

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Петровой-Буркиной О.А.
«Особенности проявления термоэлектрических явлений в TiNi сплавах с памятью формы», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым она представлена к защите

Диссертация Петровой-Буркиной О.А. посвящена исследованию процесса наведения термокинетической ЭДС и ЭДС Бенедикса при обратном фазовом превращении в материалах на основе никелида титана, обладающих памятью формы. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.04.07 – *Физика конденсированного состояния* (п.2. Элементный и фазовый состав, структура и физические свойства конденсированных сред; п.5. Изучение изменения состава, структуры и свойств конденсированных сред внешними воздействиями; п.10. Физические принципы функционирования, создания и применения приборов и устройств, действие которых основано на свойствах веществ в конденсированном состоянии). В соответствии с паспортом указанной специальности диссертация соответствует *отрасли технических наук*.

Актуальность темы диссертации

К термоэлектрическим явлениям относится возникновение *термокинетической ЭДС* при нестационарном нагревании однородного металлического участка разомкнутой электрической цепи, вызванной движением границы раздела фаз в материале. К термоэлектрическим явлениям в однородных материалах также относится *эффект Бенедикса*, суть которого заключается в возникновении потенциала между двумя точками образца, находящимися при одинаковой температуре, но отделенных двумя различными и противоположно направленными температурными градиентами. Эти эффекты основаны на изменении свойств материала в результате фазового перехода. До настоящего времени недостаточно изучены закономерности наведения ЭДС Бенедикса и термокинетической ЭДС в материалах на основе никелида титана, обладающих памятью формы. Среди материалов, обладающих эффектом памяти формы (ЭПФ), никелид титана (Ti-Ni) является одним из наиболее востребованных материалов, что обусловлено высокими механическими и функциональными свойствами, коррозионной стойкостью, технологичностью в обработке и сравнительно низкой стоимостью сплавов системы Ni-Ti. Способность восстанавливать при нагреве большие пластические деформации (ϵ

до 10 %) позволяет использовать изделия из никелида титана не только в различных областях техники – от актюаторов до всевозможных датчиков, но и в медицине: стенты, импланты, хирургические инструменты, способные изменять форму. Закономерности наведения ЭДС Бенедикса и термокинетической ЭДС в материалах на основе никелида титана могут быть использованы для контроля однородности их физико-механических свойств, а также при проектировании маломощных источников энергии и устройств записи информации. Актуальность тематики диссертации подтверждена также соответствием перечню приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы (Указ Президента Республики Беларусь 07.05.2020 № 156) в области машиностроительных технологий, приборостроения и инновационных материалов.

Степень новизны результатов, полученных в диссертации, и научных положений, выносимых на защиту

Автором установлены новые закономерности проявления термоэлектрических явлений в сплавах с памятью формы на основе никелида титана. На мой взгляд, к числу наиболее важных научных результатов, характеризующихся новизной, можно отнести следующие:

1. Экспериментально установленная нелинейная зависимость термокинетической ЭДС в никелиде титана от температуры в зоне нагрева, определяющая температурный интервал процесса инициирования термокинетической ЭДС и температуру, необходимую для достижения ей максимального значения 0,22 мВ, что позволило предложить устройство преобразования термомеханической энергии в электрическую.

2. Результаты экспериментальных исследований влияния деформации на величину термокинетической ЭДС в никелиде титана при тепловом инициировании обратного фазового перехода, что позволило разработать новое устройство для контроля однородности физико-механических свойств протяженных изделий из сплавов с памятью формы.

3. Экспериментально установленные зависимости термокинетической ЭДС в образцах никелида титана при обратном фазовом переходе от многократных теплосмен (термоциклирования) в полном и неполном интервале мартенситных превращений и режимов термообработки, обеспечивающие необходимые условия для регулирования значения термокинетической ЭДС.

Обоснованность и достоверность основных результатов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Сформулированные в диссертационной работе научные выводы и практические рекомендации подтверждаются комплексным применением современных методов исследования физико-механических и электрических

свойств металлических сплавов, а также разработанными на уровне изобретений способами и устройствами для исследования ТК ЭДС. Эффективность разработанных методов и устройств подтверждена их успешной апробацией при исследовании и контроле физико-механических свойств сплавов Ti-Ni в испытательных центрах, научно-исследовательских лабораториях и на ряде предприятий Беларуси, специализирующихся на изготовлении изделий из сплавов с памятью формы. Это свидетельствует *об обоснованности и достоверности* предложенного в работе подхода к исследованию закономерностей проявления термокинетической ЭДС в сплавах с памятью формы.

Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации с указанием рекомендаций по их использованию

Научная значимость результатов диссертационной работы Петровой-Буркиной О.А. заключается в установлении новых закономерностей проявления термоэлектрических явлений в сплавах с памятью формы на основе никелида титана.

Практическая значимость работы состоит в использовании разработанных методов определения неоднородных участков протяженных изделий из сплавов Ti-Ni с памятью формы для контроля их физико-механических свойств в таких организациях и предприятиях как ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси», ООО «Промышленный центр МАТЭК-СПФ», Республиканское инновационное унитарное предприятие «Научно-технологический парк БНТУ «Политехник», ОАО «ВЗЭП». Практическая значимость подтверждена актами испытаний и внедрения результатов работы.

Экономическая и социальная значимость заключается в разработке на уровне изобретений новых методов и приборов, закрепляющих приоритет белорусских ученых в изучении и использовании новых проявлений термоэлектрических явлений в Ti-Ni сплавах с памятью формы.

Опубликованность результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертационной работы Петровой-Буркиной О.А. опубликованы в 32 научных работах, из которых 6 статей соответствуют п.18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, 3 – в сборниках научных трудов, 14 – в материалах научных конференций, 9 – в сборниках тезисов докладов. Получено 2 патента Республики Беларусь и 1 патент на полезную модель. По степени опубликованности результатов диссертация отвечает требованиям ВАК.

Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертация Петровой-Буркиной О.А. является законченной научно-исследовательской работой, которая выполнена автором самостоятельно, а по объему и содержанию соответствует требованиям п. п. 20, 24, 26 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь.

Диссертационная работа включает в себя общую характеристику, четыре главы, заключение, список литературы и приложения. Объем диссертации составляет 150 стр., из них основной текст на 114 стр. (включая 92 рисунка), библиографический список (107 наименований) на 13 стр., приложения на 36 стр.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, материал диссертации изложен логично, без существенных погрешностей, затрудняющих чтение рукописи. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Замечания по диссертации и автореферату

При рассмотрении диссертации и автореферата не выявлено принципиальных недостатков, которые могли бы вызвать сомнение в достоверности научных выводов и положений, вынесенных на защиту. Тем не менее имеется ряд замечаний, вопросов и предложений.

1. Возможность генерации термокинетической ЭДС (ТК ЭДС) в сплавах Ti-Ni-Cu составляет первый пункт научной новизны диссертации, подчеркивая важность и первостепенность этого тезиса. Однако этому эффекту посвящены лишь последние три страницы главы 3 и седьмой вывод по этой главе, а в Заключение (с. 99-100) он упоминается в конце последнего вывода. Но если этот пункт новизны так важен, почему его нет в положениях, выносимых на защиту?

2. В работе использован двухзондовый метод измерения удельного электрического сопротивления, хотя четырехзондовый имеет более высокую точность. Возможно поэтому наблюдаются расхождения в определении температур мартенситных превращений по сравнению с методом ДСК (рисунки 2.2 и 2.3).

3. Рис. 3.7 (с. 58). Не понятно, чем обусловлено отсутствие на графиках характеристических температур A_K' и A_H' до 20 циклов, и M_K – после 10 циклов термоциклирования.

4. Калориметрические кривые образца Ti-Ni после термоциклирования в интервалах 0-100 °С (рис. 3.6) и 20-100 °С (рис. 3.8) отличаются как по величине пиков, так и по их положению на температурной шкале. Почему? Вызвано ли это различием фазовых переходов или образованием промежуточных фаз?

5. На рис. 3.15 (с. 65) ТК ЭДС имеют максимальные значения после отжига при температурах 500 °С и 800 °С. Можно ли считать эти значения максимумами на зависимости $E(T_{\text{отж}})$ или это неточность в определении E ? Какова погрешность измерения E ? Сколько экспериментов на каждую точку? На основании чего сделан вывод о том, что «при таких режимах термообработки происходят более существенные изменения физико-механических свойств сплава» (с. 64, предпоследний абзац)?

6. На рисунках 3.30 и 3.34 приведены температурные зависимости удельного электрического сопротивления в относительных единицах, но не указано, относительно какой величины.

7. На с. 81 (предпоследний абзац) отмечается: «Анализ зависимости относительного электросопротивления от температуры (рис. 3.34) и полученные дифрактограммы указывают на то, что в исходных образцах присутствует и кристаллическая фаза ..., однако доля кристаллической фазы, претерпевающей переход по схеме B19→B2, невелика». На основании чего сделан такой вывод?

Однако указанные недостатки не ставят под сомнение научную и практическую значимость диссертационной работы Петровой-Буркиной О.А.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Изложенный в диссертации материал, а также опубликованные печатные работы свидетельствуют о способности соискателя к творческой научно-исследовательской работе – от постановки задач до практического использования полученных результатов, что в итоге позволило ей внести существенный вклад в развитие одного из актуальных направлений научных исследований в области физики конденсированного состояния – установлению новых закономерностей проявления термоэлектрических явлений в сплавах металлов с памятью формы. Это дает основание считать, что научная квалификация соискателя в полной мере соответствует ученой степени кандидата технических наук по специальности «Физика конденсированного состояния».

Предлагаю присудить Петровой-Буркиной О.А. ученую степень кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – *Физика конденсированного состояния* за новые научно обоснованные результаты по комплексному исследованию термокинетических явлений в Ti-Ni сплавах с памятью формы, включающие:

1) экспериментально установленную нелинейную зависимость термокинетической ЭДС в никелиде титана от температуры в зоне нагрева, определяющую температурный интервал процесса иницирования

термокинетической ЭДС и температуру, необходимую для достижения ей максимального значения;

2) результаты экспериментальных исследований влияния деформации на величину термокинетической ЭДС в никелиде титана при тепловом инициировании обратного фазового перехода;

3) экспериментально установленные зависимости термокинетической ЭДС в образцах никелида титана при обратном фазовом переходе от многократных теплосмен в полном и неполном интервале мартенситных превращений и режимов термообработки, обеспечивающие необходимые условия для регулирования значения термокинетической ЭДС,

что в совокупности позволило соискателю:

– предложить устройство преобразования термомеханической энергии в электрическую;

– разработать новое устройство для контроля однородности физико-механических свойств протяженных изделий из сплавов с памятью формы;

– рекомендовать использовать разработанные способы и методику определения неоднородных участков протяженных изделий из сплавов с памятью формы для контроля физико-механических свойств сплавов Ti-Ni в испытательных центрах и на предприятиях, специализирующихся на изготовлении изделий из сплавов с памятью формы.

Профессор кафедры радиофизики и электроники
УО «Гомельский государственный университет
имени Ф. Скорины», д.т.н., профессор

В.А. Гольдаде

Подпись В.А. Гольдаде удостоверяю:

