



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «УГАТУ»)**

К. Маркса ул., д. 12, г.Уфа, 450008. Тел.: (347) 272-63-07(347); факс: 272-29-18, e-mail: office@ugatu.su; <http://www.ugatu.su>
ОКПО 02069438, ОГРН 1030203899527, ИНН/КПП 0274023747/027401001

№ _____

На № _____ от _____

Утверждаю:

**Врио ректора
ФГБОУ ВО «УГАТУ»**



**С.В. Новиков
2019 г.**

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Омара Ахмеда Омара Мослеха «Сверхпластическая деформация титановых сплавов с разной исходной микроструктурой», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов».

Актуальность темы исследования

Диссертационная работа Омара Ахмеда Омара Мослеха посвящена решению актуальной проблемы изучения поведения титановых сплавов ВТ6, ВТ14 и ОТ4-1 при сверхпластической деформации и сверхпластической формовке. Поставленные цели и задачи отвечают требованиям современной техники, их решение позволит повысить качество деталей из титановых сплавов, получаемых методом сверхпластической формовки, который применяется для изготовления изделий сложной геометрии в авиакосмической отрасли.

Работа рассматривает интегрированный подход для изучения деформации и формообразования титановых сплавов в сверхпластичном состоянии. Целью предлагаемого подхода является объединение математических, имитационных и экспериментальных, в том числе микроструктурных, исследований для разработки моделей деформационного поведения в сверхпластичном состоянии, оптимизации режимов формообразования выбранных титановых сплавов и анализа действующих при сверхпластической деформации механизмов. Используемые в исследовании методы включают анализ деформационного поведения сплавов при одноосном растяжении и эволюции микроструктуры при сверхпластической деформации, в том числе структуры поверхности образцов с нанесенными маркерными сетками и дислокационной структуры. Существенная роль отведена математическому моделированию зависимости напряжения течения от степени деформации в сверхпластичном состоянии, автор использует имитационное моделирование методом конечных элементов, необходимое для оптимизации процесса формовки. В работе представлен анализ технологических стадий формообразования и геометрии модельных деталей, полученных сверхпластической формовкой. Полученные

013347 *

экспериментальные данные использованы для разработки и проверки предложенных математических моделей, в т.ч. используемых как входные данные для выбора режимов формовки при имитационном моделировании. Ключевое внимание в работе уделено микроструктурному анализу, как при одноосном растяжении, так и при формовке в условиях двухосного растяжения.

Оценка структуры и содержания работы

Содержание и структура диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования, критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования.

Диссертационная работа Омара Ахмеда Омара Мослеха состоит из 7 глав. Глава 1 содержит обзор литературы по теме исследований с описанием особенностей титановых сплавов, их классификации и применения. Описаны принципы сверхпластической деформации, ее механизмы и факторы, определяющие показатели сверхпластичности. Глава 2 содержит методики микроструктурного анализа и механических испытаний, проведенных для исследования сверхпластичности сплавов ВТ6, ВТ14 и ОТ4-1. Главы 3 и 4 описывают результаты механических испытаний и анализа эволюции микроструктуры исследуемых сплавов при отжиге и сверхпластическом течении. В данной части работы представлены экспериментальные данные и проведен анализ результатов механических испытаний в связи с параметрами микроструктуры сплавов. При сверхпластической деформации в оптимальных температурно-скоростных условиях обнаружены признаки динамической рекристаллизации, более выраженной в сплаве ВТ14. Обсуждена роль действующих механизмов сверхпластической деформации в сплаве ВТ14 по результатам анализа изменений микроструктуры поверхности с нанесенными маркерными сетками при деформации на стадии установившегося течения. Анализ дислокационной структуры выявил признаки действия механизмов дислокационного скольжения и диффузионной ползучести, которая приводит к перераспределению β -фазы и ее локализации по границам зерен α -фазы.

Глава 5 описывает разработанные математические модели связи напряжения течения и температуры, скорости и степени сверхпластической деформации для сплавов ВТ6, ОТ4-1 и ВТ14, в том числе модели связи на основе уравнения Аррениуса, эмпирическую модель связи напряжения течения, степени и скорости деформации, учитывающую микроструктурный параметр материала, включающий размер зерен α и β фаз и их объемную долю. Перекрестная проверка предложенных моделей показала их адекватность для прогнозирования зависимости напряжение-деформация в состоянии сверхпластичности, при этом модель связи на основе уравнения Аррениуса и модель, учитывающая микроструктурные параметры, демонстрируют наиболее хорошую предсказуемость напряжения при сверхпластической деформации. Предложенные модели были учтены при реализации имитационного моделирования необходимого для получения деталей сложных форм методом конечных элементов (МКЭ), детали которого приведены в главе 6. Глава 6 также представляет результаты получения в лабораторных условиях модельных деталей методом СПФ, и анализа их микроструктуры. Разработан режим СПФ сплава ВТ14, позволяющий существенно уменьшить разнотолщинность получаемых деталей.

Глава 7 описывает результаты влияния дополнительного легирования на показатели сверхпластичности сплава ВТ14. Показано, что введение добавок железа и бора обеспечивает формирование ультрамелкозернистой структуры при термомеханической обработке, снижение β -трансуса и температуры равенства объемных долей фаз при сверхпластической деформации и, как следствие, температуры проявления сверхпластичности минимум на 100 °С при сохранении значений скорости деформации и повышении величины относительного удлинения.

Сформулированные автором основные выводы по работе являются новыми и представляются достоверными и обоснованными. Результаты диссертационной работы опубликованы в 8 статьях, входящих в список рекомендованных ВАК для кандидатских диссертаций и 6 сборниках трудов конференций, зарегистрировано НОУ-ХАУ №08-013-2019 ОИС от 04.10.2019. Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации.

Новизна полученных результатов

В работе установлено, что совместное легирование сплава ВТ14 0.1%В и 1.8%Fe обеспечивает формирование ультрамелкозернистой структуры при термомеханической обработке, снижение β -трансуса и температуры равенства объемных долей фаз при сверхпластической деформации и, как следствие, температуры проявления сверхпластичности минимум на 100 °С при сохранении значений скорости деформации и повышении величины относительного удлинения. Показано, что при сверхпластической деформации в оптимальных температурно-скоростных условиях на границах зерен/субзерен и в теле α -зерен формируются отростки β -фазы, что указывает на действие механизма диффузионного массопереноса, обеспечивающего дополнительную аккомодацию зернограницного скольжения в исследуемых титановых сплавах.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современных методов исследования, повторяемостью выявленных закономерностей, сопоставимостью результатов с данными других авторов. Результаты исследований опубликованы в реферируемых научных изданиях из перечня ВАК и журналах, входящих в международные базы, а также апробированы на всероссийских и международных конференциях.

Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертации

В работе установлены закономерности влияния микроструктурных параметров на показатели сверхпластичности исследуемых сплавов; математические модели связи напряжения с температурой, скоростью и степенью сверхпластической деформации. Показаны особенности эволюции зеренной/субзеренной и дислокационной микроструктуры и структуры поверхности, исследуемых сплавов при сверхпластическом течении. Определены режимы сверхпластической деформации и сверхпластической формовки выбранных титановых сплавов.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты работы вносят значительный вклад в развитие физического материаловедения, могут быть использованы в организациях, ведущих исследования по разработке новых конструкционных материалов и методов их обработки: ИМЕТ РАН (Москва), БелГУ (Белгород), ИФМ УРО РАН (Екатеринбург), ИФЕИМ СО РАН (Томск), НИ ТЕУ (Томск), ИПСМ РАН (Уфа), УГАТУ (Уфа), и других. Результаты могут быть использованы на промышленных предприятиях, в частности на предприятиях авиационной промышленности при разработке новых технологий получения высокопрочных материалов методами сверхпластической формовки.

Замечания по диссертационной работе

1. За редким исключением анализ литературы описывает статьи на английском языке, при этом, работы российских ученых слабо проанализированы, хотя некоторые их данные обобщены в цитируемых автором монографиях. Это является определенным недостатком приведенного литературного обзора.

2. Автор не приводит технологию получения листов сплавов стандартного состава, при этом очевидно, что технология будет в значительной мере определять конечный размер зерна, а значит и показатели сверхпластичности. Сравнивая сплав ВТ14 стандартного состава и новый сплав с добавками железа и бора, необходимо определить насколько используемая технология получения листа сплава, и насколько химический состав определяют его конечные свойства.

3. По тексту работы встречаются опечатки, например, в работе и публикациях автора по теме диссертации указано, что исследуемые листы сплава ВТ6 содержат 6%Al, а в таблице 2.1 диссертации, вероятно ошибочно, приведено 6.9%Al, что выше, чем допустимое содержание алюминия по марке сплава. Также в русскоязычной литературе не существует термина бета-трансус (в англоязычной - β -transus). Применяется термин: температура полиморфного превращения $\beta \rightarrow \alpha$.

4. Из автореферата не совсем понятно, каким образом была получена ультрамелкозернистая (УМЗ) структура при легировании сплава ВТ14 бором и железом. В чем физика данного процесса? С одной стороны, автор показал, что формирование УМЗ структуры позволило снизить температуру проявления сверхпластичности на 100 град. С другой стороны, после сверхпластичной деформации в микроструктуре листов присутствуют крупные (более 3 мкм) зерна β и α фаз.

Заключение по диссертации о соответствии её требованиям

Диссертация Омара Ахмеда Омара Мослеха на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. В целом, диссертация выполнена на высоком научном уровне и соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС», а ее автор Омар Ахмед Омар Мослех заслуживает присвоения искомой степени по специальности 05.16.01 - «Металловедение и термическая обработка металлов».

Результаты диссертационной работы были заслушаны и обсуждены на научном семинаре научно-исследовательского института физики перспективных материалов и кафедры материаловедения и физики металлов ФГБОУ ВО «УГАТУ» 15 ноября 2019 г, протокол № 5. На семинаре присутствовало 23 человека, из них докторов наук – 7 человек, кандидатов наук - 11 человек.

Отзыв составлен:

д. ф.-м. н., профессор

Директор научно-исследовательского
института физики перспективных материалов
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»



Р.З. Валиев

18.11.2019г.

Докторская

диссертация защищена

по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

д.т.н., ведущий научный сотрудник
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
авиационный технический университет»



И.П. Семенова

18.11.2019г.

Докторская

диссертация защищена

по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Адрес организации: 450008, Республика Башкортостан,
г.Уфа, ул. К. Маркса, д.12

Рабочий телефон: 8(347)273-34-22

Адрес эл. почты: ruslan.valiev@ugatu.su, semenova-ip@mail.ru

