

Проректору по научной работе,
д.т.н., профессору Ю.А. Равиковичу

125993 г. Москва, А-80, ГСП-3

Волоколамское шоссе, д.4

ФГБОУ ВО Московский авиационный
институт (национальный исследовательский
университет)

Уважаемый Юрий Александрович!

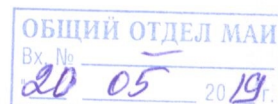
Направляем Вам отзыв ОАО «Национальный институт авиационных технологий» (НИАТ) как ведущей организации по диссертации Сафронова Павла Андреевича на тему «Описание процесса деформирования изгибаемых элементов из сплава с памятью формы с учетом разносопротивляемости материала», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Приложение: Отзыв в 2-х экземплярах.

Первый заместитель генерального
директора ОАО НИАТ,
д.т.н., профессор,



В.В. Плихунов



УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель генерального
директора ОАО «НИАТ»,

д.т.н., профессор

Чихунов В.В.

29 апреля 2019



ОТЗЫВ

Отзыв ведущей организации на диссертацию Сафронова Павла Андреевича на тему «Описание процесса деформирования изгибаемых элементов из сплава с памятью формы с учетом разносопротивляемости материала», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы и цель диссертационной работы

Среди многих уникальных термомеханических свойств сплавов с памятью формы (СПФ) необходимо отметить так называемую «разносопротивляемость» этих материалов, то есть зависимость процессов деформирования СПФ от вида напряженного состояния. В настоящее время происходит интенсивное экспериментальное исследование этого эффекта. Подробно изучено свойство «разносопротивляемости» для процессов деформирования в режимах мартенситной неупругости и сверхупругости. Недавно получены важные экспериментальные результаты по влиянию вида напряженного состояния на процесс накопления деформаций прямого превращения в СПФ. Согласно полученным экспериментальным данным эта зависимость для СПФ весьма существенна, степень «разносопротивляемости» СПФ гораздо выше, чем для других конструкционных или функциональных материалов. Однако, в известных публикациях, посвященных разработке методов математического (аналитического и численного) моделирования поведения элементов конструкций и устройств, содержащих СПФ, явление разносопротивляемости часто не учитывается. Особенно актуальной и сложной задачей является разработка методов учета «разносопротивляемости» при решении задач изгиба для элементов из СПФ, поскольку в этих задачах вид напряженного состояния различных деформируемых объемов одного и того же элемента кардинально различен, а граница между этими областями заранее не известна и изменяется в процессе нагружения или фазового перехода. Рецензируемая диссертация посвящена актуальной проблеме

разработки методов учета «разносопротивляемости» при решении задач изгиба элементов из СПФ.

Целью диссертации является разработка методов расчета напряженно - деформированного и фазового состояния работающих на изгиб балок и деформируемых по схеме цилиндрического изгиба пластин из СПФ, материал которых претерпевает прямое термоупругое мартенситное фазовое превращение или нагружается в режиме мартенситной неупругости. Разрабатываемые методы должны учитывать влияние вида напряженного состояния, как на процессы деформирования СПФ, так и на процессы происходящих в СПФ фазовых переходов.

Перспективным направлением практического использования СПФ является создание из этих материалов работающих на изгиб длинномерных и тонкостенных элементов, которые обладают высокими кинематическими возможностями и могут использоваться для создания рабочих тел актуаторов и поверхностей изменяемой геометрии. Поэтому разработка методов адекватного расчета процессов деформирования таких элементов, проведенная в ходе работы над диссертацией, имеет большое прикладное значение. Полученные в ней результаты могут быть использованы 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.

Научная новизна

В диссертации предложено распространение известной системы определяющих соотношений модели нелинейного деформирования СПФ на случай учета эффектов «разносопротивляемости». В рамках этой модифицированной системы определяющих соотношений впервые в различных постановках (связанной и несвязанной, с учетом и без учета упругих деформаций, с учетом и без учета разномодульности) получены решения задач о мартенситной неупругости и накоплении деформаций прямого превращения в балке и пластинке (цилиндрический изгиб) с учетом разносопротивляемости СПФ. Впервые описана зависимость смещения нейтральной плоскости соответствующих элементов от действующей нагрузки или величины параметра фазового состава. Впервые показано, что неучет «разносопротивляемости» СПФ ведет к существенным ошибкам при решении задач изгиба для этих материалов.

Достоверность

Описание «разносопротивляемости» СПФ, построенное в работе, основано на экспериментальных данных, полученных в опытах по мартенситной неупругости и накопления деформации прямого превращения, проведенных на образцах из никелида титана. Разрешающие соотношения решений, полученных в постановках, трактуемых в диссертации как несвязанные, сводились к системам двух, трех или четырех нелинейных алгебраических уравнений, так что полученные решения можно считать аналитическими, т.е. их достоверность легко проверяется. Достоверность численного решения связанной задачи подтверждена фактом сходимости этого решения при стремлении параметра, характеризующего связанность к нулю, к решению несвязанной задачи.

Рецензируемая диссертация изложена на 121 странице, состоит из введения, 3 глав, заключения и списка литературы, состоящего из 118 наименований.

Первая глава содержит обзор различных экспериментальных данных по зависимости процессов деформирования СПФ от параметров вида напряженного состояния. Там же проанализированы известные феноменологические модели поведения СПФ, направленные на учет явления «разносопротивляемости» и соответствующие системы определяющих соотношений. Обоснован выбор в качестве единственного параметра вида напряженного состояния для описания "разносопротивляемости" СПФ величины, пропорциональной отношению третьего инварианта девиатора напряжений к кубу интенсивности напряжений.

Вторая глава посвящена решению задач о деформировании балок и пластин (случай цилиндрического изгиба) из СПФ в режиме мартенситной неупругости (нагружение монотонно возрастающим изгибающим моментом в полностью мартенситном фазовом состоянии). Такого типа нагружения часто используются для задания элементам из СПФ начальной деформации, которая впоследствии должна сниматься на этапе нагрева и обратного превращения. Получены решения, как в рамках жестко – фазово – структурного анализа, так и с учетом упругих деформаций. В последнем случае, помимо «разносопротивляемости» учтен эффект «разномодульности». Исследована зависимость координаты нейтральной плоскости от величины изгибающего момента. Получены зависимости кривизны от изгибающего момента, необходимые для решения краевых задач изгиба балок и пластин из СПФ при их нагружении в режиме мартенситной неупругости. Возможность решения таких краевых задач продемонстрирована на примере задачи консольного изгиба под действием монотонно возрастающей поперечной силы.

В главе 3 приведены алгоритмы решения задач изгиба балок и цилиндрических пластин из СПФ, материал которых претерпевает прямое термоупругое фазовое превращение под действием постоянного изгибающего момента. Эффект накопления деформаций прямого превращения наряду с процессом мартенситной неупругости часто используется для задания элементам из СПФ начальной неупругой деформации, особенно в актуаторах многократного действия. В первой части раздела получены решения модельных задач для балок и пластин из СПФ, в предположении о равномерном распределении по материалу в каждый момент времени величины объемной доли мартенситной фазы. Такие постановки задач трактуются в диссертации как несвязанные, поскольку величина объемной доли мартенситной фазы в данном случае является параметром процесса и влияние действующих напряжений на эту величину не учитывается. Рассмотрены как случай жестко – фазово – структурного анализа, так и случай учета упругих деформаций. Установлено, что в случае пренебрежения упругими деформациями напряженное состояние и положение нейтральной плоскости не зависит от величины параметра фазового состава, то есть не меняется в процессе фазового перехода.

Во второй части раздела численно решена соответствующая связанная задача в предположении о равномерном распределении по материалу в каждый момент времени температуры, что соответствует медленным процессам фазового перехода. В этом решении учитывается влияние на процесс фазового перехода не только температуры, но и интенсивности действующих напряжений и параметра вида напряженного состояния. Таким образом, учитывается не только влияние вида напряженного состояния на процесс деформирования, но и на сам ход фазового превращения. Исследовано движение по материалу границ начала и завершения фазовых переходов, изменение при фазовом переходе положения нейтральной плоскости и эпюр напряжений, являющихся несимметричными. Показано, что неучет разнсопротивляемости СПФ существенно меняет решение задач изгиба при фазовых переходах.

Результаты, полученные в каждом разделе работы кратко изложены в выводах, содержащихся в конце соответствующего раздела. Кроме того, имеется общее заключение по всей диссертации.

Замечания по работе

1. Основная цель диссертации состояла в разработке методов аналитического и численного решения задач о деформировании изгибных элементов из СПФ с учетом «разнсопротивляемости» этих материалов. Однако обзорная (первая) глава работы не содержит данных о публикациях, посвященных этой тематике (она посвящена обзору

экспериментальных исследований эффектов «разносопротивляемости» СПФ и соответствующих систем определяющих соотношений). Обзор по методам и результатам решения таких краевых задач помещен, почему – то во введение (пункт «Степень разработки темы исследований»). Содержание этого обзора следовало бы перенести в первую главу работы.

2. В тексте диссертации довольно странно сформулированы кинематические гипотезы теории изгиба балок: «Принимаются обычные кинематические гипотезы Бернулли-Эйлера (касательные и поперечные нормальные напряжения считаются малыми)». Во-первых, здесь сформулированы не кинематические, а статические гипотезы. Во-вторых, статические гипотезы относительно касательных напряжений сводятся к тому, что эти напряжения не учитываются в определяющих соотношениях, но учитываются в уравнениях равновесия.

3. 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.

4. В тексте диссертации, связанном с постановкой решаемых задач, следовало бы оговорить, что все задачи в данной диссертации решаются в геометрически линейной постановке, т.е. предположении о малых деформациях и неучете различия между начальной и актуальной конфигурациями. Такие оговорки в тексте отсутствуют.

5. В тексте диссертации постановки задач, в рамках которых предполагается равномерное распределение параметра фазового состава по материалу трактуются как несвязанные. Однако, с использованием уравнения (1.16), приведенного в тексте диссертации и связывающего параметр фазового состава с температурой и напряжениями, легко подобрать такое распределение температуры по материалу, которое обеспечит в рамках связанной постановки задачи равномерное распределение по материалу параметра фазового состава. Поэтому полученное решение можно трактовать как решение полуобратным методом задачи в связанной постановке, соответствующее именно такому распределению температуры.

6. В тексте диссертации имеются опечатки. Так, на стр. 51 есть ссылки на рис. 6а и 6б, которые отсутствуют в тексте. В формуле (2.6) функция F должна зависеть от модуля напряжения, а не от самого напряжения.

Заключение

Рассмотренная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научно - техническая проблема. Новизна

полученных результатов, их достоверность и практическое значение сомнений не вызывают. Сформулированные замечания относятся больше к форме изложения, а не к сути проделанной работы и не изменяют общего положительного отношения к диссертации. В 12 публикациях автора работы ее содержание изложено достаточно подробно. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Таким образом, рецензируемая диссертация удовлетворяет всем критериям, установленным Положением «О порядке присуждения учёных степеней», а ее автор, Сафронов П.А. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Диссертация Сафронова П.А. обсуждена и одобрена на заседании НТС ОАО НИАТ 25 апреля 2019 г., протокол № 5.

Отзыв составил:

Начальник отдела,

к.т.н.



Румянцев Ю.С.

Подпись Румянцева Ю.С. удостоверяю

Директор по науке – ученый секретарь ОАО НИАТ

д.т.н., профессор



Егоров В.Н.

Контактные данные организации: Открытое акционерное общество "Национальный Институт Авиационных Технологий" (ОАО НИАТ):

117587, Россия, Москва, Кировоградская ул., д. 3

Телефон: +7 (495) 311-72-15

Факс: +7 (495) 312-30-27

E-mail: info@niat.ru

Официальный сайт: <http://www.niat.ru>