

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.05

Соискатель: Саганов Евгений Борисович

Тема диссертации: Разработка методов анализа термомеханического поведения элементов конструкций, содержащих сплавы с памятью формы, работающих на кручение

Специальность: 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: На заседании 28 декабря 2016 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертационная работа Саганова Е.Б. является законченным научно-квалификационным исследованием. Имеет важное прикладное и фундаментальное значение для развития механики сплавов с памятью формы и механики деформируемого твердого тела. Содержит элементы научной новизны, а также новые обоснованные результаты.

Диссертация соответствует требованиям п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. На заседании 28 декабря 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Саганову Е.Б. ученую степень кандидата технических наук.

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

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

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.125.05

к.ф.-м.н., доцент



Федотенков Г.В

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

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «28» декабря 2016 г. № 33

О присуждении Саганову Евгению Борисовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методов анализа термомеханического поведения элементов конструкций, содержащих сплавы с памятью формы, работающих на кручение» по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите «21» октября 2016 г., протокол № 32 диссертационным советом Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ, 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 Саганов Евгений Борисович 1990 года рождения, в 2013 году окончил с отличием Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ.

Соискатель ученой степени кандидата наук работает инженером-конструктором 1-й категории в Филиале ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого», г. Москва.

Диссертация выполнена на кафедре «Прочность авиационных и ракетно-космических конструкций» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство образования и науки РФ.

Научный руководитель – **Мовчан Андрей Александрович**, профессор, доктор физико-математических наук, профессор кафедры 603 «Прочность авиационных и ракетно-космических конструкций» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», 0.25 ст., Министерство образования и науки РФ,

главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института прикладной механики Российской Академии Наук, г. Москва.

Официальные оппоненты:

Волков Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Теория упругости» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский Государственный Университет», г. Санкт-Петербург, Министерство образования и науки РФ.

Полилов Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией безопасности и прочности композитных конструкций Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения науки Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской Академии Наук, 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, заместителем генерального директора по науке 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. 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 методов аналитического и численно-аналитического анализа термомеханических задач для элементов из СПФ. Решению данной проблемы, на случай кручения, и посвящена диссертационная работа Саганова Е.Б. В ней впервые получены решения ряда задач механики СПФ. Приведенные в диссертации результаты имеют важное прикладное и фундаментальное значение, их достоверность сомнений не вызывает.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, из которых 6 опубликованы в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК РФ. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1) Саганов Е.Б. «Решение задачи о прямом мартенситном переходе в стержне из сплава с памятью формы, находящемся под действием постоянного крутящего момента» // Механика композиционных материалов и конструкций, том 20, №3 / 2014 г., стр. 454-468.

2) Саганов Е.Б. «Решение задачи об обратном мартенситном переходе в стержне из сплава с памятью формы, находящемся под действием постоянного крутящего момента» // Механика композиционных материалов и конструкций, том 20, №4 / 2014 г., стр. 663-674.

3) Саганов Е.Б. «Анализ напряженно-деформированного состояния торсионного актуатора из сплава с памятью формы при рабочем ходе в условиях стесненного деформирования» // Вестник Московского Авиационного Института, том 22, №1 / 2015 г., стр. 109-116.

4) 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: физико-математические науки, том 157, №3 / 2015 г., стр. 97-110.

5) Саганов Е.Б. «Решение дважды связанной задачи кручения тонкостенных трубок из сплава с памятью формы в режиме сверхупругости» // Механика композиционных материалов и конструкций, том 21, №4 / 2015 г., стр. 549-563.

б) Саганов Е.Б. «Моделирование процессов фазовых и структурных переходов при кручении тонкостенных трубок из сплава с памятью формы» // Машиностроение и инженерное образование, №1 / 2016 г., стр. 2-9.

В приведенных работах соискателя представлены разработанные им методы анализа термомеханического поведения элементов конструкций, содержащих СПФ, работающих на кручение. Рассмотрена задача об изотермическом кручении трубок из СПФ в режиме мартенситной неупругости с учетом упругих деформаций. В однократно связанной термомеханической постановке решены задачи о прямом и обратном термоупругом мартенситном фазовом превращении, протекающем в стержнях из СПФ под действием постоянного крутящего момента. Рассмотрена задача об обратном мартенситном превращении в стержне из СПФ при переменном крутящем моменте. Данная задача моделирует рабочий ход привода из СПФ. Изучено влияние структурного перехода на получаемые результаты моделирования, получены зависимости крутки от температуры и крутящего момента. Решена дважды связанная задача кручения тонкостенных трубок из СПФ. Изучено влияние скорости нагружения, диссипативных эффектов, выделения и поглощения латентного тепла фазового перехода, температуры окружающей среды и теплообмена с ней на термомеханический отклик трубок из СПФ.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от ведущей организации **Открытое Акционерное Общество Национальный институт авиационных технологий (НИАТ)**, г. Москва, подписанный доктором

технических наук, профессором, заместителем генерального директора по науке ОАО НИАТ Егоровым В.Н., утвержденный доктором технических наук, профессором, генеральным директором ОАО НИАТ Плихуновым В.В., отзыв положительный;

от официального оппонента, **Волкова Александра Евгеньевича**, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры «Теория упругости» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Государственный Университет», г. Санкт-Петербург, Министерство образования и науки РФ, заверенный исполняющим обязанности начальника отдела кадров №3 Константиновой И.И., отзыв положительный;

от официального оппонента, **Полилова Александра Николаевича**, доктора технических наук, профессора, заведующего лабораторией безопасности и прочности композитных конструкций ФГБУН института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, заверенный заместителем директора по управлению персоналом ФГБУН института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г. Москва, Петюковым Э.Н., отзыв положительный;

от Старовойтова Э.И., доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой «Строительная механика» **Белорусского государственного университета транспорта**, г. Гомель, заверенный старшим инспектором ОК Халашовой Т.В., отзыв положительный;

от Данилова В.Л., доктора технических наук, профессора, профессора кафедры «Прикладной механики» **Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет им. Н.Э. Баумана (НИУ)»**, г. Москва, заверенный заместителем начальника управления кадров МГТУ им. Н.Э. Баумана Матвеевым А.Г., отзыв положительный;

от Загордана А.А., кандидата технических наук, руководителя группы конструкции планера и ресурса, проектно-конструкторского отдела, инженерного центра, службы технической политики, филиала **Общество с ограниченной ответственностью «Авиакомпания Волга-Днепр»**, г. Москва, заверенный руководителем группы кадрового делопроизводства ООО «Авиакомпания Волга-Днепр» Миллером О.В., отзыв положительный;

от Калинин В.В., доктора физико-математических наук, профессора, заместителя председателя **Южного научного центра Российской Академии Наук (ЮНЦ РАН)**, г. Ростов-на-Дону, заверенный кандидатом биологических наук, ученым секретарем ЮНЦ РАН Булышевым Н.И., отзыв положительный;

от Нуштаева Д.В., кандидата технических наук, инженера отдела проектирования и инженерного анализа **Общество с ограниченной ответственностью «Тесис»**, г. Москва,

заверенный генеральным директором ООО «Тесис» Курсаковым С.Н., отзыв положительный;

от Семенова В.Н., доктора технических наук, профессора ФАЛТ МФТИ, главного научного сотрудника **Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Э. Жуковского»**, г. Жуковский, заверенный доктором технических наук, профессором, ученым секретарем диссертационного совета ДС 403.005.01 ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт им проф. Н.Э. Жуковского» Чижовым В.М., отзыв положительный;

от Соловьева А.Н., доктора физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой «Теоретическая и прикладная механика» **Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)**, г. Ростов-на-Дону, заверенный ученым секретарем Ученого Совета ДГТУ Анисимовым В.Н., 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 ведущей организации ОАО НИАТ имеется пять замечаний:

1. Во введении к диссертации почему-то много внимания уделено явлению обратимой памяти формы аустенитного и мартенситного типа. Это вызывает удивление, поскольку в самом тексте диссертации собственно явление обратимой памяти формы не рассматривается.

2. Основное содержание диссертации сводится к разработке методов и получению решений задач термомеханики СПФ при кручении. В таких условиях первая (обзорная) глава работы должна была бы содержать обзор работ по решению задач кручения для элементов из СПФ. В данной диссертации обзорная глава содержит лишь данные по системам определяющих соотношений для СПФ, краевые задачи в ней вообще не упоминаются. Обзорные данные по краевым задачам почему-то помещены во введение к диссертации. Следовало бы перенести обзорные части по краевым задачам в первую обзорную главу работы.

3. В разделе 2 установлено, что ошибка в случае пренебрежения упругим деформациями при решении задачи о кручении в режиме мартенситной неупругости растет с ростом величины напряжений. Однако, качественное объяснение этого результата отсутствует.

4. Довольно странно звучит вывод №7 третьей главы диссертации: "Показано, что с уменьшением толщины трубки из СПФ уменьшается накаливаемая неупругая деформация на момент окончания ПМП в совокупности с повышением температуры его окончания". Казалось бы, при уменьшении толщины трубки при прочих равных условиях растут напряжения и деформация также должна возрастать!

5. В работе решен ряд задач о поведении тонкостенных трубок из СПФ, претерпевающих прямые или обратные фазовые превращения под действием крутящих моментов. При этом может произойти потеря устойчивости соответствующей оболочки. Однако о такой возможности в тексте диссертации даже не упоминается.

Замечания в отзыве официального оппонента А.Н. Волкова:

1. Диссертация посвящена решению краевых задач для тел из СПФ, однако в обзоре примеры таких решений отсутствуют.

2. На с.16 в порядке критики модели К. Танаки высказано утверждение «Очевидно, что в рамках соотношения (1.7) деформация, накапливаемая за процесс ПМП, не зависит от величины приложенного напряжения». Это неверно, так как тензоры Θ и Ω могут зависеть от напряжения.

3. На с.5 сказано, что «наиболее перспективными устройствами с точки зрения величины обратимой деформации являются механизмы, работающие на кручение». Это – явное преувеличение. Многие успешные приложения используют элементы, работающие на растяжение.

4. Кривые $s(\gamma)$ на рис.2.2-2.7 при одинаковом значении g_M не должны зависеть от σ_0 , поскольку σ_0 входит в формулу 2.12 (по которой строятся эти кривые) только через соотношение $g_M = G_M / \sigma_0$. Поэтому, расхождение зависимостей $s(\gamma)$, построенных при одинаковых G_M мало и ощутимо только при больших напряжениях. Нужно было это явно отметить в тексте, а вместо 6-ти графиков привести 2, показывающих зависимость $s(\gamma)$ от α .

5. Не удивительно, что рисунки 2.11, 2.14, 2.17 в точности совпадают (то же самое относится к группам рисунков 2.12, 2.15, 2.18 и 2.13, 2.16, 2.19), поскольку именно для этого и вводятся безразмерные переменные. Можно было бы сразу сказать об этом и не приводить излишние рисунки.

6. Влияние вида распределения F_1 стоило бы показать на зависимостях $\gamma(\mu)$ при $q=1$, но такие графики не приведены.

7. На с.52 при исследовании зависимости решения от функции $f(q)$ варьировали только параметр f_c , а f_a и f_b не варьировались. Тем не менее, сделан вывод, что влияние функции $f(q)$ незначительно. Но это только при данных значениях f_b .

8. В разделе 4.1 исследуется процесс обратного превращения при постоянном напряжении, которое совпадает с напряжением, действовавшим при предшествующем прямом превращении. При этом утверждается, что данный процесс моделирует рабочий ход активного элемента привода. На самом деле, часто напряжение, действующее при нагреве, больше того, которое действовало ранее при охлаждении (тогда привод совершает работу больше, чем ранее затраченная). При нагреве в таких условиях наблюдается немонотонная зависимость деформации от температуры. В диссертации такое явление не моделируется и не обсуждается.

9. На с.114 утверждается: «Так как в случае изотермического нагружения образца из СПФ в режиме сверхупругости справедливо положение об АППН, то соотношения (5.6-5.8) можно представить в виде конечного алгебраического уравнения, которое имеет следующий вид: $\gamma^{phst} = \rho_{dq} F_1(\sqrt{3}\tau)$ ». Однако, из предыдущих рассуждений ясно, что данная величина представляет собой $\int d\gamma^{ph}$, тогда она должна равняться $\int (d\gamma^{ph} + d\gamma^{st})$. Таким образом, автор фактически пренебрегает здесь вкладом структурного перехода, а учитывает только фазовый.

10. Не выдержана единая система обозначений. Например, t_0 в формулах (4.53), (4.64) обозначает разные величины, а на с. 123 имеет уже третий смысл. На с. 21 в формуле (1.30) символ Δ означает в разных случаях то приращение, то лапласиан, причем дальше следует неверное разъяснение, что ΔT это «градиент температуры».

11. В диссертации часто используется термин «актуатор». Это чистая калька с английского. Вместе с тем в русской литературе уже имеется принятый термин «привод».

12. Имеется очень большое количество опечаток, неточностей и недостатков оформления. Наиболее значительными являются следующие.

(а) неудачные выражения: «двоеточие – суммирование по повторяющемуся индексу» (с.15), «внешнее напряжение» (с.4, 15, 41, 109, и т.д.), «нейтральная линия» (цилиндра) (с.49,58,65 и т.д.), нейтральная ось стержня (с.55, 80);

(б) в работах [92-94] описаны не микромеханические (как утверждается в тексте), а макроскопические модели (с.14);

(в) « μ соответствует упругой крутке крайнего волокна» - крутка относится ко всей трубке, а не к какому-то волокну (с.42);

(г) на с.46 встречается термин «тензор структурных деформаций», хотя модель не допускает разбиение тензора фазово-структурных деформаций на отдельные тензоры фазовых и структурных деформаций;

(д) опечатки в формулах (2.10), (5.4);

(е) «Как видно из рисунков 3.18, 3.19...» - из рис. 3.18 вообще ничего не видно, а из рис. 3.19 почти ничего не видно, к тому же не указана последовательность следования эпюр (с.52);

(ж) «Однако решение в предположение о равномерном распределении параметра фазового состава по сечению стержня может быть использовано для подтверждения достоверности приведенных в данной главе результатов, так как данное решение имеет аналитическую форму записи» (орфография автора) – трудно проследить логику этого утверждения (с.70).

Замечание в отзыве официального оппонента А.Н. Полилова:

1. Обращает внимание, что автор недостаточно четко разделяет объект (никелид титана и др. СПФ) и предмет (уточненные модели прямого и обратного мартенситного перехода) исследования. Они не всегда обязаны совпадать. Сам данный сплав (и другие, ему подобные) могут обладать такими тонкими особенностями неизотермического поведения, которые не учтет ни одна модель. И в то же время разработанные методы анализа относятся именно к возможности работать со сложными, неоднозначными диаграммами деформирования, и в этом смысле предмет «шире» объекта. В основных выводах, однако, всё время просматривается предсказание поведения объекта, следующее из сложных построенных зависимостей. Но это – лишь результат компьютерного моделирования. Можно ожидать, что реальный объект поведет себя подобным образом, но обоснование такого рода эффектов есть задача и результат отдельных специальных экспериментов, которые в работе лишь упоминаются.

2. В качестве модельных элементов конструкции в работе выбраны лишь тонко- и толстостенные трубы (в пределе – сплошные стержни). При их кручении не возникает депланации сечения и предполагается линейный рост деформаций по толщине стенки. Хотелось бы, чтобы автор уточнил: такие допущения принципиально ограничивают класс объектов или выбраны только для упрощения и без того достаточно сложной задачи? Какие принципиальные изменения в алгоритмах решения потребуются при дальнейшем отказе от этих гипотез для стержней другого сечения?

3. Все главы (2-4) состоят фактически из трех разделов, посвященным тонкостенным трубам с постоянной деформацией, толстостенным трубам и сплошным стержням (как частному случаю толстостенной трубы). А в главе 5 автор остановился лишь на тонкостенном приближении. Естественно, тонкостенная труба наиболее эффективна, если исключить потерю устойчивости при кручении (которая в работе не упоминается), но следовало бы пояснить: более общая постановка задачи, сформулированная в главе 5, применима к случаю неоднородной деформации в

толстостенной трубе или в стержне? Примененное ограничение связано лишь с необходимостью допустимого упрощения или оно принципиально, и явление сверхупругости не может быть описано для более сложных, чем тонкостенная трубка, объектов?

4. В решении ряда рассматриваемых задач фигурирует интегральная функция F_1 распределения интенсивности микронапряжений в аустенитном фазовом состоянии, при этом в работе не отмечено, каким образом подбирается вид данной функции. Использование статистических разбросов локальных свойств сплавов на основе распределений типа Вейбулла (или Гаусса, или Пуассона, или Лапласа и т.д.) позволяет объяснить и качественно описать некоторые особенности поведения (в частности, масштабный эффект). Но принципиальным камнем преткновения всех статистических гипотез является вопрос выбора характерного размера структуры (это не зерно, не кристаллит, не волокно, а некоторый феноменологический параметр), а также – вопрос определения локальных (случайных) свойств. В работе строятся серии зависимостей для разных параметров распределения Вейбулла, но не обсуждается сложная проблема их экспериментальной идентификации.

5. При рассмотрении задачи о мартенситной неупругости для толстостенных трубок отмечено, что кривые мартенситной неупругости и эпюры напряжений, полученные для разных значений параметра α , но одного значения σ_0 пересекаются в одной точке, соответствующей значению безразмерных напряжений $s = \sigma_0$. Утверждение сильное, но не дано качественное объяснение данного явления.

6. При рассмотрении задачи о сверхупругом поведении тонкостенной трубки из СПФ при кручении считается, что происходит свободный конвективный теплообмен с окружающей средой, но в реальных условиях эксплуатации это трудно осуществить. Каким образом можно учесть вынужденную конвекцию с воздухом?

7. Чисто редакционно. В автореферате на рисунках приведены (как обычно и делается) те же серии рассчитанных зависимостей, что и в тексте диссертации. Но если в диссертации они уместны и подробно обсуждаются, то в автореферате рисунки 2, 4, 7, 8, 10, 11 выглядят явно перегруженными кривыми, число которых для прояснения качественной картины можно было бы сократить вдвое. Тем более, что подписей к рисункам нет, и краткие пояснения приходится искать в тексте. (Пункты (1.3, 3.2, etc.) иногда называются разделами, иногда параграфами, что несколько смущает неискушенного читателя.)

Замечания в отзыве на автореферат диссертации, поступившем от Старовойтова Э.И. отсутствуют.

Замечания в отзыве на автореферат диссертации, поступившем от Данилова В.Л.:

1. Представляются излишними термины «интенсивность кристаллографической деформации», «интенсивность микронапряжений».

2. Затруднено чтение схемы алгоритма решения задачи в силу ее малости.

Замечания в отзыве на автореферат диссертации, поступившем от Загордана А.А.:

1. В работе упоминается применение СПФ в качестве элементов управления аэродинамическими поверхностями ЛА, а также силовозбудителей крутящего момента, однако подробного описания не приведено. Представляется важным рассмотреть примеры подобного применения и проанализировать их преимущества и недостатки.

Замечания в отзыве на автореферат диссертации, поступившем от Калинчука В.В.:

1. При рассмотрении задачи о прямом термоупругом мартенситном превращении, протекающем в тонкостенной трубке из СПФ, в качестве функции F_1 выступает как распределение Лапласа, так и экспоненциальное распределение. При этом не обсуждаются причины рассмотрения двух вариантов функции F_1 и каким образом определяются параметры, входящие в данные функции.

2. При решении задачи о прямом термоупругом мартенситном фазовом превращении в цилиндрических стержнях из СПФ под действием постоянного внешнего крутящего момента, принято, что функция $f(q)$, которая отвечает за отношение вклада в макроскопическую деформацию фазово-структурную деформацию процессов зарождения и развития мартенситных элементов, принята равной нулю. Объяснение данного положения в тексте автореферата отсутствует.

Замечания в отзыве на автореферат диссертации, поступившем от Нуштаева Д.В.:

1. Ряд аналитических решений получен в диссертации с использованием положения об активных процессах пропорционального нагружения, однако в автореферате отсутствует обоснование применимости этого положения к решению поставленных задач.

2. В диссертационной работе рассмотрено два механизма накопления неупругой деформации (мартенситная неупругость и прямое превращение при фиксированном крутящем моменте), которая будет сниматься при последующем нагреве (обратное превращение), однако в тексте автореферата не отмечено, какой процесс предшествовал нагреву элемента из СПФ.

3. При решении задач автор использует ряд констант материала (например, константа a), оказывающих существенное влияние на конечный результат вычислений.

Однако описания их физического смысла и рекомендации по выбору числовых значений применительно к используемой марке СПФ, в автореферате отсутствуют.

4. В автореферате не объяснена причина образования остаточных деформаций в дважды связанной задаче кручения трубок из СПФ в режиме сверхупругости для конечных значений скоростей нагружения/разгрузки. За счет введенных условий естественной конвекции, температура трубки достигает исходных значений, что приведет к завершению обратного мартенситного превращения и, как следствие, возвращению накопленной деформации.

Замечания в отзыве на автореферат диссертации, поступившем от Семенова В.Н.:

1. Неизотермические задачи, рассмотренные автором, решаются в связанной термомеханической постановке, при этом в автореферате нет сравнений результатов моделирования с данными, полученными при решении соответствующих задач в несвязанной постановке.

2. В автореферате не представлены эскизы и конструкции, для которых проведены соответствующие исследования. Также в автореферате не представлены данные об ожидаемых характеристиках приводных устройств, использующих СПФ: их габариты, масса, развиваемые усилия, температурные режимы работы, и сопоставимые данные по классическим устройствам.

Замечания в отзыве на автореферат диссертации, поступившем от Соловьева А.Н.:

1. Ряд приведенных решений в тексте автореферата имеют аналитический вид в силу выполнения положения об активных процессах пропорционального нагружения. Однако, данное положение в тексте автореферата не сформулировано.

2. Из текста автореферата остается не ясным, каким образом подбираются параметры интегральных функций F_1 и F_2 , а также какому из ряда СПФ эти параметры соответствуют.

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 3 научных публикации 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. Беляев Ф.С., Волков А.Е. Влияние взаимодействия вариантов мартенсита на обратимую фазовую деформацию в сплавах с памятью формы // Механика композиционных материалов и конструкций. 2015. Т. 21. №2. С. 190-196.

2. Volkov A.E., Emelyanova E.V., Evard M.E., Volkova N.A. An explanation of phase deformation tension-compression asymmetry of TiNi by means of microstructural modeling // Journal of alloys and compounds. 2013. Т. 57. С. 5127-5130.

3. Chernyaeva E.V., Volkov A.E., Galkin D.I., Bigus G.A., Merson D.L., Bystrova N.A. Evaluation of the condition of a metal using the acoustic-emission method: prospects and problems // Russian journal of nondestructive testing. 2013. Т. 49. №3. С. 131-139.

Полилов Александр Николаевич имеет ученую степень доктора технических наук по специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры». Его научная деятельность связана с исследованиями в области механики деформируемого твердого тела. За предыдущие 5 лет имеет 8 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 в основном связана с направлением исследований диссертации:

1. Polilov A.N., Malakhov A.V. Design of composite structures reinforced curvilinear fibres using fem // Composites part A: Applied science and manufacturing. 2016, Т. 87, С. 23-28.

2. Polilov A.N. Mechanisms of stress concentration reduction in fiber composites // Journal of applied mechanics and technical physics. 2014. Т. 55, №1, С. 154-163.

3. Полилов А.Н., Татусь Н.А. Экспериментальное обоснование критериев прочности волокнистых композитов, проявляющих направленный характер разрушения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2012. №2. С. 140-166.

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, на соискание ученой степени доктора 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. Тимиркеев Р.Г., Ицкович А.А. Методика ускоренных испытаний на долговечность трубопроводов гидро-систем летательных аппаратов // Научный вестник московского государственного технического университета гражданской авиации. 2015. № 219(9). С. 110-114.
2. Плихунов В.В., Герасименко А.В., Лысенков Ю.Т, Слепцов А.О., Меркин С.А. Изготовление высокоэффективных титановых конструкций балочного типа с использованием электронно-лучевой сварки // Новости материаловедения. Наука и техника. 2014. №5. С. 1.
3. Петров Л.М., Плихунов В.В. Структурные изменения поверхностного слоя конструкционных материалов в процессе вакуумной ионно-плазменной обработки // Авиационная промышленность. 2011. № 3. С. 13-16.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны комплекс новых методов решения проблем механики СПФ в различных (несвязной, однократно связной, дважды связной) термомеханических постановках для решения задач о прямом и обратном фазовых превращениях, а также структурных переходах в цилиндрических, толстостенных и тонкостенных трубчатых элементах из этих сплавов, находящихся под действием постоянных и меняющихся крутящих моментов;

предложены новые подходы к описанию сложного термомеханического поведения элементов конструкций из СПФ при кручении в случае немонотонно меняющихся напряжений, учитывающие движение по материалу границ начала и окончания прямого и обратного фазового перехода, условие осуществления структурного превращения, переменность упругих модулей СПФ при термоупругих мартенситных превращениях, влияние действующих напряжений на характерные температуры фазовых переходов, обратное влияние выделения и поглощения латентного тепла фазовых переходов на температурный режим, диссипативные эффекты;

доказана применимость разработанных методов и алгоритмов для аналитических и численных расчетов напряженно-деформированного (НДС), фазового и температурного состояния цилиндрических образцов из СПФ при кручении;

новые понятия не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность применения модели нелинейного деформирования СПФ при фазовых и структурных превращениях к решению задач кручения цилиндрических

образцов из СПФ при фазовых и структурных превращениях, что вносит существенный вклад в развитие методов анализа НДС элементов конструкций, содержащих эти сплавы;

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 кручения цилиндрических образцов при фазовых и структурных переходах, результаты решения соответствующих задач;

раскрыты особенности поведения элементов из СПФ, работающих на кручение при монотонно и немонотонно меняющихся напряжениях в процессах протекания фазово-структурных переходов, явление перегрузки внешних слоев и почти полной разгрузки внутренних слоев стержня при прямом фазовом превращении, явление генерации максимальных реактивных напряжений во внутренних слоях стержня при обратном превращении, существенное влияние учета структурного перехода на НДС при прямом или обратном превращении;

изучены степени влияния вида материальных функций, параметров, входящих в них, начальных условий (температуры окружающей среды), а также геометрических параметров на отклик цилиндрических и трубчатых элементов из СПФ при кручении;

проведена модернизация существующих линейных моделей анализа НДС элементов конструкций из СПФ, работающих на кручение.

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

разработаны новые подходы к анализу НДС элементов конструкций из СПФ, работающих на кручение при различных вариантах термомеханического нагружения;

определены основные практически важные зависимости функциональных свойств и характеристик рабочих тел силовозбудителей крутящего момента от их геометрических размеров и материальных параметров используемого для их изготовления СПФ, что позволит рационально проектировать устройства соответствующих приводов;

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

представлены графики зависимости крутки от температуры, а также крутки от крутящего момента в случае прямого и обратного термоупругого мартенситного превращения под действием постоянного и меняющегося (для обратного превращения)

крутящего момента, эволюции в процессе фазовых переходов эпюр касательных напряжений, графики, описывающие распределение по материалу и изменения с температурой значений параметра объемной доли мартенситной фазы, процесс движения по материалу границ начала и окончания фазовых переходов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных положениях механики деформируемого твердого тела, общепринятых гипотезах, принимаемых при решении задач кручения 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 явных и неявных схемах 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 связанных 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 и получении новых аналитических и численных решений связанных задач механики СПФ для случая кручения, обосновании их достоверности и анализе результатов моделирования. В 5 из 6 статей по теме диссертации, опубликованных в журналах, входящих в перечень ВАК РФ, соискатель является единоличным автором.

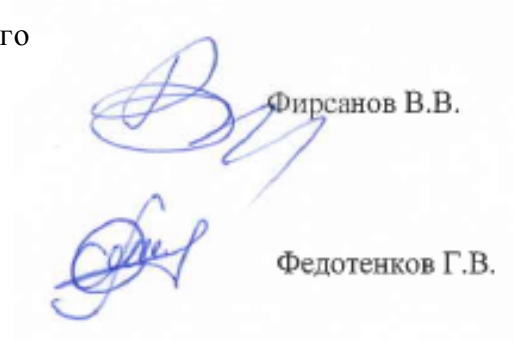
Приведенные положения позволяют заключить, что представленная диссертация является законченным научно-квалификационным исследованием, содержащим элементы научной новизны, имеющим важное прикладное и фундаментальное значение для развития механики СПФ и механики деформируемого твердого тела. В ней представлены 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 28 декабря 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Саганову Е.Б. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов 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.

Заместитель председателя диссертационного
совета Д 212.125.05 д.т.н., профессор

Ученый секретарь диссертационного
совета Д 212.125.05 к.ф.-м.н., доцент



Фирсанов В.В.

Федотенков Г.В.