

ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию **Климова Кирилла Юрьевича** «Реономные свойства сплавов с памятью формы и их влияние на устойчивость», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04. – механика деформируемого твердого тела

В последнее время все большее внимание исследователей обращается к изучению изменения деформации сплавов с памятью формы (СПФ) во времени (реономное поведение). В обширных исследованиях, выполненных начиная с открытия в 1948 году Г.В.Курдюмовым эффекта памяти формы, данное явление обычно не рассматривалось ввиду ограниченности величины изменения структурно-фазовой деформации во времени, а также многообразия и сложности проявлений функционально механических свойств СПФ, не зависящих от скорости нагружения. Однако, при решении целого ряда практических задач возможность изменения деформации во времени при постоянной или даже убывающей нагрузке может иметь решающее значение. К таким задачам относятся, в частности задачи о потере устойчивости элементов конструкций, находящихся в условиях сжатия, которые реализуются в некоторых мартенситных приводах, например при регулировке формы крыла летательного аппарата. Таким образом, диссертационная работа К.Ю.Климова, посвященная разработке методов расчета реономной деформации СПФ и их применения при решении задач устойчивости сжатого состояния, несомненно, является **актуальной**.

Практическая значимость диссертации обусловлена тем, что результаты расчетов критической нагрузки, при которой происходит потеря устойчивости, необходимо учитывать при разработке практических приложений, в которых функциональные элементы из СПФ работают в условиях сжатия.

Разработка методов расчета реономной деформации СПФ являются естественным продолжением и расширением работ А.А.Мовчана, Л.Г.Сильченко, С.А.Казариной и их учеников, направленных на создание методов моделирования функционально-механического поведения СПФ, а также работ по исследованию процессов потери устойчивости элементами из СПФ в условиях протекания в них прямого и обратного мартенситного превращений. В этом состоит **фундаментально-научное значение** диссертации.

Данная работа, очевидно, обладает **научной новизной**, поскольку в известных работах по моделированию функционально-механического поведения СПФ реономные

свойства не учитываются. В этом отношении данную работу можно отнести к пионерским.

В работе предложены и исследованы различные подходы (модели) к описанию развивающейся во времени деформации СПФ, нагружаемых или деформируемых в мартенситном состоянии или нагружаемых с различными скоростями изменения напряжений. Очень подробно проанализированы условия, при которых данные модели дают описание, согласующееся с экспериментальными наблюдениями. Эти методы основаны на представлениях о существовании конечной зависимости структурно-фазовой деформации при предельно медленном и предельно быстром нагружении. Показано, что предсказываемые моделью зависимости описывают своеобразную ограниченную ползучесть СПФ, напоминающую вязкоупругое поведение полимеров. Автор диссертации подробно исследует особенности поведения модельного материала при различных аппроксимациях зависимости деформации при предельно быстрых и предельно медленных нагружениях функциями распределения экспоненциального, Вейбулла, нормального. Наилучшее соответствие с экспериментальными данным обеспечивает использование распределения Вейбулла. Везде, где возможно, автор стремится получить, аналитические формулы для расчета деформации.

Исследованные модели автор с успехом применяет для описания явления потери устойчивости стержня, закрепленного на вязкоупругом шарнире, сжатого стержня Эйлера и стойки Шенли. Несомненно, одним из важнейших результатов является получение формул для критических нагрузок, приводящих к потере устойчивости, причем как в квазистатической, так и в динамической постановках. Данные формулы могут быть рекомендованы для использования в инженерной практике при расчете сжатых функциональных элементов мартенситных приводов.

Достоверность результатов, полученных в диссертации, обеспечена использованием подробным анализом применимости различных моделей для описания реономной деформации, хорошим владением математическим аппаратом, аккуратным проведением вычислений, а также качественным соответствием найденных зависимостей деформации от напряжения при различных скоростях изменения напряжения или деформации известным экспериментальным данным.

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

Диссертация содержит **подробный обзор** экспериментальных работ, подтверждающих наличие эффекта ограниченной ползучести СПФ в мартенситном

состоянии, математических моделей для описания свойств СПФ и устойчивости элементов конструкций без учета ползучести.

Диссертация содержит достаточное количество иллюстраций, что облегчает ее чтение. **Автореферат** дает четкое представление о диссертации и в полной мере отражает ее содержание.

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

1. Для задания зависимостей деформации от напряжения при предельно медленном и предельно быстром нагружении допускается различное значение входящих в них материальных постоянных ρ_{D1} и ρ_{D2} . Однако, данная постоянная имеет физический смысл максимальной деформации, достижимой при переориентации мартенсита, которая ограничена кристаллографическим ресурсом превращения. Очевидно, этот ресурс может быть достигнут при достаточном уровне напряжения (зависящем от скорости нагружения) в том числе в условиях как низких, так и высоких скоростей изменения напряжения. В различных разделах диссертации, например, на с.70, 73, автор прямо указывает, что лучшее соответствие с экспериментом может быть получено, когда значения констант ρ_{D1} и ρ_{D2} близки.
2. На с. 29, с.48 рассмотрен процесс, при контролируемой скорости изменения структурно-фазовых деформаций, который невозможно реализовать в эксперименте.
3. Нет физического обоснования наличия скачка деформации при изменении напряжения, нет также сопоставления расчетной величины скачка с экспериментальной (раздел 2.2.6).
4. Можно сделать ряд замечаний по стилю оформления диссертации.
 - (а) отсутствуют подписи к рисункам, что затрудняет чтение работы;
 - (б) не хватает рисунков, разъясняющих выбор системы координат и других обозначений при описании задачи о сжатом эйлеровом стержне;
 - (в) не разъяснена аббревиатура МНК (с.13 и далее);
 - (г) не ясно, что отложено по осям координат на рис.1.11 и 1.12;
 - (д) не указаны единицы измерения величины k на с.30, постоянной γ на с.31;
 - (е) Не выдержана единая система обозначений, например, в разделе 2.1 полная деформация обозначена как ϵ^{tot} , а в разделе 2.2 как ϵ .

Сделанные замечания относятся, в основном, к оформлению работы и не изменяют общую положительную оценку диссертации, которая является законченным исследованием, выполненным на высоком научном уровне. Результаты представляют

несомненный научный и практический интерес. Проблемы, решению которых посвящена данная работа, актуальны, полученные результаты достоверны. Научная новизна работы сомнений не вызывает. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Полученные результаты достаточно полно описаны в публикациях автора. Таким образом, работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Климов Кирилл Юрьевич обладает необходимой квалификацией и заслуживает присуждения ему искомой ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04. – механика деформируемого твердого тела.

Профессор кафедры теории упругости
Санкт-Петербургского Государственного Университета
д.ф.-м.н.



А.Е.Волков

199034, Россия, Санкт-Петербург, Университетская наб. д.7-9
a.volkov@spbu.ru

Личную подпись заверяю

начальник отдела кадров

Н.И. Маштепа



Документ подготовлен
в порядке исполнения
трудовых обязанностей