

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

САФРОНОВ Павел Андреевич

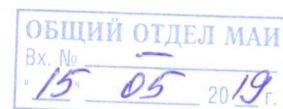
«ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ СПЛАВА С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ С УЧЕТОМ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЕМОСТИ МАТЕРИАЛА»

**на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела**

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ И СООТВЕТСТВИЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Развитие перспективной техники базируется на широком применении функциональных материалов с управляемыми физико-механическими свойствами. Одним из практически важных классов функциональных материалов является семейство сплавов и полимеров с эффектом памяти формы (СПФ). Уникальные свойства двухкомпонентных металлических сплавов с памятью связаны с происходящими в них фазовыми и структурными превращениями, вызванными взаимовлиянием действующих механических напряжений, температурных, электромагнитных и иных полей. По мере исследования СПФ выявляются новые, все более сложные особенности термомеханического поведения, в частности, влияние вида напряженного состояния на процесс деформирования материала. Создание расчетных методик и решение соответствующих краевых задач, учитывающих особенности поведения СПФ, является актуальной задачей, способствующей более точной оценке поведения элементов конструкций, выполненных из СПФ.

Таким образом, тема диссертационной работы соискателя Сафронова Павла Андреевича является **актуальной и соответствует** специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».



СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 118 позиций. Содержание работы изложено на 121 странице машинописного формата, включает 65 иллюстраций и содержит 9 таблиц.

Во введении, в соответствии с требованиями к содержанию и оформлению диссертационных работ, автором обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели диссертационного исследования и задачи, поставленные для достижения перечисленных целей, формулируются полученные автором результаты, имеющие существенную научную новизну, с учетом полученных результатов обоснована теоретическая и практическая значимость работы, а также изложены методы исследования, перечислены положения, выносимые автором на защиту диссертационной работы, приведены сведения об апробации результатов диссертационного исследования и о важнейших публикациях автора.

В первой главе автором проведен обстоятельный и детальный анализ явления разносопротивляемости СПФ, а также моделей, способных предсказывать термомеханическое поведение этих материалов. Приведены материалы ряда экспериментальных работ доказывающих, что кривые деформирования образцов из СПФ демонстрируют качественную и количественную зависимость от вида напряженно-деформированного состояния. Показано, что явление разносопротивляемости характерно для СПФ с поликристаллической микроструктурой при работе материала в режимах мартенситной неупругости, сверхупругости и прямом фазово-структурном превращении. Помимо этого, отмечено влияние вида напряженно-деформированного состояния на характерные температуры фазовых превращений. Исходя из этого, автором сделан вывод о том, что для достоверного описания поведения элементов конструкции из СПФ под действием термомеханических нагрузок необходим учет влияния разносопротивляемости. Проведен краткий обзор актуальных моделей поведения СПФ, а также показаны

наиболее удачные модификации этих моделей для учета свойства разнсопротивляемости. Выбрана наиболее подходящая модель нелинейного деформирования СПФ, позволяющая при её незначительной модификации качественно верно учитывать разнсопротивляемость при решении краевых задач изгиба для активных элементов конструкций. На базе проведенного анализа сформулированы цели диссертационного исследования и выполнена постановка задач, решение которых обеспечивает достижение целей.

Вторая глава посвящена решению ряда краевых задач изгиба балок и пластин из СПФ с учетом свойства разнсопротивляемости материала при его работе в режиме мартенситной неупругости. В частности, рассмотрена задача чистого изгиба балки сплошного прямоугольного сечения с учетом и без учета упругих деформаций. Решение проведено в рамках гипотез Эйлера-Бернулли и с использованием нелинейной модели деформирования СПФ, обеспечивающей учет разнсопротивляемости материала. Аналогичным образом проведено решение задачи изгиба пластины из СПФ с использованием гипотез Крихгофа-Лява, не учитывающих деформацию поперечного сдвига. Результаты демонстрируют существенное влияние учета разнсопротивляемости на распределение напряжений, действующих в поперечном сечении, положение нейтральной плоскости и податливость элементов из СПФ. Показано влияние упругих деформаций на решение задач об изгибе балки в мартенситном фазовом состоянии. Установлено, что данный вид деформаций также необходимо учитывать при решении задач изгиба. По результатам сравнительной оценки сделан вывод о том, что не учет разнсопротивляемости приводит к количественно неверной оценке напряженно-деформированного состояния.

В третьей главе приводятся результаты решения задач изгиба балок и пластин из СПФ с учетом свойства разнсопротивляемости материала при прямом фазово-структурном превращении. Наибольший интерес представляет решение задачи изгиба балки под действием постоянного изгибающего момента с учетом упругих деформаций и разнсопротивляемости в связанной термомеханической

постановке. Термомеханическая связность заключается во влиянии действующих механических напряжений на характерную температуру прямого фазово-структурного превращения, что опосредованно обеспечивает учет влияния вида напряженного состояния на ту же температуру фазовых превращений. Предполагается, что распределение температуры по сечению в каждый момент времени считается равномерным, что соответствует медленным процессам охлаждения. Решение задачи проведено численно с использованием неявного метода пошагового интегрирования Эйлера. Приведено общее описание численного алгоритма. В результате показано, что распределение параметра фазового состава имеет сильно нелинейный характер, который меняется в процессе прямого фазово-структурного превращения. Наименьшее значение параметра фазового состава в процессе охлаждения достигается на нейтральной линии, ввиду отсутствия напряжений на последней. Разносопротивляемость СПФ приводит к тому, что процесс прямого фазово-структурного превращения на нижней и верхней кромках сечения балки начинается и заканчивается при разной внешней температуре. Установлен немонотонный характер изменения распределения продольных напряжений в поперечном сечении балки в процессе фазового превращения, таким образом, подобные задачи следует решать с учетом разносопротивляемости в связной термомеханической постановке.

В заключении перечислены результаты работы, составляющие основу проведенного исследования, имеющие научную новизну и практическую ценность.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Анализ современной периодической литературы и важнейших монографий по профилю диссертационной работы позволяет сделать заключение о степени новизны полученных автором результатов, удовлетворяющей требованиям к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Положенные в основу разработанного автором метода аналитического решения задач механики строгие формулировки краевых задач, использование современной нелинейной модели деформирования СПФ при фазовых и структурных превращениях, использование апробированных численных методов решения задачи (метод пошагового интегрирования Эйлера в неявной форме), обеспечивают достоверность результатов, опубликованных в диссертационной работе.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ

Представленные автором аналитические и численные решения задачи изгиба элементов из СПФ с учетом разнотелости материала имеют практическую значимость и могут быть использованы при проектировании активных элементов из СПФ.

ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ

Результаты исследований легли в основу методики, содержащей общие рекомендации и указания по разработке и внедрению в существующие конструкции воздухозаборников турбореактивных двигателей устройства саморегулирования формы входной части воздухозаборника, способного адаптироваться как к штатным, так и нештатным режимам полета летательного аппарата. Данное положение подтверждается Актом о внедрении результатов диссертационного исследования на предприятии ПАО «Компания «Сухой» «ОКБ Сухого».

Основные результаты, выводы и рекомендации диссертации опубликованы в пяти научных статьях в изданиях, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК РФ.

В качестве достоинств диссертационной работы следует особо отметить:

1. Высокий уровень владения математическим аппаратом и математической строгости в технической работе является несомненным

достоинством и позволяет судить о высокой научной квалификации соискателя;

2. Полученные автором новые уточненные решения задачи изгиба элементов из СПФ, включающие явление разносопротивляемости, позволяют более осознанно подойти к задачам проектирования и избежать ошибок при выборе геометрические параметров активного элемента будущего устройства.

Содержание диссертации соответствует содержанию опубликованных работ. Существенных замечаний к качеству оформления диссертации и изложению материала нет.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. Неясен смысл учета разномодульности при работе материала в упругой зоне для растяжения и сжатия. Судя по представленным в литературном обзоре экспериментальным исследованиям, данная особенность СПФ не характерна. Исходя из этого, учет разномодульности представляется излишним усложнением расчетной модели и вносит некую неопределенность в результаты расчета в части определения начального положения нейтральной линии, которая должна совпадать с центром геометрической симметрии образца;
2. В работе не рассматривается решение задачи изгиба элементов из СПФ в изотермическом режиме с реализацией сверхупругого поведения, вследствие фазово-структурного превращения, инициированного механическими напряжениями. Уточнение данного решения учетом разносопротивляемости материала имеет большой практический интерес, так как явление сверхупругости широко используется в практических приложениях;

Указанные замечания не снижают научной ценности и практической значимости результатов, полученных автором в диссертационной работе.

Оценивая работу в целом, считаю, что диссертация является законченной самостоятельной квалификационной работой, посвященной решению актуальной задачи – оценке деформирования элементов из сплавов с памятью формы с учетом разносопротивляемости материала.

Диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Сафонов Павел Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент

Нуштаев Дмитрий Владимирович,

кандидат технических наук,

менеджер по моделированию клиентских

процессов дирекции по техническому развитию и

качеству АО «Северсталь Менеджмент»

Адрес места работы: ул. Мира, 30, г. Череповец,

162608. Тел.: +7 (926) 623-78-70.

E-mail: dv.nushtaev@severstal.com

Специальность ВАК, по которой защищена

диссертация, 01.02.04 - Механика деформируемого

твердого тела.

 Д. В. Нуштаев

Подпись Нуштаева Д. В. заверяю.

Старший менеджер АО «Северсталь Менеджмент»



О. В. Копаев