



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИПРИМ РАН,

доктор технических наук, профессор

 Власов А.Н.

«19» ноября 2019 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Чжо Аунг Лин «Разработка методов исследования эффективных термомеханических характеристик и остаточного напряженно-деформированного состояния панелей из слоистых наномодифицированных материалов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 - «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»

В настоящее время полимерные композитные материалы широко используют в различных современных отраслях промышленности: в конструкциях авиационной и космической технике, машиностроении и др. Использование композитов во всем мире быстро увеличивается, потому что они имеют значительные преимущества перед традиционными материалами. Создание полимерных композитов на основе наномодифицированных связующих уже более 15 лет является одним из приоритетных направлений исследований в области технологий изготовления полимерных композитных материалов. Применение наноразмерных наполнителей позволяет значительно улучшить физико-механические свойства материалов: повысить прочность, трещиностойкость, твердость, жесткость, износостойкость, электропроводность, термостойкость, стойкость к химическим воздействиям и другие свойства. В слоистых волокнистых наномодифицированных композитах вместе с увеличением межслоевой прочности и адгезией между волокнами и матрицей, также повышаются усталостные характеристики и

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ

Вх. № 2  
28 11 2019

малоцикловая прочность. Поэтому диссертационная работа Чжо Аунг Лин, посвящена разработке методов исследования эффективных термомеханических характеристик и остаточного напряженно-деформированного состояния слоистых наномодифицированных материалов.

**Содержание диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы, содержащего 56 наименований, приложение 1 и приложение 2. Текст диссертации изложен на 117 страницах, включает 52 рисунка и 23 таблицы.

**Во введении** обоснована актуальность работы диссертации, представлены цели и задачи исследований, определена научная новизна и практическая ценность полученных автором результатов, приведены сведения об апробации результатов диссертационной работы основные положения, выносимые на защиту, а также дано краткое содержание работы по главам.

**В первом главе** диссертационной работы приведен обзор и анализ методов исследования эффективных характеристик и остаточных деформаций в наномодифицированных композитах. Исследованы особенности изготовления образцов наномодифицированного углепластика. Даны результаты проведенных механических испытаний образцов наномодифицированного углепластика. Проведена оценка коэффициентов температурного расширения.

**Во второй главе** проведено моделирование эффективных термомеханических характеристик наномодифицированного углепластика численными и аналитическими методами. Рассмотрен макромеханический подход, микромеханический подход и представлено сопоставление полученных результатов расчетов в рамках макро- и микромеханического моделирования, а также экспериментальных данных. Показаны значения модулей упругости композитов с различными схемами армирования,

найденные экспериментально и теоретически на основе идентифицированных свойств монослоев. Результаты численных и аналитических расчетов, проведенных для оценки свойств однонаправленного слоя, оказываются достаточно близки. Из этих расчетов следует, что в случае отсутствия агломерации включений, добавление наполнителя должно приводить, в первую очередь, к небольшому увеличению поперечного модуля упругости и модуля сдвига монослоя, вследствие упрочнения матрицы.

**В третьей главе** представлены результаты теоретического и экспериментального определения остаточных деформации в панелях из наномодифицированного углепластика. В данной главе проводится исследование влияния наномодификации углепластика на остаточное напряженно-деформированное состояние после формования. Результаты, полученные аналитическим и численным методами идентичны. Наибольшее сходство с экспериментальными данными дает 4 метод определения эффективных свойств монослоя.

**В заключении** приведены основные выводы, сделанные по результатам проведенного в диссертационной работе исследования.

**В приложении 1** представлен процесс идентификация свойств монослоя в «DIGIMAT» и **в приложении 2** представлен процесс изготовления КМ.

**Научная новизна** работы определяется полученными результатами:

1. Разработаны теоретические и экспериментальные методы исследования эффективных термомеханических характеристик остаточного НДС панелей из слоистых наномодифицированных материалов.

2. Модернизированы методы изготовления образцов для механических испытаний наномодифицированного углепластика.

3. Исследованы механические свойства монослоя в образцах углепластика, изготовленного с применением эпоксидной матрицы, содержащей фуллеренов сажу.

4. Разработаны методы создания углепластиков с высокими упругопрочностными характеристиками, а на их основе конструкции с более эффективной весовой характеристикой.

5. Исследовано влияние наномодификации углепластика на остаточное напряженно-деформированное состояние, и с учетом этого разработана методика оценки влияния различных физико-механических факторов на остаточные напряжения и деформации.

**Достоверность полученных результатов.** Достоверность и обоснованность полученных результатов обеспечивается использованием соотношений макромеханической модели слоистых композитов и классической теории упругости, апробированных математических моделей и пакетов прикладных программ, а также достаточной корреляцией аналитических и численных результатов с полученными в работе экспериментальными данными.

**Практическая ценность.** Проведенное в диссертационной работе исследование позволило: исследовать остаточные деформации в панелях с несимметричной схемой армирования на основе полученного аналитического решения, а также численного моделирования; определить три различных набора значений характеристик монослоев углепластика, изготовленного на основе обычной и наномодифицированной матрицы с учетом проведенных исследований; исследовать физико-механические характеристики монослоев композитов и получить решение соответствующей обратной задачи по 5 результатам проведенных механических испытаний композитов с различными схемами армирования; сопоставить результаты аналитических и численных решений с полученными экспериментальными данными, которые подтверждают достоверность и обоснованность разработанных математических моделей и методов исследования эффективных термомеханических характеристик и остаточного напряженно-

деформированного состояния панелей из слоистых наномодифицированных материалов.

### **Замечания по диссертации**

- При расчете остаточных напряжений в реализованных расчетах не учитывается зависимость свойств связующего от температуры. Представляется, что соответствующая модель позволила бы уточнить значение найденных остаточных деформаций и с более высокой точностью описать экспериментальные данные.

- В работе не представлена формулировка методов осреднения, примененных для вычисления эффективных характеристик композита (или, по крайней мере, не даны ссылки на соответствующие работы, где эти методы обсуждаются)

- Для полученных экспериментальных данных, в частности, для найденных характеристик наномодифицированных композитов, не приведен анализ и сопоставление с аналогичных результатами полученными другими авторами при создании аналогичных композитов.

- Было бы желательно рассмотреть большее количество экспериментальных точек для различных объемных содержаний наполнителя, так как известно, что свойства наномодифицированных композитов могут значительно изменяться даже при небольшом изменении объемного содержания наномодификатора. Поэтому, есть вероятность, что выбранное объемное содержание наполнителя не является оптимальным, с точки зрения повышения жесткости и прочности материала.

### Заключение по диссертационной работе

По теме диссертации автором опубликовано 7 печатных работ, в том числе в 1 статья в периодическом издании, включенном в перечень ВАК РФ, 2 статьи в журналах, входящих в Scopus. Основные результаты хорошо апробированы - они докладывались на научных конференциях высокого уровня.

Полученные результаты соответствуют уровню кандидатской диссертации по специальности 01.02.06 - «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Автореферат в полном объеме отражает содержание диссертации.

В итоге диссертация Чжо Аунг Лин «Разработка методов исследования эффективных термомеханических характеристик и остаточного напряженно-деформированного состояния панелей из слоистых наномодифицированных материалов» является законченным научным исследованием, которое соответствует требованиям п.п. 9-14 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 30.07.2014 г.), а ее автор Чжо Аунг Лин, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 - «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Отзыв рассмотрен и утвержден Ученым советом ИПРИМ РАН;  
протокол № 08/19 от «19» ноября 2019 г.

Заместитель директора по  
научной работе ФГБУН ИПРИМ РАН,  
доктор физико-математических наук



Данилин Александр Николаевич



Ученый секретарь ФГБУН ИПРИМ РАН,  
кандидат физико-математических наук

Карнет Юлия Николаевна

Контактные данные организации: ФГБУН Институт прикладной механики Российской академии наук.

125040, Россия, Москва, Ленинградский проспект, д.7, стр.1.

Телефон: +7 495 946-18-06.

Факс: +7 495 946-18-03.

Адрес электронной почты: [iam@iam.ras.ru](mailto:iam@iam.ras.ru),

Сайт подразделения: <https://iam.ras.ru/>