизических характеристик тканевых композитов с открытой пористостью, расчетно-экспериментальная методика оценки несущей способности антифрикционных втулок из композитов с открытой пористостью в составе высоконагруженных малоподвижных опор скольжения. Результаты научной работы были использованы на предприятиях ООО НПП «Полидор» (г. Челябинск), ООО «Сатурн» (г. Челябинск).

Соответствие автореферата основным положениям диссертации. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в полной мере соответствующей требованиям ВАК РФ. Содержание автореферата в полной мере отражает структуру, основные результаты и выводы диссертации. Автореферат и диссертация изложены ясно, достаточно иллюстрированы, в полной мере представляют экспериментальные исследования, разработанные расчетные модели и результаты численного анализа.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати. По теме диссертации опубликовано 6 работ, в том числе 4 статьи в ведущих рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень изданий, индексируемых в SCOPUS/Web of Science, или рекомендованных ВАК.

Вопросы и замечания:

1. В диссертации приведено распределение упругих и теплофизических характеристик по радиусу втулки, но не рассмотрено распределение трансверсальных прочностных характеристик.
2. Как учитывалось влияние смазочного материала на несущую способность композитной втулки?
3. Почему при оценке несущей способности бронзовой втулки был выбран критерий допускаемых нормальных напряжений?

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней. Диссертационная работа А.В. Безмельницына представляет собой законченное научное исследование, в котором изложены новые научно-обоснованные решения, имеющие значение для развития транспортной отрасли. Диссертация соответствует паспорту специальности 01.02.04 и удовлетворяет критериям, установленным п.9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор – Безмельницын Александр Викторович – заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Отзыв составлен заведующим кафедрой производства летательных аппаратов, доктором технических наук по специальности 05.07.02 – «Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов» Халиулиным Валентином Илдаровичем.

Диссертационная работа, автореферат и отзыв обсуждены и одобрены на заседании кафедры производства летательных аппаратов ФГБОУ ВО «КНИТУ-КАИ» (протокол № 7 от 20 апреля 2021 г.).

Заведующий кафедрой производства летательных аппаратов ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет имени А.Н. Туполева – К

доктор технических наук, профессор

Халиулин Валентин Илдарович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ», 420111, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Тел./факс: +7 (843) 231-01-09, +7 (843) 238-56-30; E-mail: kai@kai.ru

20 апреля 2021г.

6

Подпись *Халиулин*
заверяю. Нач
дв.л.л.л. КНИТ

