

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Евгения Сергеевича Остропико «Исследование функциональности рабочих элементов с памятью формы», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

1. Актуальность темы диссертации. Экспериментальное и теоретическое изучение функциональных свойств интеллектуальных материалов, включая и материалы с эффектом памяти формы (ЭПФ), в настоящее время вызвано насущной необходимостью таких исследований для науки, техники и технологии.

Успешное и всё расширяющееся применение рабочих элементов исполнительных устройств и механизмов одноразового, многоразового и циклического действия из материалов с ЭПФ в медицине, робототехнике, аэрокосмической отрасли и других высокотехнологичных областях деятельности поднимает важный вопрос о функциональности используемых материалов и её повышении.

Один из способов улучшения функциональности рабочих элементов с ЭПФ – термомеханические обработки и модификация структуры материала с целью повышения величины однократной и обратимой памяти формы (ОПФ).

Другой важнейший аспект проблемы – увеличение надёжности и стабильности функционирования устройств, содержащих рабочие элементы из материалов с ЭПФ, в течение весьма длительного времени. На данный момент принято считать, что длительное нахождение материалов в мартенситном состоянии без структурных изменений не оказывает влияния на их свойства и работоспособность, но конкретные систематические экспериментальные и теоретические исследования этого вопроса до работ автора встречались эпизодически.

Функциональность рабочих элементов с ЭПФ может также связываться и с необходимостью самостоятельно совершать определённое действие в конкретном интервале температур. В литературных источниках среди обилия публикаций по применению материалов с ЭПФ работ, содержащих чёткие методики для гарантированного обеспечения заданных деформационно-силовых параметров работы элементов в фиксированном интервале температур, практически нет. (Хотя, возможно, подобные методики являются закрытой информацией производителей материалов с ЭПФ и устройств на их основе).

Все вышесказанное свидетельствует об актуальности выбранной соискателем темы и объектов исследований, а результаты диссертации находятся в рамках концепции инновационных научно-технических и конструкторских разработок на основе смарт-материалов.

Дополнительно следует отметить, что результаты работы автора диссертации по отдельным направлениям неоднократно включались в отчёты научно-исследовательских проектов, поддержанных грантами СПбГУ и РФФИ, что также свидетельствует об актуальности и своевременности проведённых Е.С. Остропико исследований.

2. Основные результаты и научная новизна. К основным результатам представленной работы следует отнести:

1. Новые систематические экспериментальные данные по высокоскоростному и квазистатическому сжатию образцов эквиатомного никелида титана в широком интервале температур;
2. Экспериментальный факт того, что ЭПФ и ОПФ у TiNi после высокоскоростного деформирования сжатием при температурах 20-60⁰С выше, чем после квазистатического сжатия;
3. Введённый в научный оборот новый массив экспериментальных данных о влиянии времени на реактивные напряжения в сплавах TiNiFe и CuZnAl и о влиянии длительного хранения в деформированном мартенситном состоянии на проявление ЭПФ и ОПФ у никелида титана;
4. Экспериментально обоснованные выводы о том, что:
 - реактивные напряжения в муфтах из сплава TiNiFe за 30 лет релаксируют не более, чем на 8%;
 - величина ЭПФ в эквиатомном нитиноле не изменяется за 25 лет его хранения в деформированном мартенситном состоянии, а ОПФ увеличивается;
5. Учёт в определяющих соотношениях микроструктурной модели структурно-аналитической теории прочности фактора времени в форме новых слагаемых в эволюционных уравнениях плотностей дефектов, которые отвечают за влияние на плотности дефектов энергии активации, температуры и времени выдержки;
6. Впервые проведенное на этой основе численное моделирование ЭПФ и ОПФ никелида титана в зависимости от длительности нахождения в деформированном мартенситном состоянии после различных вариантов предварительного деформирования, при котором получено хорошее соответствие результатов расчётов с авторскими экспериментальными данными;
7. Предложенную автором новую комплексную методику создания термочувствительных рабочих элементов с памятью формы, обеспечивающую им заданные деформационные и силовых параметры в фиксированном диапазоне температур.

3. Достоверность основных результатов и выводов диссертационной работы определяется:

- использованием современных методик экспериментальных исследований на квазистатические и высокоскоростные нагрузления, а также при дилатометрии;
- воспроизводимостью экспериментальных результатов;
- согласованностью полученных результатов и сделанных на их основе выводов с известными закономерностями неупругого поведения материалов с фазовыми превращениями и эффектом памяти формы;
- применением в численном моделировании достаточно хорошо зарекомендовавшей себя для материалов с ЭПФ микроструктурной модели в рамках структурно-аналитической теории прочности Лихачёва-Малинина;

В пользу достоверности свидетельствуют и не вызывающие активных возражений методики обработки экспериментальных данных, определения констант и функций материала для калибровки определяющих соотношений теории.

4. Научная и практическая значимость. Результаты, полученные автором в своих исследованиях, имеют весомую научную и прикладную значимость.

В научный оборот введён новый массив экспериментальных данных о механических и функциональных свойствах никелида титана при высокоскоростном и квазистатическом сжатии, который может стать основой для модификации и развития уже существующих теорий, описывающих неупругое поведение сплавов с ЭПФ.

Показана возможность применения микроструктурной модели структурно-аналитической теории прочности, учитывающей временные эффекты, для описания механического поведения никелида титана при длительном хранении.

На основе полученных экспериментальных данных конструкторы устройств, использующие в рабочих элементах эквиатомный никелид титана, могут найти практические рекомендации по выбору термомеханических режимов функционирования рабочих элементов с целью обеспечения наиболее эффективного использования функциональных свойств материала и оптимизации эксплуатационных характеристик устройств.

Значимость экспериментальных данных о влиянии длительного хранения материалов и изделий с ЭПФ в мартенситном состоянии на проявление ими функциональных свойств вообще трудно переоценить. Результаты диссертации фактически гарантируют инженерам и технологам двадцатилетнюю работоспособность устройств, использующих ЭПФ, ОПФ и эффект генерации реактивных напряжений для ряда материалов. Аналогов таким данным в научной литературе нет.

Представленная автором комплексная методика для создания термочувствительных рабочих элементов с памятью формы, обеспечивающая их функциональность в фиксированном диапазоне температур при заданных деформационных и силовых параметрах, и реализованная им для проволочного привода космического назначения – прямой выход на инновационные технологические схемы.

5. Публикации и аprobация работы. Основные положения и результаты диссертации достаточно полно опубликованы в печати – 10 работ, из которых 3 – статьи в изданиях, индексируемых в научных базах данных Scopus и Web of Science. Опубликованные материалы полностью вошли в текст диссертации. Результаты исследований были обнародованы на 8 научных и научно-технических форумах, как в нашей стране, так и за рубежом, а также вошли в научные отчёты по грантам РФФИ и СПбГУ. В полном объёме материалы диссертации были изложены на докладе в Доме учёных им. М. Горького РАН. Считаю, что рецензируемая диссертационная работа в достаточной мере опубликована и аprobирована.

6. Рукопись и автореферат написаны достаточно ясным и понятным научным языком. Содержание диссертации полно, подробно и ясно раскрывает постановку задач, методы их решения, реализацию и полученные на их основе результаты. Качественно подготовленный и в нужном количестве иллюстративный материал помогает восприятию представленных результатов. Автореферат, в целом, полно отражает содержание диссертации, даёт чёткое представление и о самой работе и о полученных в ней результатах. Оформление диссертации и автореферата соответствует общепринятым требованиям.

7. Замечания по содержанию и оформлению работы. Недостатков, ставящих под сомнение справедливость полученных автором результатов, сделанных выводов и предложенных рекомендаций, в рукописи обнаружено не было. Тем не менее, и по существу и по оформлению диссертационной работы Е.С.Остропико можно сделать следующие замечания:

1. Не указаны погрешности измеряемых в экспериментах величин, погрешности методов определения материальных параметров и функций, не отмечено влияние погрешностей и размера образцов на результаты последующего численного моделирования.

2. Не указаны формулы для мер напряжений и деформаций и погрешности их определения.

3. Эксперименты на высокоскоростное сжатие проводились только со скоростью 10^3 сек⁻¹. Хотелось бы видеть экспериментальные данные на более широком спектре скоростей деформирования.

4. Для использования определяющих соотношений микроструктурной модели при учёте фактора времени в работе не описан базовый опыт, в котором подбирались масштабирующие коэффициенты и энергии активации отжига для «задания правильных параметров упрочнения».

5. В расчётах использовалось только линейное деформационное упрочнение. Было бы полезно рассмотреть другие типы функций упрочнения в сугубо нелинейном процессе неупругого деформирования, тем более, что деформации на макроуровне достигают величины в 20%.

6. В главе 3 все рисунки имеют нумерацию, совпадающую с нумерацией рисунков главы 4. Это же относится и к тексту третьей главы рукописи.

7. На взгляд оппонента, вывод о ползучести стержней в термомеханических соединениях под действием постоянных напряжений со стороны муфт (раздел 2.2) не подкреплён реальными измерениями деформаций ползучести или их расчётами и является скорее гипотезой, хотя и достаточно физичной.

8. В качестве пожелания соискателю для будущих работ предлагается провести структурные исследования материалов, использованных в работе, на зависимость от времени нахождения в мартенситном состоянии и от скорости деформирования (тем более, что и образцы-свидетели и использованные соискателем образцы и объекты не приведены в состояние разрушения, а данные структурных опытов для «свежих» материалов весьма обширны).

Разумеется, отмеченные недостатки носят частный характер и не влияют на общую положительную оценку работы Е.С.Остропико.

8. Заключение. Оценивая работу в целом, можно заключить, что диссертация Е.С.Остропико является законченной научно-квалификационной работой, выполненной соискателем самостоятельно на достаточно высоком научно-методическом уровне (от экспериментальных исследований через численное моделирование к изучению функциональных свойств материалов с ЭПФ и практическим рекомендациям). Все результаты, выносимые на защиту, получены автором лично. Результаты представляются достоверными, выводы и заключения – в достаточной степени обоснованными. Основное

содержание диссертации опубликовано в ведущих научных изданиях. Работа прошла апробацию на научных и технических форумах. Автореферат правильно и полно отражает суть диссертации.

Содержание работы соответствует паспорту специальности 01.02.04 по физико-математическим наукам в части пунктов 1), 2), 4), 9), а сама диссертация Е.С.Остропико «Исследование функциональности рабочих элементов с памятью формы» соответствует критериям, установленным Положением «О порядке присуждения учёных степеней».

На основании вышеизложенного считаю, что автор диссертации – Остропико Евгений Сергеевич – заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук (01.02.04), доцент;
федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического приборостроения»,
кафедра высшей математики и механики,
профессор

Помыткин Сергей Павлович
25 мая 2018г.

Почтовый адрес: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
Телефон: 8 (812) 710 65 10, e-mail: sppom@yandex.ru

