

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки

ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ  
И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ  
им. А.А. Байкова  
Российской академии наук  
(ИМЕТ РАН)

119334, Москва, Ленинский пр., 49

Тел. (499) 135-20-60, 135-86-11; факс: 135-86-80

E-mail: [imet@imet.ac.ru](mailto:imet@imet.ac.ru) <http://www.imet.ac.ru>

ОКПО 02698772, ОГРН 1027700298702

ИНН/КПП 7736045483/773601001

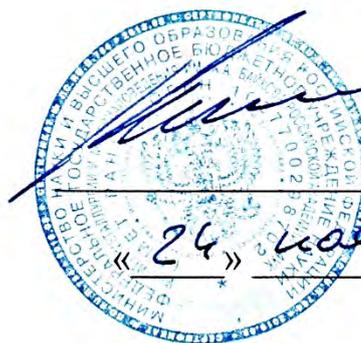
02.12.2022 № 12202 6215-978

На № \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. директора  
ИМЕТ РАН

Д.Т.Н.



Банных И. О.

2022 г.

## ОТЗЫВ

### ведущей организации на диссертационную работу

Виноградова Романа Евгеньевича на тему «Термомеханическое поведение функциональных металл-полимерных композиционных материалов, армированных никелидом титана», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17.

«Материаловедение» (технические науки)

### Актуальность работы

Характерной особенностью разработки современных технологий получения новых конструкционных и функциональных композиционных материалов является необходимость комплексного подхода, включающего как научно-обоснованный выбор материалов для матрицы и наполнителя композита, так и поиск надежных корреляций между служебными свойствами и особенностями строения получаемого материала. В общем плане, эта концепция сводится к поиску взаимосвязей между параметрами технологии, структуры и свойствами, и не отличается от подхода материаловедов к разработке, например, жаростойких интерметаллидных сплавов, сплавов с памятью формы, теплозащитных покрытий на турбинных лопатках и конструкционных керамик. Тем не менее, применительно к современным функциональным композиционным материалам задача осложняется необычным характером корреляций между их структурой и свойствами. Поэтому каждое эффективное решение этой проблемы вносит существенный вклад в современное материаловедение. Следует также обратить внимание на то, что, несмотря на множество исследований

различных аспектов теории и применения металл-полимерных композиционных материалов с эффектом памяти формы, опубликованных за последние годы, до настоящего времени остается много проблем, связанных с практическим использованием изделий из этих материалов. В этой связи диссертационная работа Виноградова Р.Е., направленная на исследование функциональных свойств композиционных материалов «полимер-никелид титана» применительно к разработке научно-обоснованных принципов проектирования и изготовления функциональных конструкций с заданным уровнем характеристик работоспособности, **представляет несомненную актуальность** как с научной, так и с практической точки зрения.

### **Общая характеристика работы**

Достоинством диссертационной работы Виноградова Р.Е. является то, что автору удалось подробно исследовать влияние архитектуры армирования и свойств компонентов на закономерности термомеханического поведения композиционных материалов «силиконовая резина – никелид титана», способных проявлять сверхупругость, однократный и обратимый эффект памяти формы. Для этих материалов был проведен анализ условий реализации армирующим наполнителем механически и термически обратимой деформации, выявивший ключевую роль критических напряжений и деформаций, определяющих накопление в сплаве на основе никелида титана невосстановленной деформации. На этой основе автором предложен метод определения предельно допустимой деформации в функциональном композиционном материале с учетом критической деформации в армирующем наполнителе.

В работе предложен новый способ реализации в металл-полимерных композитах обратимого эффекта памяти формы. Разработана и экспериментально подтверждена математическая модель, позволяющая рассчитывать оптимальные геометрические характеристики и объемную долю армирования в композиционных конструкциях, проявляющих обратимый эффект памяти формы. Предложены режимы термомеханической обработки армирующих элементов из никелида титана, позволяющие достичь необходимые температурные и деформационные характеристики эффекта памяти формы, а также разработаны технологические этапы изготовления композитов «силиконовая резина – никелид титана» с обратимым эффектом памяти формы.

Представляет научный интерес исследование свойств композитов «углепластик – никелид титана», которые показали, что использование сверхупругого армирующего наполнителя улучшает упругое поведение

углепластика. Было установлено, что при проектировании изделий из композита «углепластик – никелид титана» следует принимать во внимание жесткость углепластиковой матрицы. Это обусловлено тем, что циклическая долговечность неармированного углепластика, состоящего из нескольких слоев углеволокна и имеющего относительно невысокую жесткость, выше, больше у армированного. И наоборот, долговечность армированного углепластика повышается по сравнению с неармированным в тех случаях, когда матрица композита состоит из большого числа слоев углеволокна, а диаметр армирующей проволоки не менее 2,0 мм, т.е. когда речь идет об углепластиках высокой жесткости.

Практическая значимость работы включает разработанные рекомендации для выбора состава и технологии обработки полуфабрикатов и армирующих элементов для функциональных металл-полимерных композиционных материалов, работающих в различных термомеханических условиях эксплуатации. Разработан алгоритм по проектированию функциональных композиционных материалов, учитывающий вид реализуемого эффекта памяти формы, влияние химического состава и термической обработки на свойства сплавов на основе никелида титана, а также влияние объемной доли армирования и свойств полимерной матрицы на термомеханическое поведение композитов.

Немаловажно, что разработанные автором рекомендации прошли успешную апробацию при изготовлении протезно-ортопедических изделий – протеза кисти из композита «силиконовая резина – никелид титана» и тугоров «углепластик - никелид титана» – в производственных условиях на ФГУП «ЦИТО».

### **Наиболее важные полученные результаты**

Научная новизна диссертационной работы Виноградова Р.Е. не вызывает сомнения и заключается в следующем:

- установлены закономерности влияния архитектуры армирования, а также химического состава и структурного состояния армирующих элементов из сплавов на основе никелида титана на температурные и деформационно-силовые характеристики эффекта памяти формы функциональных композиционных материалов «силиконовая резина – никелид титана»;

- предложены методики определения и расчета характеристик, описывающих работоспособность функционального композиционного материала «силиконовая резина – никелид титана». Введено понятие критической деформации ( $\varepsilon_{кр}^{фкм}$ ) композиционного материала, при достижении которой наблюдается неполное восстановление формы, а также установлена

корреляция между этой характеристикой и критической деформацией ( $\varepsilon_{кр}^{0,2}$ ) используемых армирующих элементов;

- установлены корреляции между параметрами структуры гибридного композиционного материала «углепластик – никелид титана» и характеристиками его упругого (сверхупругого) поведения, а также циклической долговечностью. Оправлены оптимальные характеристики углепластиковой матрицы и армирующих элементов из никелида титана, обеспечивающие высокую деформационную циклоустойкость композита.

- разработан новый принцип реализации обратимого эффекта памяти формы в композиционном материале «силиконовая резина – никелид титана», с помощью которого удастся получить до 10 % обратимой деформации. Предложены уравнения, позволяющие прогнозировать величину обратимой деформации.

- разработаны рекомендации по выбору материала, проектированию и изготовлению функциональных металл-полимерных композиционных материалов с заданными характеристиками работоспособности. Предложен новый способ изготовления ортопедических изделий (стоподержателей) с регламентированной жесткостью и высокой циклической деформационной долговечностью из углепластика, армированного проволокой из никелида титана. Разработан новый тип функционально-косметического протеза кисти из композиционного материала «силиконовая резина – никелид титана».

### **Рекомендации по практическому использованию основных результатов диссертации**

Представленные в диссертационной работе новые научные результаты и практические разработки в области материаловедения и технологии функциональных металл-полимерных композиционных материалов могут быть использованы в качестве основы для дальнейших исследований, направленных на совершенствование существующих и создание новых композиционных материалов и изделий из них, применяемых в авиакосмической, транспортной, медицинской и других наукоемких отраслях. Научные и методические разработки автора могут найти применение при создании новых функциональных композиционных конструкций в ведущих отраслевых (ГНЦ «ВИАМ» и др.) и академических (ИМЕТ РАН и др.) институтах и вузах (МАИ и др.).

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных в диссертационной работе научных результатов подтверждается применением современных методов исследования, хорошим совпадением результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных. Структурные исследования сплавов на основе никелида титана проведены методами световой микроскопии и рентгеноструктурного анализа. Механические свойства сплавов и композиционных материалов были определены по результатам статических и циклических испытаний на трехточечный изгиб. Для определения температурных и деформационно-силовых характеристик эффекта памяти формы композитов были разработаны специальные методики, базирующиеся на аналогичных методах измерения термомеханических свойств сплавов с памятью формы.

Научные выводы и практические рекомендации работы проверены при изготовлении опытных образцов медицинских ортопедических изделий.

### **Замечания**

Отмечая достоинства диссертационной работы Р.Е. Виноградова, в качестве замечаний следует указать:

1. В главе 2 при описании методики эксперимента не указано, в каких условиях проводили кондиционирование образцов композиционного материала перед проведением испытаний.

2. При оценке циклической долговечности разрабатываемых композиционных материалов в качестве максимального числа циклов нагружения (базы усталостных испытаний) для образцов с силиконовой матрицей были выбраны 50 000 циклов, а для образцов с углепластиковой матрицей – 200 000 циклов. При этом обоснований такого выбора базы испытаний в работе не приведено. Очевидно, что в случае увеличения максимального числа циклов нагружения до наиболее часто используемых пределов, составляющих один или десять миллионов циклов, результаты оценки влияния архитектуры армирования на долговечность функциональных композиционных материалов могут существенно измениться.

3. При разработке математической модели, описывающей механизм реализации обратимого эффекта памяти формы в композиционном материале «силиконовая резина – никелид титана», автор не учитывал возможности протекания процессов релаксации упругих напряжений в силиконовой матрице, которые могут повлиять на величину обратимой деформации в композите.

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости диссертации и общей высокой оценки работы.

Отмеченные недостатки не снижают научной и практической значимости диссертации и общей высокой оценки работы.

### **Заключение**

Представленная диссертационная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены закономерности влияния архитектуры армирования и свойств компонентов на термомеханическое поведение композиционных материалов «силиконовая резина – никелид титана» и «углепластик – никелид титана», которые позволили автору разработать принципы и алгоритм проектирования функциональных металл-полимерных композиционных конструкций с заданным уровнем характеристик работоспособности.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 7 научно-технических конференциях, опубликованы в 23 научных работах, из них 5 в изданиях, входящих в перечень ВАК и 3 в журналах, включенных в международные системы цитирования.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-16 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Виноградов Роман Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.17. «Материаловедение» (технические науки).

Отзыв рассмотрен на заседании Секции Ученого Совета ИМЕТ РАН «Металловедение и металлофизика», протокол № 7/22\_ от 24 ноября 2022 года. На заседании присутствовало 18 членов Секции из 24. Результаты голосования: «за» - 18, против – нет, воздержавшихся - нет.

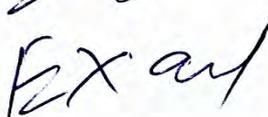
Д.т.н.



Е.В. Блинов

Ученый секретарь Секции,

К.т.н.



Е.В. Харин.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН), 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 49

E-mail: [imet@imet.ac.ru](mailto:imet@imet.ac.ru); Тел.: +7 (499) 135-2060