

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
Государственного научно-производственного
объединения «Научно-практический центр
Национальной академии наук Беларуси по
материаловедению»,
чл.-корр. НАН Беларуси, д.ф.-м.н., профессор

В.М. Федосюк

«3» октября 2023 г.

ОТЗЫВ ОППОНИРУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Петровой-Буркиной Ольги Александровны
**«Особенности проявления термоэлектрических явлений в TiNi
сплавах с памятью формы»,**

представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Экспертиза диссертации и автореферата проводились в соответствии с требованиями Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 17.11.2004 № 560 (в ред. Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 № 190), и Положения о совете по защите диссертаций, утвержденного постановлением Высшей аттестационной комиссии Республика Беларусь от 22.02.2005 № 19 (в ред. постановления ВАК от 19.08.2022 № 2).

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Диссертационная работа Петровой-Буркиной О.А. посвящена исследованию термоэлектрических явлений и особенностей их проявления в сплавах с памятью формы на основе никелида титана. Результатами исследований стали разработанные новые устройства и способы контроля однородности физико-механических свойств протяженных изделий из сплавов с памятью формы, устройство преобразования термомеханической энергии в электрическую, а также методы по установлению на локальных участках протяженного TiNi образца различных значений термокинетической ЭДС.

Тематика диссертационных исследований Петровой-Буркиной О.А. соответствует отрасли наук – технические науки по профилю специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, т.к. в диссертационной работе в большей степени отражены прикладные исследования свойств материалов и приборов, связанные с инженерными аспектами их получения, модификации и применения.

Содержание диссертации соответствует паспорту указанной специальности, утвержденному приказом № 40 от 2 февраля 2018 г. ВАК Республики Беларусь, в следующих частях:

п.1. Методы получения, измерения параметров и модификации материалов (физические и технические аспекты).

п.2. Элементный и фазовый состав, структура и физические свойства конденсированных сред.

п.3. Фазовые превращения и диаграммы состояния конденсированных сред.

п.5. Изменение состава, структуры и свойств конденсированных сред внешними воздействиями.

п.9. Физические принципы функционирования, создания и применения приборов и устройств, действие которых основано на свойствах веществ в конденсированном состоянии.

Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости

В диссертации обобщены результаты работ, полученные непосредственно Петровой-Буркиной О.А. и направленные на решение актуальной научной задачи, а именно, установлена возможность генерации термокинетической ЭДС при переходе ленты $Ti - 25 \text{ ат.}\% Ni - 25 \text{ ат.}\% Cu$ из аморфно-кристаллического в кристаллическое состояние. Получена зависимость величины термокинетической ЭДС от температуры в зоне нагрева, позволяющая определять температурный интервал появления термокинетической ЭДС при обратном фазовом переходе в $Ti - 50 \text{ ат.}\% Ni$. Показано, что ЭДС наводится при достижении температуры в зоне нагрева равной температуре начала обратного фазового превращения A_n и достигает своего максимального значения при температуре равной или выше температуры окончания обратного фазового превращения A_k . Экспериментально установлены зависимости термокинетической ЭДС в $Ti - 50 \text{ ат.}\% Ni$ от скорости и направления перемещения зоны нагрева, температуры в зоне нагрева, способа термообработки материала, количества теплосмен, величины деформации материала. Экспериментально установлены зависимости электросопротивления при обратном фазовом превращении в локальной области нагрева и ее перемещении вдоль протяженного образца никелида титана состава $Ti - 50 \text{ ат.}\% Ni$ от количества теплосмен и величины деформации материала.

Разработаны и запатентованные способы определения неоднородных участков протяженного изделия из сплавов с памятью формы, позволяющие по изменению термокинетической ЭДС или электросопротивления проводить выбраковку участков материала, которые не соответствуют заданным физико-механическим свойствам. Предложен способ целенаправленного задания локальным участкам протяженного $TiNi$ образца термокинетической ЭДС в пределах от 0,04 до 0,6 мВ за счет термоциклирования, деформирования и изменения температуры в зоне нагрева.

Значимость научного вклада Петровой-Буркиной О.А. заключается в установлении закономерностей наведения термокинетической ЭДС в сплавах $TiNi$ в движущейся локальной зоне нагрева, исследовании эффекта Бенедикса при обратном фазовом превращении в сплавах $TiNi$ за счет формирования двух различных противоположно-направленных температурных градиентов, установлении возможности генерации термокинетической ЭДС при переходе

материала с памятью формы из аморфно-кристаллического в кристаллическое состояние, что позволило разработать устройство преобразования термомеханической энергии в электрическую, способы определения неоднородных участков протяженных изделий из сплавов с памятью формы и целенаправленного задания локальным участкам протяженного TiNi образца термокинетической ЭДС, на которые получены патенты Республики Беларусь.

Высокая значимость научного вклада соискателя подтверждается 32 научными работами, в том числе: 1 главой в коллективной монографии, 8 статьями в научных изданиях, из них 6 в соответствии с п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (общим объемом 3,0 авторских листа), 14 статей в сборниках материалов научных конференций, 9 тезисов докладов научных конференций. По результатам исследований получены 2 патента Республики Беларусь на изобретение и 1 патент Республики Беларусь на полезную модель.

Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень

Диссертация Петровой-Буркиной О.А. представляет собой комплексное исследование, логически законченное и выполненное на высоком научном уровне с применением современных экспериментальных и теоретических научных методов. Исходя из анализа содержания диссертационной работы, можно сделать общий вывод о том, что соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния за получение новых научно-обоснованных результатов, включающие:

1. Установление закономерности возникновения термокинетической ЭДС в сплавах Ti – 50 ат.% Ni при перемещении локального участка нагрева вдоль проволоочного образца с инверсией знака при изменении направления движения зоны нагрева. Определено условие инициирования такой термокинетической ЭДС, согласно которому, термокинетическая ЭДС возникает при перемещении зоны нагрева вдоль образца, температура в которой выше температуры начала обратного фазового перехода A_n . При этом значение термокинетической ЭДС увеличивается с ростом температуры в зоне нагрева до температуры окончания обратного фазового перехода A_k и достигает своего максимального значения 0,22 мВ. Полученные результаты использованы для разработки устройства преобразования термомеханической энергии в электрическую.

2. Величина наводимой термокинетической ЭДС образцов Ti – 50 ат.% Ni не зависит от скорости движения зоны нагрева, температуры отжига в интервале $400 \div 800$ °C и определяется полнотой фазовых превращений. Термоциклирование в интервале температур полного мартенситного превращения к 15-ому термоциклу приводит к стабилизации термокинетической ЭДС до 0,16 мВ. Термоциклирование в интервале температур неполного мартенситного превращения уменьшает значение термокинетической ЭДС до 0,04 мВ к 70-ому термоциклу. При этом увеличение температуры в зоне нагрева до 240 °C и выше позволяет восстановить значение термокинетической ЭДС до

максимального значения 0,22 мВ. Полученные результаты использованы для разработки способа целенаправленного задания локальным участкам протяженного TiNi образца термокинетической ЭДС.

3. Экспериментально установлены закономерности наведения термокинетической ЭДС при нестационарном нагреве протяженных проволочных образцов Ti – 50 ат.% Ni, содержащих участки, подвергнутые деформации в диапазоне от 1 до 30 %, заключающиеся в резком росте величины термокинетической ЭДС на участке деформации в 1-ом термоцикле и в резком падении ее величины во 2-ом термоцикле. Полученные результаты использованы для разработки способов определения неоднородных участков протяженного изделия из сплавов с памятью формы и целенаправленного задания локальным участкам протяженного TiNi образца термокинетической ЭДС.

4. Исследованы закономерности изменения электросопротивления проволочных образцов Ti – 50 ат.% Ni при нестационарном нагреве, заключающиеся в уменьшении и стабилизации значения электросопротивления при перемещении локального участка нагрева вдоль проволочного образца нагретого выше температуры начала обратного фазового перехода A_n . Установлено, что термоциклирование в интервале температур $20\text{ }^{\circ}\text{C} \div 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ за счет нестационарного нагрева приводит к изменению значений электросопротивления как в высокотемпературной B2, так и в мартенситной B19'-фазе. При перемещении области нагрева вдоль проволочного образца Ti – 50 ат.% Ni, содержащего участки, подвергнутые деформации в диапазоне от 2 до 15 % величина электросопротивления на участке деформации в 1-ом термоцикле резко возрастает, а во 2-ом термоцикле – падает.

5. Экспериментально установлена возможность наведения ЭДС Бенедикса в однородных проволочных образцах Ti – 50 ат.% Ni, за счет асимметричного распределения температур вдоль образца. Существование в зоне нагрева образца двух градиентов температуры противоположного направления $50\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{см}$ и $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{см}$, приводит к возникновению постоянной по величине термоЭДС 140 мкВ. Термоциклирование, как и в случае с термокинетической ЭДС, приводит к уменьшению значения термоЭДС. Установлена возможность генерации термокинетической ЭДС порядка 6 мВ при переходе изначально находящегося в аморфно-кристаллическом состоянии материала Ti – 25 ат.% Ni – 25 ат.% Cu в кристаллическое состояние.

Новизна научных результатов заключается в установлении возможности инициирования термокинетической ЭДС в сплавах Ti – 50 ат.% Ni при перемещении локального участка нагрева вдоль проволочного образца с инверсией знака при изменении направления движения зоны нагрева. Выявлены закономерности влияния температуры, скорости перемещения зоны нагрева, циклического температурного воздействия, величины деформации никелида титана на термокинетическую ЭДС. Установлена возможность наведения ЭДС Бенедикса в сплавах Ti – 50 ат.% Ni за счет асимметричного распределения температур вдоль проволочного образца и возможность генерации термокинетической ЭДС в Ti – 25 ат.% Ni – 25 ат.% Cu, изначально находящемся в аморфно-кристаллическом состоянии, при его переходе в кристаллическое.

Практическая значимость заключается в том, что на основе полученных

результатов разработаны новые методы и устройства определения неоднородных участков протяженных изделий из сплавов с памятью формы, а также методы по установлению на локальных участках протяженного TiNi образца различных значений термокинетической ЭДС.

Рекомендации по практическому использованию результатов диссертации

1. Разработанные способы и методика определения неоднородных участков протяженных изделий из сплавов с памятью формы проволоки может быть использована для исследования и контроля физико-механических свойств сплавов TiNi в испытательных центрах, научно-исследовательских лабораториях и на предприятиях, специализирующихся на изготовлении изделий из сплавов с памятью формы.

2. Разработанное устройство преобразования термомеханической энергии в электрическую может быть рекомендовано к использованию в качестве низкопотенциального источника энергии для питания приборов, работающих без замены источника питания, а также беспроводных датчиков, переключателей, разнообразных электронных устройств на предприятиях приборостроительной промышленности.

3. Разработанный способ целенаправленного задания локальным участкам протяженного TiNi образца термокинетической ЭДС может быть рекомендован к применению при проектировании устройств записи и считывания информации на предприятиях электронной и электротехнической промышленности.

Замечания и предложения по диссертации

1. В диссертации не указывается насколько результаты исследований могут быть распространены на изделия из материалов с памятью формы с другими составами сплава, а метод испытаний – на изделия с другими размерами.

2. В тексте диссертации температуры мартенситных превращений, определенные по изменению удельного электросопротивления (стр. 43), отличаются от измеренных методом дифференциальной сканирующей калориметрии (стр. 44), хотя указан один и тот же состав сплава Ti – 50 ат.% Ni.

3. В работе не раскрыты особенности проведения эксперимента в случае исследования эффекта Бенедикса. Не понятно, как одновременно создавались два различных по значению градиента температуры.

4. В диссертации и в автореферате многие исследуемые свойства и явления просто констатируются без обсуждения природы их возникновения.

5. В диссертации говорится, что выполнен рентгеноструктурный анализ сплава Ti – 25 ат.% Ni – 25 ат.% Cu, приведены сведения о кристаллизации материала, рассматривается мартенситное превращение из кубической B2 фазы в орторомбическую B19 фазу, при этом не указаны параметры элементарной ячейки, не приведен объем ячейки и другие структурные характеристики. Рентгенограммы сплавов содержат примесные фазы в виде различных оксидов титана, при этом в тексте диссертации не рассматривается возможное влияние примесных фаз на свойства исследуемых материалов.

6. В тексте автореферата и диссертации не все основные единицы измерений приведены в международной системе единиц (СИ); не везде приведены погрешности измерительного оборудования и измеренных величин.

7. В диссертации имеется ряд опечаток и неточностей, например, на рисунке 3.20 индикация положений пиков приведена не полностью; в главе 2 приводятся рисунки, содержащие надписи на английском языке; в литературном обзоре приведены рисунки низкого качества – на некоторых не читаются подписи и шкалы, что затрудняет восприятия информации.

В качестве рекомендации: было бы актуальным рассмотреть другие сплавы с эффектом памяти формы. Например, Cu – Zn – Al, так как данный сплав наряду с никелидом титана имеет широкое практическое применение, температуры мартенситных превращений данного сплава находятся в интервале от -170 до 100 °С; при этом по сравнению с никелидом титана указанный сплав не подвержен быстрому окислению на воздухе, легко обрабатывается и значительно дешевле. В четвертой главе рассмотрена идея создания устройств записи информации на основе предложенного материала (никелида титана). Следует отметить, что в современных устройствах хранения информации (напр. жестких дисках) используются материалы с параметрами, значительно превосходящими параметры материалов, исследуемых в диссертации, не продемонстрированы их преимущества в сравнении с уже существующими.

Следует отметить, что приведенные выше замечания не затрагивают основных положений и выводов, содержащихся в диссертации, и не снижают научной, практической и социальной ценности полученных результатов.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Диссертация Петровой-Буркиной Ольги Александровны является комплексной самостоятельно выполненной и законченной научной работой и соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. По совокупности представленных новых достоверных и научно обоснованных результатов, подтвержденных научными публикациями в журналах высокого научного уровня и докладами по теме диссертации на научных конференциях, аргументированных выводов, используемых методов исследования и интерпретации полученных результатов, качественного оформления диссертации и автореферата в полном соответствии с требованиями ВАК, можно сделать вывод о том, что соискатель Петрова-Буркина Ольга Александровна соответствует научной квалификации кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Отзыв оппонировавшей организации, подготовленный экспертом к.ф.-м.н., доцентом Желудкевичем А.Л., назначенным приказом генерального директора Государственного научно-производственного объединения «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению» № 19 от 15.09.2023, рассмотрен и утвержден на научном

собрании (протокол № 4 от 3 октября 2023 года), на котором соискатель Петрова-Буркина Ольга Александровна выступила с докладом.

На заседании присутствовали:

всего 29 человек, из них из них – 3 доктора наук и 16 кандидатов наук.

Результаты открытого голосования присутствовавших на заседании, которые имеют ученые степени:

«за» – 19, «против» – нет, «воздержавшихся» – нет.

Председатель научного собрания,
Заведующий лабораторией оксидных
материалов, д.ф.-м.н.

Д. В. Карпинский

Эксперт,
заведующий лабораторией физики
магнитных материалов,
к.ф.-м.н., доцент

А.Л. Желудкевич

Секретарь научного собрания,
к.ф.-м.н., доцент

О.Ф. Демиденко