

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

Санкт-Петербургского

государственного университета

Аплонов Сергей Витальевич



2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Тихомировой Ксении Алексеевны «Феноменологическое моделирование процессов фазового и структурного деформирования сплавов с памятью формы. Одномерный случай», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы диссертации. В настоящее время все более широкое использование сплавов с памятью формы (СПФ) в технических устройствах стимулирует создание эффективных средств расчета их функционально-механического поведения. Среди различных моделей важное место занимают феноменологические теории. Их положительными качествами является малое количество внутренних переменных, относительная простота уравнений и процедур определения материальных постоянных и материальных функций. Эти особенности макромоделей также делают их более удобными для использования при решении краевых задач. В то же время, для расширения области применимости, макромодели должны опираться на знания о структуре СПФ и механизмах деформационных процессов. Направленная на решение таких задач, рассматриваемая диссертация, несомненно, является актуальной.

Фундаментально-научное значение результатов диссертации состоит в том, что она внесла вклад в систему представлений о механизмах фазовых и структурных переходов в СПФ. В частности, экспериментально проверена гипотеза об эквивалентности мартенсита, полученного непосредственно охлаждением при действии механического напряжения, и мартенсита, полученного охлаждением в свободном состоянии и затем подвергнутого

мартенсита, полученного охлаждением в свободном состоянии и затем подвергнутого деформации. Данная гипотеза затем легла в основу построения оригинальной феноменологической модели.

Практическая значимость диссертации обусловлена тем, что разработанная модель СПФ может быть эффективно использована для решения практических задач по расчету сил и перемещений, создаваемых рабочими элементами приводов и силовых устройств из СПФ.

Научная новизна работы состоит в том, что, во-первых, в ней впервые экспериментально проверена гипотеза о независимости диаграммы деформирования образца в мартенситном состоянии от способа достижения этого состояния: только за счет фазового превращения или в результате последовательной реализации сначала фазового, а затем структурного перехода. Во-вторых, с использованием данного результата была построена оригинальная феноменологическая модель деформации СПФ, в которой основной характеристикой мартенситного элемента является только его ориентация, но не способ ее достижения в результате фазового или фазово-структурного перехода. В-третьих, построенная модель позволяет учитывать историю изменения напряжения, при действии которого происходит фазовое превращение.

Достоверность результатов, полученных в диссертации, обусловлена тщательным проведением эксперимента за счет обеспечения однородности температуры, минимизации погрешностей измерения деформации (посредством использования катетометра), минимизации колебаний образца. Достоверность результатов численного расчета подтверждается внутренней сходимостью – независимостью решения от величины шага интегрирования уравнений и соответствием результатов расчета экспериментальным данным.

Диссертация хорошо **апробирована**. Ее результаты доложены на ряде российских и международных научных конференций. Имеется достаточное число публикаций в журналах, рекомендованных ВАК.

В диссертации приведен **достаточный обзор** известных моделей поведения СПФ – как микроструктурных, так и макроскопических – свидетельствующий о глубоком знакомстве автора с данной тематикой. Рассмотрены различные классы моделей, описывающих явления мартенситной неупругости, отмечены их достоинства и недостатки. Отмечено, что в ряде моделей введены внутренние переменные, задающие объемные доли ориентированного и неориентированного мартенсита. В таких моделях необходимо вводить особые условия для образования этих видов мартенсита и для перехода между ними, что значительно усложняет модель.

Диссертация содержит достаточное количество иллюстраций, что облегчает ее чтение.

Среди значительных результатов диссертации, не отмеченных в разделе научная новизна, можно выделить следующие.

1. Оригинальность построения модели, в которой история формирования мартенсита привязана к текущему значению его объемной доли, а история изменения напряжения фиксируется специальной функцией «управляющего напряжения». Этот подход позволил автору описать изменение деформации при переменном напряжении, а также описать реверсивный эффект памяти формы при обратном превращении.
2. Предложен метод расчета деформации при сжатии путем масштабирования диаграммы при растяжении. Полученная диаграмма была успешно использована при решении задачи о сжатии стержня из СПФ и задачи о совместном деформировании пакта стержней.
3. Решена связная задача для пакета стержней, температура которых изменяется вследствие процесса теплопроводности. Найдены распределения напряжения и деформации в стержнях.
4. Показано, что созданная модель допускает классификацию диаграмм деформирования СПФ, полученных для разных фазовых состояний, и наблюдающихся на опыте.

По тексту диссертации можно сделать следующие **замечания**.

1. Хотя диссертация посвящена моделированию деформации в произвольном СПФ, всюду подразумевается – никелид титана. Не сделано никаких замечаний, какие изменения необходимо внести в модель, чтобы можно было описывать деформацию других СПФ.
2. В разделе 5.4 рассмотрена пластическая деформация. Никак не комментируется возможность ее влияния на мартенситное превращение и переориентацию мартенсита.
3. При описании экспериментов не указаны характеристические температуры и скрытая теплота превращений в СПФ в состоянии поставки при нулевом механическом напряжении.
4. На с.36 и затем на с.58 указывается, что изменение объема при прямом превращении в никелиде титана составляет +0.34%. Однако, литературные данные, основанные на рентгеноструктурных исследованиях, дают различающиеся

значения объемного эффекта от -0.3% до $+0.1\%$. Величина изменения объема в TiNi зависит от состава, ее непосредственное измерение затруднительно и не дает возможности обеспечить такую точность. Результаты измерения на дилатометре сильно зависят от текстуры образца и не могут быть использованы для измерения объемного эффекта.

5. При исследовании изменения деформации в процессе охлаждения при ступенчатом уменьшении нагрузки приведен только один пример, когда напряжение уменьшается от 200 МПа до 50 МПа. Большой теоретический интерес с точки зрения исследования деформации ориентированного превращения представляет случай уменьшения напряжения до нуля, который в диссертации не рассмотрен.

6. Замечания по оформлению.

(а) Графики на с.66 следовало бы построить так, чтобы в более крупном масштабе отобразить изменение деформации в интервале температур превращения.

(б) пропущен знак производной по времени в формуле на с. 132.

Сделанные замечания не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку диссертации, которая является законченным исследованием, выполненным на высоком научном уровне. Полученные в диссертации результаты являются новыми, имеющими большое фундаментально-научное и практическое значение, и вносящими весомый вклад в развитие представлений о механизмах деформации сплавов с памятью формы и создания эффективных средств моделирования их функционально-механических свойств. Они в достаточной мере опубликованы в 5-ти научных статьях, 4 из которых – в журналах рекомендованных ВАК.

Автореферат достаточно полно и правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертации целесообразно использовать организациях, занимающихся экспериментальным изучением и моделированием функциональных материалов с памятью формы, в частности в ИМСС УрО РАН, ПНИПУ, ИПРИМ РАН, СПбГУ, МИСиС, ИПМаш РАН, Национальный исследовательский Томский государственный университет, ТГАСУ, ФТИ им.А.Ф.Иоффе РАН, ИФМ УрО РАН.

Считаем, что диссертация Тихомировой Ксении Алексеевны «Феноменологическое моделирование процессов фазового и структурного деформирования сплавов с памятью формы. Одномерный случай» соответствует критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства

РФ №842 от 24.09.2013, редакция от 29.05.2017 г. №650, а ее автор Тихомирова К.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела».

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела», профессором кафедры Теории упругости федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» Александром Евгеньевичем Волковым.

Диссертация рассмотрена, а отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры теории упругости математико-механического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет», протокол 79.08/23-04-7 от 20 сентября 2018 г.

Профессор с возложенной обязанностью

заведующего кафедрой теории упругости,

акад. РАН, д.ф.-м.н., профессор

Морозов Никита Федорович

Профессор кафедры

теории упругости, д.ф.-м.н.

Волков Александр Евгеньевич

Сведения о ведущей организации.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Почтовый адрес: 199034 Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб. д. 7/9

Тел.: +7 (812) 328-20-00; адрес электронной почты spbu@spbu.ru.

Веб-сайт: <https://spbu.ru>



Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей