

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.05

Соискатель: Сафронов Павел Андреевич

Тема диссертации: Описание процесса деформирования изгибаемых элементов из сплава с памятью формы с учетом разносопротивляемости этого материала

Специальность: 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 5 июня 2019 года, протокол 6, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Сафронова П.А. является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Сафронова П.А. отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании 5 июня 2019 года, протокол 6, диссертационный совет принял решение присудить Сафронову П.А. ученую степень кандидата технических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Тарлаковский Д.В., заместитель председателя диссертационного совета Фирсанов В.В., ученый секретарь диссертационного совета Федотенков Г.В.

Члены диссертационного совета: Антуфьев Б.А., Бирюков В.И., Вестяк В.А., Гришанина Т.В., Дудченко А.А., Кузнецов Е.Б., Медведский А.Л., Мовчан А.А., Рабинский Л.Н., Рыбаков Л.С., Сибиряков А.В., Сидоренко А.С., Солдатенков И.А., Туркин И.К., Тютюнников Н.П.

Председатель

диссертационного совета Д 212.125.05

д.ф.-м.н., профессор

Тарлаковский Д.В.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.125.05

к.ф.-м.н., доцент



Федотенков Г.В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.05
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «5» июня 2019 г. № 6

О присуждении Сафронову Павлу Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Описание процесса деформирования изгибаемых элементов из сплава с памятью формы с учетом разносопротивляемости материала» по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите «03» апреля 2019 г., протокол заседания № 5 диссертационным советом Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.05 – № 105/нк от «11» апреля 2012 г.

Соискатель Сафронов Павел Андреевич, 1992 года рождения, в 2015 году окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности «150301 Динамика и прочность машин» с отличием. В период подготовки

диссертации соискатель, Сафронов П.А., работал инженером-конструктором в Филиале ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого», обучался в очной аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» МАИ с целевым назначением для Филиала ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого».

Диссертация выполнена на кафедре 602 «Проектирование и прочность авиационно-ракетных и космических изделий» института №6 «Аэрокосмический» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» МАИ.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Мовчан Андрей Александрович**, профессор, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института прикладной механики Российской академии наук, профессор кафедры 602 «Проектирование и прочность авиационно-ракетных и космических изделий» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» МАИ, по совместительству.

Официальные оппоненты:

Волков Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Теория упругости» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский Государственный Университет», г. Санкт-Петербург, Министерство образования и науки РФ,
Нуштаев Дмитрий Владимирович, кандидат технических наук, менеджер по моделированию клиентских процессов дирекции по техническому развитию и качеству АО «Северсталь Менеджмент», г. Москва, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Открытое Акционерное Общество Национальный институт авиационных технологий (НИАТ)**, г. Москва, в своем положительном заключении, подписанном доктором технических наук, профессором, директором по науке – ученым секретарем ОАО НИАТ Егоровым В.Н. отметила, что сплавы с памятью формы (СПФ), благодаря своим уникальным термомеханическим свойствам могут использоваться для создания уникальных устройств и прогрессивных технологий в таких организациях, как ФГУП «ЦАГИ» им. Н.Е. Жуковского, АО «НПО им. С.А. Лавочкина», ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева, ФГБУН Институт прикладной механики РАН, ОАО НИАТ, ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого», ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Н.Э. Баумана (ниу)», и др. Однако, широкое внедрение этих материалов сдерживается отсутствием методов, алгоритмов и программ для достоверного анализа поведения элементов конструкций, содержащих такие материалы. Поэтому актуальной научно-технической задачей является разработка методик аналитического и численно-аналитического анализа термомеханического поведения элементов конструкций из СПФ. Решению данной проблемы, на случай изгиба с учетом разносопротивляемости СПФ, и посвящена диссертационная работа Сафронова П.А. В ней впервые получены решения ряда задач механики СПФ с учетом разносопротивляемости этого материала. Приведенные в диссертации результаты имеют важное прикладное и фундаментальное значение, их достоверность сомнений не вызывает.

Соискатель имеет 12 опубликованных печатных работ по теме диссертации, из которых 6 опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Мовчан А.А., Казарина С.А., Машихин А.Е., Мишустин И.В., Саганов Е.Б., Сафронов П.А. Краевые задачи механики для сплавов с памятью формы // Ученые записки Казанского университета. Серия Физ.-мат. науки. - 2015. - Т. 157, № 3. - С. 97-110.

2. Сафронов П.А. Учет разнсопротивляемости сплавов с памятью формы при решении задач о мартенситной неупругости и прямом превращении в балке, находящейся под действием изгибающего момента // Механика композиционных материалов и конструкций. - 2016. - Т. 22, № 1. - С. 114-127.

3. Сафронов П.А. Решение задач о мартенситной неупругости и прямом фазовом превращении в балке из сплава с памятью формы с учетом упругих деформаций и разнсопротивляемости этих сплавов // Механика композиционных материалов и конструкций. - 2017. - Т. 23, № 1. - С. 69-89.

4. Сафронов П.А. Цилиндрический изгиб пластинок из сплава с памятью формы с учетом разнсопротивляемости этого материала // Механика композиционных материалов и конструкций. - 2018. - Т. 24, № 2. - С. 186-206.

5. Сафронов П.А. Решение связанной задачи о прямом превращении в балке из сплава с памятью формы с учетом разнсопротивляемости материала // Механика композиционных материалов и конструкций. - 2018. - Т. 24, № 4. - С. 597-615.

6. Safronov P.A. Tension-compression asymmetry and elastic strain incorporating into the solution of the problem of martensitic nonelasticity and direct martensitic transition in beams from a shape memory alloy undergoing bending // Composites: Mechanics, Computations, Applications. - 2018. - Vol. 9, № 2. - Pp. 119-139.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации **Открытое Акционерное Общество Национальный институт авиационных технологий (НИАТ)**, г. Москва, подписанный доктором технических наук, профессором, директором по науке – ученым секретарем ОАО НИАТ Егоровым В.Н., утвержденный доктором технических наук, профессором, первым заместителем генерального директора ОАО НИАТ Плихуновым В.В., отзыв положительный;

от официального оппонента, **Волкова Александра Евгеньевича**, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры «Теория упругости» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский Государственный Университет», г. Санкт-Петербург, Министерство образования и науки РФ, заверенного начальником отдела кадров №3 Маштепой Н.И., отзыв положительный;

от официального оппонента, **Нуштаева Дмитрия Владимировича**, кандидата технических наук, менеджера по моделированию клиентских процессов АО «Северсталь Менеджмент», заверенного старшим менеджером АО «Северсталь Менеджмент» Копаевым О.В., отзыв положительный;

от **Багмутова Вячеслава Петровича**, доктора технических наук по специальности «Механика деформируемого твердого тела», профессора, академика Академии инженерных наук РФ, Заслуженного работника высшей школы РФ, профессора кафедры сопротивление материалов Волгоградского государственного технического университета, и **Захарова Игоря Николаевича**, доктора технических наук по специальности «Механика деформируемого твердого тела», доцента, заведующего кафедрой сопротивления материалов Волгоградского государственного технического университета, отзыв положительный;

от **Данилова Владимира Львовича**, доктора технических наук, профессора кафедры прикладной механики ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (НИУ)», отзыв положительный;

от **Перельмутера Михаила Натановича**, доктора физико-математических наук по специальности «Механика деформируемого твердого тела», ведущего научного сотрудника ИПМех РАН, отзыв положительный;

от **Рогового Анатолия Алексеевича**, заслуженного деятеля науки РФ, доктора физико-математических наук, профессора по специальности

«Механика деформируемого твердого тела», главного научного сотрудника Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук – филиала федерального бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН, отзыв положительный;

от **Семенова Владимира Николаевича**, доктора технических наук, главного научного сотрудника НИО-3 ФГУП «ЦАГИ», профессора МФТИ, члена диссертационного совета ФГУП «ЦАГИ» - ОАО «НИАТ» Д 999.84.01, заверенный кандидатом технических наук, деканом факультета Аэромеханики и летательной техники МФТИ, Кудровым М.А., отзыв положительный;

от **Старовойтова Эдуарда Ивановича**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой «Строительная механика» Белорусского государственного университета транспорта, и **Леоненко Дениса Владимировича**, доктора физико-математических наук, профессора кафедры «Строительная механика» Белорусского государственного университета транспорта, отзыв положительный;

от **Трусова Петра Валентиновича**, доктора физико-математических наук по специальности «Механика деформируемого твердого тела», профессора, заслуженного деятеля науки РФ, заведующего кафедрой математического моделирования систем и процессов ПермНИПУ, отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам, отмечены актуальность, новизна, достоверность полученных автором результатов и их практическая и фундаментальная ценность. В поступивших отзывах имеются замечания.

В отзыве официальных оппонентов и ведущей организации имеются следующие основные критические замечания:

1. При формулировке определяющего соотношения для приращения структурных деформаций (1.15) не указаны условия активного нагружения, при выполнении которых это соотношение справедливо, хотя при решении конкретных задач в диссертации эти условия используются.

2. Говоря о разномодульности аустенита и мартенсита необходимо указывать, какой модуль имеется в виду. Если определять модуль никелида титана по начальному участку диаграммы деформирования на стадии нагрузки, то модуль мартенсита получится в 2.5 - 3 раза меньше модуля аустенита. Если же определять модуль по начальному участку диаграммы деформирования при разгрузке, то модуль мартенсита окажется даже несколько больше модуля аустенита. Тот же результат получится, если определять значение модуля динамическим методом, измеряя квадрат частоты резонансных колебаний образца.

3. В работе явно не сказано, какая может быть ошибка при оценке максимальных напряжений из-за не учета разносопротивляемости материала по отношению к растяжению - сжатию.

В отзывах на автореферат следует отметить такие критические замечания.

1. При решении последней задачи, посвященной связанному термомеханическому анализу поведения балки из нитинола в процессе прямого мартенситного превращения под действием постоянного изгибающего момента, в используемых разрешающих соотношениях фигурирует материальная функция $f(q)$. Автором работы принято $f(q)=0$, при этом объяснение такого выбора (предположения) в тексте автореферата отсутствует.

2. В автореферате получены асимптотические оценки параметров моделей (положения нейтральной плоскости, момента), но физико-механические причины такого поведения этих функций при использовании СПФ не обсуждаются;

3. На стр. 13 автореферата в последнем абзаце указаны значения максимальной величина заданной деформации растяжения $\rho_i = 0.56$. Это противоречит теории малых деформаций и не соответствует данным, приведенным в Таблице 3.1 диссертации, где для ρ_i даны значения 0.056.

4. Представляется целесообразным более подробно рассмотреть вопрос о физических причинах разносопротивляемости. С чем связано данное свойство - с упругостью, пластичностью, фазовыми переходами? Как на этот эффект влияет распределение ориентаций кристаллитов, входящих в макрообразец?

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области. **Волков Александр Евгеньевич** имеет ученую степень доктора физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела». Его научная деятельность связана с исследованиями в области механики СПФ. За предыдущие 5 лет имеет 12 научных публикаций в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus, 4 публикации в журналах, входящих в Перечень РФ рецензируемых научных изданий. Тематика публикаций связана с направлением исследований диссертации:

1. Volkov A.E., Evard M.E., Iaparova E.N. A beam model of porous shape memory alloy deformation // Materials Today: Proceedings. 2017. Vol. 4. No. 3. Pp. 4631-4636.

2. Вьюненко Ю.Н., Кожушко В.В., Волков А.Е., Черняева Е.В. Акустическая эмиссия при термоциклировании никелида титана в условиях неравномерного нагрева // Известия Российской академии наук. Серия физическая. 2017. Т. 81. № 11. С. 1451-1457.

Нуштаев Дмитрий Владимирович имеет ученую степень кандидата технических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела». Его научная деятельность связана с исследованиями в

области механики СПФ, а также с практическим применением адаптивных материалов в медицине. За предыдущие 5 лет имеет 6 научных публикаций в изданиях, индексируемых в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus, 3 публикации в журналах, входящих в Перечень РФ рецензируемых научных изданий. Тематика публикаций связана с направлением исследований диссертации:

1. Nushtaev D.V., Zhavoronok S.I. Dynamics of martencite phase transitions in shape memory beams under buckling and postbuckling conditions // IFAC. 2018. Vol. 51. № 2. Pp. 873-878.

2. Zhuravleva I.Y., Bogachev-Prokophiev A.V., Timchenko T.P., Astapov D.A., Demidov D.P., Trebushat D.V., Mayorov A.P., Goncharenko A.M., Nushtaev D.V. A model aortic valve bioprosthesis for sutureless implantation // Biomedical Engineering. 2017. Vol. 51. No 3. Pp. 170-174.

Вышеизложенное позволяет считать, что выбор диссертационным советом этих ученых в качестве официальных оппонентов является обоснованным, соответствует Постановлению ВАК о порядке присуждения ученых степеней № 842 от 24 сентября 2013 г. и Положению ВАК о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, утвержденному приказом Министерства образования и науки РФ № 7 от 13 января 2014 г.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что в ведущей организации работают специалисты, достижения которых широко известны, в том числе и в области науки, соответствующей тематике диссертации:

1. Егоров А.В. Конечно-элементный анализ продольно сжатого стержня // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2018. Т. 4. С. 114-118.

2. Егоров А.В. Устойчивость цилиндрических оболочек в жесткой среде // Инженерный журнал: наука и инновации. 2017. Т. 9. № 69. С. 3.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика решения проблем механики СПФ в связанной и несвязанной термомеханических постановках для решения задач о прямом фазовом превращении, а также о структурных переходах в балочных и пластинчатых элементах конструкций из разносопротивляющихся СПФ;

предложены новые подходы по учету разносопротивляемости и упругой разномодульности СПФ при описании сложного термомеханического поведения изгибаемых элементов конструкций из этих материалов;

доказана применимость разработанной методики и алгоритмов для аналитических и численных расчетов напряженно-деформированного (НДС), фазового и температурного состояния балочных и пластинчатых образцов из СПФ при изгибе с учетом разносопротивляемости этих сплавов;

новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность применения модифицированной модели нелинейного деформирования СПФ при фазовых и структурных превращениях к решению задач о изгибе элементов из разносопротивляющихся СПФ. Это вносит существенный вклад в развитие методов анализа НДС элементов конструкций, содержащих адаптивные материалы;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс существующих базовых положений механики деформируемого твердого тела и общие подходы механики СПФ, а также современные пакеты математического моделирования;

изложены алгоритмы аналитического и численного решения задач механики СПФ на случай изгиба балочных и пластинчатых образцов при фазовых и структурных переходах, результаты решения соответствующих задач;

раскрыты особенности поведения элементов из СПФ, работающих на изгиб при немонотонно меняющихся напряжениях в процессе протекания фазово-структурного перехода. Установлена перегрузка внешних слоев и почти

полная разгрузка внутренних слоев в сечении балки и пластинки при прямом фазовом превращении. Отмечено существенное влияние учета структурного перехода, а также неоднородности упрочнения представительного объема СПФ на НДС при прямом превращении. Обнаружено существенное отклонение положения нейтральной плоскости от плоскости симметрии в сечениях балки и пластинки из разносопротивляющихся СПФ при изгибе;

изучены степени влияния явления разносопротивляемости растяжению и сжатию, явления разномодульности, вида материальных функций, параметров, входящих в них, начальных условий (температуры окружающей среды), а также геометрических параметров на отклик балочных и пластинчатых элементов из СПФ при изгибе;

проведена модернизация существующей нелинейной модели деформирования СПФ при фазовых и структурных превращениях на случай разносопротивляющегося материала.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены новые подходы к анализу НДС элементов конструкций из разносопротивляющихся СПФ, работающих на изгиб при различных вариантах термомеханического нагружения;

определены практически важные зависимости кривизны от изгибающего момента для процессов прямого превращения и нагружения в режиме мартенситной неупругости изгибаемых элементов из СПФ, которые позволяют формулировать и решать начальные и краевые задачи для этих элементов с учетом разносопротивляемости СПФ;

созданы подходы к решению задач механики СПФ на случай изгиба при немонотонно меняющихся напряжениях в процессе протекания фазово-структурных превращений;

представлены графики зависимости кривизны от температуры в процессе прямого термоупругого мартенситного превращения под действием постоянного изгибающего момента. Представлены эволюции эпюр

нормальных продольных напряжений и распределения параметра фазового состава в процессе прямого фазового перехода.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных положениях механики деформируемого твердого тела, общепринятых гипотезах, принимаемых при решении задач изгиба и многократно апробированной ранее модели нелинейного деформирования СПФ при фазовых и структурных превращениях;

идея базируется на аналитических методах решения термомеханических задач для элементов из СПФ, основанных на положении об активных процессах пропорционального нагружения, а также на неявной схеме пошагового численного решения связанных задач механики СПФ в приращениях;

использованы сравнения результатов численного расчета с полученными аналитическими решениями путем предельного перехода для ряда рассматриваемых в диссертационной работе задач;

установлено качественное и количественное соответствие полученных численных решений задач с аналитическими решениями в тех предельных случаях, когда такие аналитические решения удалось получить;

использованы современные программные комплексы математического моделирования.

Личный вклад соискателя состоит в постановке задач и получении новых аналитических и численных решений для случаев изгиба балочных и пластинчатых элементов из разносопротивляющихся СПФ, в обосновании их достоверности и анализе результатов моделирования. В 4-х из 5-ти статей по теме диссертации, опубликованных в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, а также в 1-й статье из базы данных Scopus, соискатель является единоличным автором.

Приведенные положения позволяют заключить, что представленная диссертация является законченным научно-квалификационным исследованием, содержащим элементы научной новизны, имеющим важное

прикладное и фундаментальное значение для развития механики СПФ и механики деформируемого твердого тела. В ней представлены новые, обоснованные результаты, что соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 5 июня 2019 года диссертационный совет принял решение присудить Сафронову П.А. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 4 доктора технических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за **18**, против **0**, недействительных бюллетеней **0**.

Председатель

Диссертационного совета Д 212.125.05

д.ф.-м.н., профессор

Тарлаковский Д.В.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 212.125.05

к.ф.-м.н., доцент

Федотенков Г.В.

И.о. начальника отдела УДС МАИ

Т.А. Аникина

06.06.2019г

