

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор ФГАОУ ВО
"Российский университет транспорта",
Д.т.н., доцент
Савин Александр Владимирович



«19» ноября 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Гетманова Александра Георгиевича «Расчетно-экспериментальный метод исследования физико-механических характеристик защитных порошковых эпоксидно-полиэфирных покрытий на металлических подложках», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Диссертационная работа Гетманова А.Г. посвящена разработке расчетно-экспериментальных методов исследования физико-механических характеристик защитных порошковых эпоксидно-полиэфирных покрытий на металлических подложках, которые применяются для защиты элементов авиационных конструкций от коррозии. В частности, исследуется проблема достоверной оценки упругих свойств покрытий, остаточных напряжений, действующих в них, и адгезионной прочности к подложке в условиях сложнапряженного состояния. Проблематика проекта относится к важному направлению, связанному с оценкой механических свойств и долговечности защитных покрытий, применяемых на ответственных элементах конструкциях. Данная работа, несомненно, является актуальной.

Научная новизна работы определяется полученными результатами:

- результаты испытаний эпоксидно-полиэфирных покрытий на подложках методом наноиндентирования, в которых показано, что для тонких покрытий реализуются повышенные механические свойства, по сравнению с аналогичными объемными материалами;

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«30 11 2020

- предложенные подходы для оценки остаточных напряжений и определения модуля упругости покрытий путем измерения остаточных деформаций образцов и их прогибов в условиях нагружения по схеме трехточечного изгиба;

- результаты исследования влияние покрытий на поведение металлических пластин в испытаниях на растяжение, изгиб и устойчивость, в которых показана важность учета температурных деформаций покрытий и возникающих остаточных напряжений на механическое поведение тонких образцов;

- предложенная и реализованная методика оценки прочности контакта покрытий с подложкой, основанная на аналитической или численной оценке предельных напряжений, реализующихся при отслоении покрытия в условиях стесненных деформаций образцов в испытаниях на трехточечный изгиб.

Практическая значимость в предложенных уточненных методах измерения механических свойств защитных эпоксидно-полиэфирных покрытиях, проверенных с использованием данных проведенных экспериментальных исследований.

Апробация результатов работы была проведена на российских и международных конференциях:

- Международный симпозиум «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» им. А.Г.Горшкова. Москва, МАИ, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020

- Международный научный семинар "Динамическое деформирование и контактное взаимодействие тонкостенных конструкций при воздействии полей различной физической природы", Москва, МАИ, 2014, 2016, 2017.

- Международная научно-практическая конференция «Проблемы безопасности на транспорте», Респ. Беларусь, Гомель. 2019, 2020.

Результаты работы представлены в 5 публикациях, в том числе, две работы опубликованы в журналах, индексируемых WoS/Scopus.

Структура диссертации состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы (80 источников), всего 134 стр. текста.

В первой главе представлен обзор известных работ, связанных с тематикой проводимых исследований, обсуждаются проблемы идентификации свойств тонких полимерных покрытий, дается обоснование выбранному направлению исследований, целям и задачам диссертации.

Во второй главе представлены результаты измерения свойств исследуемых покрытий методом наноиндентирования на установке и результаты численного моделирования процесса наноиндентирования. В главе изложена методика проведения испытаний, проанализированы результаты испытаний покрытий с использованием различных инденторов. Показано, что рассматриваемые покрытия обладают более высоким модулем Юнга по сравнению с аналогичными объемными материалами, что объясняется влиянием изменения структуры материала покрытия и влиянием упрочненных межфазных зон на границе покрытия и подложки.

В третьей главе предложен метод измерения модуля упругости покрытий, основанный на испытании образцов с покрытиями, нанесенными на одной стороне. В методе используются образцы с первоначальной погибью, возникающей в процессе остывания изготовленных образцов вследствие разницы КТР покрытия и подложки. На основе модели тонких криволинейных слоистых балок, предложена методика оценки модуля Юнга покрытий, основанная на обработке экспериментальных данных, в которых определяется начальная погибь образцов и их жесткость при трехточечном изгибе.

В четвертой главе представлены результаты испытаний образцов с покрытиями на растяжение при комнатной и повышенной температуре.

Показано, что влияние покрытия в таких испытаниях сводится к снижению уровня определяемых средних напряжений в образцах, и что в образцах с покрытиями наблюдается изменение характера разрушения.

В пятой главе представлены результаты расчетов и испытаний образцов с двухсторонними покрытиями на устойчивость при сжатии. По результатам сравнения экспериментов и моделирования показано, что для достоверной оценки критической нагрузки рассматриваемых образцов важно учитывать уровень действующих в образцах остаточных напряжений. Исследован эффект влияния предварительного изгиба образцов на их устойчивость. Для таких образцов установлено, что предварительный изгиб образцов в упругой зоне деформаций существенно снижает критическую нагрузку образцов на тонких подложках, что объясняется возникновением пластических деформаций в материале покрытия, которые не проявляются на диаграмме при испытании образца с жесткой подложкой, но вызывают асимметрию остаточного напряженно-деформированного состояния образцов.

В шестой главе представлены результаты обработки испытаний и расчетов по оценке уровня остаточных напряжений, действующих в образцах. На основе проведенных аналитических расчетов и экспериментальных данных, установлено, что в исследованных покрытиях действуют нормальные напряжения с уровнем до 10 МПа на алюминиевой подложке и до 40 МПа на стальной подложке, что связано с соотношением КТР материалов покрытия и подложек.

В седьмой главе предложена методика для оценки прочности адгезионного контакта покрытий к подложке в условиях сложнапряженного состояния, связанного с одновременным отрывом и сдвигом. На основе модели балки Тимошенко получены замкнутые аналитические решения для обработки экспериментальных данных, получаемых в предложенной схеме испытаний. Предложенные расчетные методы апробированы в испытаниях образцов, с исследуемыми эпоксидно-полиэфирными покрытиями.

Автореферат достаточно полно отражает основное содержание диссертационной работы.

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

1) В работе не обсуждается зависимость коэффициентов температурного расширения и, в целом, механических свойств покрытий от температуры, которые могут быть важны при оценке остаточных напряжений, возникающих после их полимеризации. Вместо этого в работе используются средние значения соответствующих характеристик. Однако было бы интересно получить оценки с учетом соответствующих зависимостей.

2) В работе можно было бы уменьшить количество глав, включив, например, главу, посвященную исследованию остаточных напряжений (№6) в главу, в которой дано описание методики измерения свойств покрытий при изгибе образцов (№3), где соответствующие результаты используются в расчетах.

3) Полученные оценки адгезионной прочности покрытий получены в приближении малых прогибов и линейных деформаций образцов. Поэтому предложенная методика испытаний может требовать использования образцов (подложек) достаточно большой толщины для исключения возникновения больших прогибов. Этот аспект в работе не обсуждается, хотя в экспериментах, судя по представленным линейным диаграммам испытаний, он учитывался.

В целом, сделанные замечания не снижают уровня полученных результатов. Работа представляет собой законченное научное исследование и соответствует квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертационным работам, в том числе соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней»,

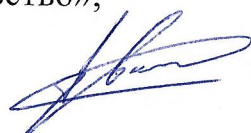
утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 №842, а автор диссертации Гетманов А.Г. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Транспортное строительство» ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)» 19 ноября 2020 г., протокол № 4.

Зав. кафедрой

«Транспортное строительство»,

д. ф.-м. н., профессор



Локтев Алексей Алексеевич

Секретарь кафедры,

зав. лабораторией



Федорова Снежана Владимировна

Контактные данные организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет транспорта". 125190, Москва, ул. Часовая, д. 22/2, ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Российская открытая академия транспорта
Телефон: +7 495 684-23-96
E-mail: tu@miit.ru
Официальный сайт: <https://rut-miit.ru/>

Подпись д.ф.-м.н. профессора Локтева Алексея Алексеевича и Федоровой Снежаны Владимировны заверяю:



Секретарь кафедры = Локтев Алексей Алексеевич и Федорова Снежана Владимировна