

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу Ян Наинг Мин на тему «Применение методов зондирующих отверстий и корреляции цифровых изображений для определения остаточных напряжений в сплавах и композиционных материалах» по специальности 01.02.06 - «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук

Актуальность темы диссертации. В настоящее время композиты широко применяются в авиастроении, космической технике, кораблестроении, энергетике и других отраслях для изготовления основных элементов конструкций, к которым предъявляются высокие требования по надежности и прочности. Большинство существующих конструкций, в которых эффективно применяются композиционные материалы (КМ), являются тонкостенными, сетчатыми, или представляют собой сэндвич панели с композитными несущими слоями и облегченными заполнителями. Как правило, композиционные материалы формируются при повышенных температурах и давлениях, после чего происходит их охлаждение до нормальной температуры. В результате процессов теплового расширения, а также с учетом различия термоупругих свойств компонентов, входящих в состав композиционных материалов, в них могут возникать существенные остаточные напряжения. В ряде случаев уровень остаточных напряжений в деталях оказывается настолько высоким, что уже в процессе хранения наблюдается растрескивание или разрушение материала. В результате постепенной релаксации остаточных напряжений происходит изменение размеров и искажение форм деталей. Наибольшему негативному действию остаточных напряжений подвержены однонаправленные слои в поперечном направлении. Рассматриваемая в диссертации задача относится к исследованию методов зондирующих отверстий и корреляции цифровых изображений для определения остаточных напряжений в сплавах и композиционных материалах. Принимая во внимание, что остаточные температурные напряжения могут достигать предела прочности и приводить к появлению трещин в полимерной матрице важным становится знание типа, расположения и величины остаточного напряжения в изделиях, выполненных из композиционных материалов. В связи с этим тема диссертации представляется **актуальной**.

Научная новизна заключается в:

-реализации сочетания методов зондирующих отверстий, корреляции цифровых изображений и численного конечно-элементного моделирования для решения обратных задачи и идентификации остаточного напряженно-деформированного состояния исследуемых образцов;

Отдел документационного
обеспечения МАИ

06. 12. 2021г.

-получении данных по остаточному НДС в исследуемых образцах, включая образцы из металлополимерных композитов и сплавов, полученных методами трехмерной печати;

-сопоставлении аналитических и численных методов решения обратных задач для оценки остаточного НДС материала.

По **структуре** диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, включающего 114 источников. Работа содержит 117 страниц основного текста, включая 62 рисунка.

Во введении представлена краткая характеристика работы, обоснована актуальность темы исследования и степень ее разработанности, сформулирована цель и задачи диссертационного исследования, определены объект и предмет исследования, обоснованы научная новизна и практическая значимость работы.

Первая глава носит обзорно-аналитический характер. В ней приведены результаты выполненного литературного обзора отечественных и зарубежных публикаций по научной тематике работы.

Во второй главе изложен выбор экспериментальных образцов, а также методы их получения и используемые материалы. В частности, для исследования уровня остаточных напряжений использовались тестовые образцы из сплавов, а также из металло-композитных и полимерных композиционных материалов. В образцах из алюминиевого сплава исследовались остаточные напряжения, возникающие в сварном шве. Остаточные напряжения в нержавеющей стали исследовались на образцах, изготовленных методом 3Д печати по технологии SLM. В композитных образцах остаточные напряжения присутствовали вследствие несимметричной схемы армирования.

В третьей главе представлена методика измерений остаточных напряжений, основанная на методе корреляции цифровых изображений. Отмечается, что фотоизображения и видеокadres применяются для анализа широкого круга прочностных, газодинамических, материаловедческих задач. Показано, что получаемое двухмерное изображение позволяет качественно отслеживать картину исследуемых процессов, но без соответствующей математической обработки данных фотографий (видеокadres) нельзя судить о количественных параметрах происходящих процессов в исследуемых объектах.

В четвертой главе представлены результаты численного моделирования и развитие методики для более точного и детального изучения остаточных напряжений в образце. В частности, для количественной оценки остаточных напряжений в образце проводилось решение обратной задачи в среде COMSOL с использованием численного конечно-элементного моделирования на базе метода Монте-Карло и Нельдера-Мида. В ходе реализации вычислительного эксперимента при моделировании воспроизводилась та же геометрия области, в которой проводится анализ изображения.

Обоснованность и достоверность результатов, полученных на базе предложенных в работе методик расчета, определяется применением известных методов механики деформируемого твердого тела, теории упругости. Кроме того, метод корреляции цифровых изображений апробирован результатами испытаний на одноосное растяжение стандартного образца с использованием тензометрии. Остаточные напряжения, полученные с применением методов зондирующих отверстий и корреляции цифровых изображений, сравнивались с численными моделированием. Численное моделирование проведено в системах COMSOL Multiphysics с использованием детализированных моделей изделий, высокоплотной сетки, а также путем варьирования размера конечно-элементной сетки.

Теоретическая и практическая значимость.

- Предложен метод достоверного определения остаточного НДС в металлах и композитах с применением сочетания методов зондирующих отверстий и корреляции цифровых изображений;

- Экспериментально исследовано остаточное напряжение в металлах, включая образцы, и в КМ, в том числе в образцах металлополимерных композитов;

- Отработана методика проведения всех этапов исследований, начиная с подготовки образцов, процедуры нанесения зондирующих отверстий, фотографирования образцов и реализации метода корреляции цифровых изображений, обработки результатов на основе решения обратных задач теории упругости численными и аналитическими методами;

- Показана возможность получения достоверных и высокоточных результатов измерений остаточного НДС в исследуемых материалах и применения, как более точных численных методов обработки данных метода КЦИ (с использованием методов оптимизации и нелинейного программирования), так и более простых аналитических методов, основанных на решении задачи Кирша и статистической обработке экспериментальных данных.

Замечания по диссертационной работе и автореферату:

1. При оценке остаточных напряжений в углепластике следовало бы дать соответствующие аналитические оценки для возникающих поводов и уровня остаточных напряжений, которые можно было бы использовать далее в сопоставлении с получаемыми экспериментальными данными.

2. При анализе остаточных напряжений в сварных швах целесообразным является предварительный неразрушающий контроль, для выявления наличия пор и дефектов в зоне нанесения зондирующих отверстий. Наличие таких дефектов может исказить результаты анализа и не учитывались в расчетах.

3. Следовало бы исследовать устойчивость решения обратной задачи при идентификации остаточных напряжений, например, внося небольшие изменения в полученные экспериментальные данные и проводя повторную обработку и решение обратной задачи.

небольшие изменения в полученные экспериментальные данные и проводя повторную обработку и решение обратной задачи.

Основные результаты, полученные в диссертационной работе, опубликованы в 3-х публикациях автора, в том числе в двух статьях в периодических изданиях, включенных в перечень ВАК РФ и в одной статье в международном журнале, индексируемом Scopus. Результаты работы апробировались на различных международных конференциях, семинарах и симпозиумах, что отражено в 9 публикациях в виде тезисов докладов.

Представленная диссертация является законченной квалификационной работой, которая посвящена решению практически важной научной задачи. Диссертация соответствует квалификационным требованиям, предъявляемым ВАК к диссертационным работам, в том числе соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842. Автор диссертации, Ян Наинг Мин, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Официальный оппонент,

Профессор кафедры «Прикладная математика и системный анализ»

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.» г. Саратов,

д.т.н., проф.

30.11.2021 Мос

Л. И. Могилевич

Адрес места работы: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77.

Тел.: +7 (8452) 99-88-25.

E-mail: primat@sstu.ru

Специальность ВАК по которым защищены: докторская диссертация 05.11.03 – «Приборы и навигация», кандидатская диссертация 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Подпись профессора, доктора технических наук Могилевича Льва Ильича удостоверяю,

Ученый секретарь Ученого совета

СГТУ имени Гагарина Ю.А.

доктор культурологии, доцент



Тищенко

Н.В. Тищенко