

О Т З Ы В

официального оппонента

о диссертации Виноградова Романа Евгеньевича «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 темы исследований

Сплавы с памятью формы (СПФ) на основе никелида титана (TiNi) являются перспективными металлическими материалами как для медицинского, так и для общетехнического применения. Этим определяется неослабевающий интерес, проявляемый исследователями, технологами и конструкторами, к СПФ Ti-Ni, которые благодаря своей уникальной способности восстанавливать форму и совершать механическую работу при реализации эффектов памяти формы позволяют реализовать новые эксплуатационные возможности и технологии, недоступные при использовании обычных материалов. Использование СПФ Ti-Ni в качестве армирующего наполнителя в композиционных материалах с полимерной матрицей дает возможность расширить область их практического применения и устранить ряд недостатков, присущих сплавам Ti-Ni, таких как высокая стоимость и трудность изготовления конструкций сложной формы, требующей использования сварных соединений или значительной механической обработки. Однако, задача получения композиционных материалов с армирующим наполнителем из никелида титана, обладающих заранее заданными и стабильными эксплуатационными свойствами, весьма трудна вследствие «капризности» СПФ, обусловленной как технологическими сложностями, так и повышенной чувствительностью их функционального поведения к химическому составу (концентрации никеля и примесных элементов) и структуре. Ключевым фактором является и правильный выбор (в зависимости от назначения и условий эксплуатации) материала полимерной матрицы, вида и объемной доли армирующего наполнителя, который в конечном итоге определяет весь комплекс функциональных свойств композиционного материала. Обычно при разработке нового композиционного материала, содержащего в своей структуре СПФ, приходится каждый раз проводить по этому поводу целое исследование. В этой связи научно-исследовательская работа, направленная на выявление общих зависимостей в цепочке «состав – структура – свойства», которые можно было бы использовать для управления термомеханическим поведением функциональных композиционных материалов с полимерной матрицей,

армированной никелидом титана, **безусловно, актуальна**. Именно к таким работам относится диссертация Р.Е. Виноградова. Следует отметить, что стоящую перед ним задачу диссертант решил вполне успешно. Им выполнен комплекс исследований, позволивший непротиворечиво объяснить особенности термомеханического поведения функциональных композиционных материалов, связанные как со структурными изменениями в армирующем наполнителе из СПФ Ti-Ni, так и с характером армирования полимерной матрицы, и сформулировать ясные предложения для разработки композитов с заданными свойствами, ряд которых был реализован им на практике.

Материал диссертации представлен логично, убедительно и последовательно. Немаловажно, что разработанные автором рекомендации прошли успешную апробацию при изготовлении протезно-ортопедических изделий – протеза кисти из композита «силиконовая резина - СПФ Ti-Ni» и тугоров «углепластик - СПФ Ti-Ni» – в производственных условиях на ФГУП «ЦИТО».

Научная новизна

Научная новизна и достаточная обоснованность выносимых на защиту положений и выводов работы не вызывает сомнений.

Ценность полученных результатов для науки и практики состоит в том, что в работе:

- установлены закономерности изменения термомеханического поведения функциональных композиционных материалов «силиконовая резина - СПФ Ti-Ni» под влиянием различных факторов, таких как структурное состояние СПФ Ti-Ni, содержание в нем никеля и примесей, а также изменение объемной доли армирующего наполнителя из сплава Ti-Ni. Показано, что работоспособность функциональных композиционных материалов определяется критической деформацией, при превышении которой в материале армирующих элементов начинает накапливаться невосстановленная деформация. Установлена взаимосвязь между критической деформацией в композите и критической деформаций в СПФ Ti-Ni, из которого изготовлены армирующие элементы.

- показано, что температурные характеристики эффекта памяти формы в композиционных материалах «силиконовая резина - СПФ Ti-Ni» практически не зависят от силиконовой матрицы и определяются свойствами армирующих элементов. В то же время установлено, что в композиционном материале максимально допустимая деформация армирующих элементов на 0,3-1,5% выше, чем в исходном полуфабрикате из СПФ Ti-Ni.

- разработаны новый принцип реализации многократного эффекта памяти формы и способ изготовления трансформирующихся конструкций из композиционного материала «силиконовая резина - СПФ Ti-Ni», которые обогащают существующую базу способов управления функциональными свойствами металл-полимерных композитов.

- установлены закономерности изменения жесткости, максимальной упругой деформации и циклической долговечности гибридных композиционных материалов «углепластик - СПФ Ti-Ni» в зависимости от их строения, заключающиеся в увеличении упомянутых характеристик с ростом количества слоев углеволокна и одновременном повышении объемной доли и площади поперечного сечения армирующих элементов из СПФ Ti-Ni.

В целом результаты работы представляют собой значительный вклад в развитие практического материаловедения функциональных композиционных материалов, содержащих в своей структуре сплавы с памятью формы, и могут быть использованы в качестве научной базы для разработки и создания новых трансформирующихся конструкций.

Практическая значимость работы заключается в получении комплекса экспериментальных результатов исследований свойств композиционных материалов с полимерной матрицей, армированной никелидом титана, и в разработке научных рекомендаций по производству из этих материалов изделий различного назначения с заранее заданными функциональными свойствами.

Достоверность результатов обеспечена применением комплекса современных методов исследований, большим объемом экспериментального материала, соответствием экспериментальных результатов теоретическим предпосылкам, отсутствием принципиальных противоречий известным результатам и проведением количественных оценок результатов измерений.

Замечания по работе:

1. В диссертационной работе автор изучил влияние свойств полимерной матрицы и армирующего наполнителя из СПФ на функциональные свойства металл-полимерного композиционного материала. Известно, что уровень эксплуатационных свойств композитов во многом определяется свойствами и строением границы раздела между матрицей и наполнителем. Было бы уместно уделить внимание в работе и этому вопросу.

2. Максимальная полностью обратимая деформация, реализуемая в композиционных материалах с памятью формы, определяется не только

сочетанием свойств материала матрицы и армирующего наполнителя, но и объемной долей армирующего материала и геометрией структурных составляющих композиционного материала. Поэтому в случае более сложной «архитектуры армирования» по сравнению с той, что была рассмотрена автором, полученные в работе экспериментальные результаты и сделанные выводы должны быть соответствующим образом уточнены и скорректированы. Насколько это возможно?

3. В разделе 4.2, посвященном разработке композиционных материалов «силиконовая резина – СПФ TiNi» с многократным эффектом памяти формы на стр. 137 и 141 предложено придавать армирующей проволоке из никелида титана заданную форму при температуре 500 °С. Выбор температуры нагрева для придания формы вполне правдоподобен, но не подтвержден собственными экспериментальными исследованиями или ссылкой на соответствующие научные работы, которых достаточно много.

Сделанные замечания не касаются существа работы, не влияют на ее основные результаты и выводы и не снижают общую высокую оценку диссертации Р.Е. Виноградова.

Результаты диссертационной работы 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 в 5 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, из которых 2 статьи опубликованы в журналах, включенных в международные системы цитирования. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Р.Е. Виноградова представляет собой законченную квалификационную работу, выполненную автором самостоятельно на высоком научно-методическом уровне. В работе представлены научные результаты, позволяющие их квалифицировать как новые и практически значимые. Полученные автором работы результаты изложены профессионально грамотно и логично, достоверны, цели и выводы надежно обоснованы. Работа написана понятно и профессионально грамотно, подобающим образом оформлена.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Виноградов Роман Евгеньевич, заслуживает присуждения

ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 - «Материаловедение» (технические науки).

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук (специальность 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»), профессор, главный научный сотрудник кафедры «Обработка металлов давлением» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Прокошкин Сергей Дмитриевич
E-mail: prokoshkin@tmo.misis.ru
Тел.: +7(499)230-2863

01.12.2022

Подпись _____ удостоверяю,

Должность _____

Печать организации _____



И.М. ИСАЕВ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Почтовый адрес: 119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр.
Тел.: +7 495 955-00-32 E-mail: kancela@misis.ru