

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Гончарова Иннокентия Александровича
на тему: «Моделирование влияния микроструктурных механизмов на
поведение материалов при сверхпластическом деформировании»
по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела»

Представленная диссертация посвящена моделированию сверхпластической деформации металлов и сплавов в рамках феноменологического подхода.

Явление сверхпластической деформации интенсивно исследуется с 60-х годов прошлого столетия, и уже в 80-е годы началось его успешное внедрение в технологические процессы штамповки и формовки широкого круга материалов для изготовления деталей авиакосмической техники, автомобилей и т.д. Собрана внушительная, но разрозненная по литературным источникам база экспериментальных данных (кривые деформации, зависимости напряжения от скорости деформации, от размера зерен, оптимальные температурно-скоростные интервалы сверхпластичности и т.д.), которые являются основой для подбора режимов технологических процессов. Достаточно широко используется также компьютерное моделирование этих процессов численными методами решения задач механики деформируемого твердого тела. При этом, однако, используются упрощенные определяющие соотношения, которые описывают механическое поведение материалов в узком интервале скоростей деформации и температуры, соответствующем оптимальным режимам сверхпластичности. Поэтому задача определения параметров математических моделей, описывающих кривые деформирования сверхпластических материалов в широком диапазоне температурно-

скоростных условий, учитывающих изменения параметров структуры материала, таких как средний размер зерен или распределение размеров зерен, а также деформационного упрочнения, представляет собой актуальную задачу механики.

Диссертационная работа состоит из четырех глав.

В первой главе на основе структурно-механических моделей сверхпластичности анализируется возможность описания хорошо известной сигмоидальной зависимости напряжения течения от скорости деформации в логарифмических координатах. Строго показано, что параллельное или последовательное соединение нелинейно-вязких элементов, подчиняющихся степенной зависимости напряжения от скорости деформации, не может описать сигмоидальную зависимость, а смешанное – может. Проведен анализ областей пространства параметров определяющих соотношений трех смешанно соединенных элементов, при которых получаются сигмоидальные кривые, характерные для сверхпластичности.

Вторая глава посвящена разработке алгоритма определения параметров моделей сверхпластичности, при которых определяющие соотношения описывают наиболее точно имеющуюся совокупность экспериментальных кривых деформирования материалов. За основу взяты соотношения между напряжениями и скоростью деформации, предложенные в работе Zhou и Dunne, эти соотношения дополнены соотношениями, определяющими изменение размера зерен, а также упрочнение, вызванное накоплением дефектов при деформации. Разработан алгоритм, позволяющий, последовательно вводя в рассмотрение основные соотношения, затем – соотношения, описывающие изменение размера зерен и упрочнение и подбирая соответствующие параметры, добиваться наилучшего описания имеющейся совокупности деформационных кривых и других

экспериментальных зависимостей. Показано, что полученные с использованием предложенного алгоритма модели обладают предсказательной силой, а сам алгоритм демонстрирует устойчивость по отношению к шумам во входных данных.

Третья глава фактически является апробацией соотношений с рассчитанными во второй главе параметрами при решении классической задачи моделирования сверхпластической формовки листа. Основным недостатком ранее проведенных исследований в этой области является использование определяющих соотношений, справедливых только для узкого интервала скоростей деформации, тогда как в этом процессе скорость деформации в различных частях формуемого листа может меняться значительно и не является постоянной на протяжении всего процесса. Новизна подхода в этой главе заключается в том, что использованы определяющие соотношения, учитывающие эволюцию размера зерен и упрочнение в процессе деформации, и получены принципиально новые особенности результатов расчета, как то существование для каждой скорости деформации оптимального размера зерен, а для каждого размера зерен – оптимальной скорости деформации, когда параметр, названный параметром неоднородности истончения листа, минимален. Этот минимум без учета роста зерен не зависит от исходного размера зерен, а с учетом роста зерен по развитой в работе модели минимум параметра неоднородности, который может быть достигнут, убывает с уменьшением исходного размера зерен, хотя не может быть сведен к нулю. Факт, что при уменьшении исходного размера зерна оптимальная скорость деформации возрастает, согласуется с экспериментальными данными и важен для практических применений формовки.

В четвертой главе сделана попытка учета эволюции более детальной, чем средний размер зерен, структурной характеристики, как распределение размеров зерен. Поскольку в процессе сверхпластической деформации, в зависимости от температуры и скорости, может происходить и рост зерен, и появление новых зерен за счет динамической рекристаллизации, распределение зерен по размерам сложно изменяется с деформацией. Рассмотрены различные математические модели измельчения, предложена так называемая модель с неполным измельчением, в которой допускается вероятностный характер деления зерен с размерами выше некоторого критического. С помощью этой модели качественно удалось описать такую особенность, как смещение максимума распределения размеров зерен влево при высокой скорости сверхпластической деформации. Результаты этой главы в количественном плане менее удачны, чем результаты предыдущих, поскольку предлагаемые модели не имеют должного физического обоснования. Вместе с тем, предлагаемые алгоритмы будут очень полезны, если когда-либо удастся найти подходящую физическую модель.

Представляется, что задачи диссертации, прежде всего, имеют практическую направленность, а именно на обеспечение инженеров, рассчитывающих технологические процессы сверхпластического формообразования сплавов, рабочими определяющими соотношениями, более точно описывающими поведение тех или иных используемых в производстве сплавов. Третья глава показывает, что эти соотношения работают, а четвертая показывает, что имеются перспективы дальнейшего развития и повышения точности. Вместе с тем, работа имеет фундаментальную, теоретическую ценность, так как в ней разрабатываются математические алгоритмы, позволяющие решать сложные задачи определения большого количества

параметров определяющих соотношений и максимального приближения к феноменологическому описанию деформационных кривых.

Результаты работы, несомненно, достоверны, так как в ней использованы строгие математические подходы, а работа моделей верифицируется сравнением с экспериментальными результатами. Это же определяет и обоснованность основных положений диссертации.

К диссертации имеются следующие замечания.

1. Структура диссертации несколько необычна. Обычно в конце диссертации на основании изложенных результатов делаются выводы. В данной же работе имеется только заключение в виде краткого резюме. Впрочем, этот недостаток компенсируется четко сформулированными основными положениями.

2. Алгоритм определения параметров, разработанный в главе 2, имеющий, как автор утверждает, достаточно общий характер, другим исследователям трудно воспроизвести, так как в диссертации не приведены программы, его реализующие. Или, если это интеллектуальная собственность, стоило бы зарегистрировать соответствующие программы и дать на них ссылки.

Указанные замечания имеют общий характер и не умаляют значимости диссертационного исследования. Результаты диссертации опубликованы в авторитетных журналах и доложены в ряде профильных конференций и семинаров. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском

государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Гончаров Иннокентий Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник, заместитель директора
по научной работе Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института проблем
сверхпластичности металлов Российской академии
наук

НАЗАРОВ Айрат Ахметович

7 октября 2021 г.

Контактные данные:

тел.: 7-347-282-37-50, e-mail: aanazarov@imsp.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
01.04.07 – Физика твердого тела

Адрес места работы:

450001, РФ, г. Уфа, ул. Степана Халтурина, д. 39, Федеральное
государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем
сверхпластичности металлов Российской академии наук

Тел.: +7-347-223-64-07; e-mail: imsp@imsp.ru

Подпись сотрудника Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института проблем сверхпластичности металлов
Российской академии наук А.И. Назарова удостоверяю:

Начальник отдела кадров

Т.П. Соседкина

8 октября 2021 г.

