

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Япаровой Елизаветы Николаевны на тему: «Моделирование функционально-механического поведения пористого сплава с памятью формы на основе аппроксимации его структуры как балочной конструкции», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Актуальность темы диссертации. Сплавы, обладающие эффектом памяти формы, имеют широкий спектр применения в различных областях техники, например в аэрокосмической промышленности и, в особенности, в медицине в виде хирургических инструментов и различного рода имплантов, заменителей и фиксаторов костных тканей и их соединений. Последние изготавливаются, как правило, из пористых сплавов с памятью формы. При отсутствии исчерпывающих данных о свойствах этих материалов существует потребность в построении достаточно простых и в то же время точных моделей механического поведения пористых сплавов с памятью формы. В связи с этим тема диссертации, посвященной моделированию функционально-механических свойств пористого сплава с эффектом памяти формы на основе TiNi при учете особенностей пористой структуры, несомненно, является актуальной.

Новизна полученных результатов. Наиболее значительными новыми результатами диссертации являются:

Построены модели функционально-механического поведения пористых сплавов с памятью формы, содержащих поровые каналы различной ориентации, на основе их аппроксимации балочными конструкциями и разработана методика определения геометрических параметров этих каналов на основе статистического анализа микрофотографий. Построены диаграммы деформирования пористых образцов с различной структурой при сжатии в различных фазовых состояниях. Для образцов, полученных методом селективного лазерного плавления, построены зависимости обратимой и необратимой деформации от числа циклов термомеханического нагружения. Исследован эффект изменения деформации (эффект памяти формы) в модели высокопористого сплава с памятью формы при охлаждении и нагреве под нагрузкой.

Достоверность полученных результатов и выводов обусловлена использованием методов сопротивления материалов, уравнений апробированной микроструктурной модели сплавов с памятью формы, сравнением полученных численных результатов расчета различных пористых микроструктур с результатами экспериментов, приведенными в литературе.

Ценность для науки и практики. Разработанные в работе модели, аппроксимирующие различные пористые микроструктуры балочной конструкцией, позволяют описать изменение деформации пористого сплава с памятью формы, полученного различными методами, при изотермическом деформировании, а также при термо- и механоциклировании. При использовании представленных моделей можно оценить вклад различных механизмов деформирования на функционально-механическое поведение пористого сплава TiNi. Практическая значимость результатов диссертации заключается в том, что разработанные модели могут быть использованы при оценке свойств

изделий из пористого сплава с памятью формы, имеющего широкий диапазон применения, в частности, в медицине, при произвольных режимах изменения напряжения и температуры.

Работа объемом 105 страниц состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 207 наименований, 46 рисунков и 3 таблиц.

Во введении излагается актуальность темы диссертации, методика проводимых исследований, цели и задачи работы, основные положения, выносимые на защиту, достоверность, теоретическая и практическая значимость, апробация, структура и объем работы и список публикаций по теме диссертации.

В первой главе дан достаточно полный и содержательный обзор работ, связанных с особыми свойствами пористых сплавов с памятью формы. Указан ряд областей, в которых применяются различные сплавы с памятью формы. На основе обширной библиографии достаточно подробно описываются методы получения пористых сплавов с памятью формы и модели функционально-механического поведения различных сплавов с памятью формы для описания особенностей протекающих в них процессов. Приводится анализ существующих в литературе подходов расчету функционально-механических свойств пористых сплавов с памятью формы.

Во второй главе построены двумерные модели поведения пористого сплава с памятью формы в случаях, когда поровые каналы расположены параллельно и перпендикулярно направлению волны горения, а также для смешанного случая. Рассмотрен случай моделирования пористого сплава с памятью формы, полученного методом селективного лазерного плавления с простой кубической формой пор. В зависимости от типа структуры при моделировании образцы были аппроксимированы различными балочными конструкциями, на основе которых в рамках гипотез сопротивления материалов с использованием уравнений микроструктурной модели построены модели, описывающие поведение образцов с различной пористой структурой. В качестве элемента структуры с вертикальными каналами взят каскад из криволинейных балок, а с горизонтальными поровыми каналами, перпендикулярными оси образца, – совокупность балок в форме плоских прорезных пружин, имеющих различные геометрические параметры вертикальных перегородок. Описан способ расчета пошагового процесса деформирования вертикальной криволинейной балки. Обсуждаются пути определения геометрических параметров различных моделях.

В третьей главе проведены расчеты пористых образцов из TiNi со структурами, модели которых рассмотрены во второй главе диссертации. Геометрические и материальные константы модели выбраны по результатам анализа микрофотографий пористого TiNi, взятых из различных работ, а также панорамных снимков пористого TiNi с неупорядоченной структурой, полученных при помощи оптического микроскопа LOMO и обработанных посредством программы ImageExpertPro4. Представлены результаты расчетов образцов в зависимости от изменения напряжения и температуры при использовании известных соотношений микроструктурной модели, позволяющей описывать функционально-механические свойства сплава с памятью формы в аустенитном и мартенситном состоянии, а также при соответствующих фазовых превращениях. Показаны хорошее согласие расчетных зависимостей с результатами экспериментов.

В заключении приведены основные результаты работы.

Замечания по работе.

1. Работа содержит ряд упрощающих гипотез при построении модели пористой микроструктуры, которые в совокупности вносят неопределенную погрешность в результаты расчетов поведения макро-образца. К таким гипотезам относятся: замена пористой структуры системой балок, деформация каждой из которых не связана с деформацией остальных в силу жестких заделок концов балки; предположение о сохранении формы дуги окружности при изгибе криволинейной балки с жесткими заделками на концах; рассмотрение плоской структуры вместо объемной, из которой состоят образцы, исследуемые в экспериментах.
2. Работа написана очень лаконично. Например, неясно, что собой представляет модель микроструктуры, состоящая из каскада криволинейных балок. В работе говорится о пошаговом процессе деформирования (стр. 48) и пошаговом расчете, однако суть этого процесса и самого расчета не раскрыта.
3. На рис. 20 изображен участок поперечного сечения пористого образца, на примере которого вводится величина пористости, используемая в формулах на стр. 47. Если провести линию (горизонтальную или вертикальную) в таком сечении между перемычками, то значение этой величины равно 1 в отличие от тех значений, которые получаются в работе при чередовании пустот и перемычек вдоль проведенной линии.

Указанные замечания не умаляют значимости полученных результатов и не снижают общей положительной оценки работы.

Диссертация Япаровой Елизаветы Николаевны на тему: «Моделирование функционально-механического поведения пористого сплава с памятью формы на основе аппроксимации его структуры как балочной конструкции» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Япарова Елизавета Николаевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета

Доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры вычислительных методов
механики деформируемого тела факультета
прикладной математики – процессов управления СПбГУ



Греков Михаил Александрович.

10.05.2020