

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по
инновационной деятельности
ФГБОУ ВО «Уфимский университет
науки и технологий»
кандидат технических наук, доцент

Агеев Г.К.

«15» сентября 2023 г.



О Т З Ы В

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Постниковой Марии Николаевны
«Разработка сплавов с низкотемпературной сверхпластичностью на основе
системы Ti-Al-V-Mo, легированных эвтектоидообразующими элементами и
бором», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по научной специальности 2.6.1. Металловедение и
термическая обработка металлов

Актуальность темы диссертации

Диссертационная работа Постниковой Марии Николаевны посвящена решению актуальной проблемы снижения температуры сверхпластической деформации двухфазных титановых сплавов. Цель и задачи исследования отвечают требованиям современной техники, их решение позволит повысить эффективность процесса сверхпластической формовки и улучшить качество получаемых деталей сложной геометрической формы, применяемых в авиационной промышленности.

Теоретическая значимость

1. Показано, что легирование титанового сплава Ti-4Al-3Mo-1V β -стабилизаторами Fe, Ni и Co, которые обладают высоким коэффициентом диффузии в β -фазе, обеспечивает повышение показателей сверхпластичности

не только за счет увеличения объемной доли пластичной β -фазы, но и за счет увеличения эффективного коэффициента диффузии сплава.

2. Установлено, что малые добавки бора (до 0,1 мас. %) в сплавах Ti-4Al-3Mo-1V способствуют измельчению зеренной структуры на стадии кристаллизации, в то время как повышение концентрации бора до 1-2 % не оказывает модифицирующего эффекта. Сверхпластическая деформация сплавов с добавкой 0,01–0,1 % сопровождается существенным снижением напряжений течения на начальной стадии, что связано с ускорением процессов рекристаллизации и глобуляризации фаз за счет наличия в структуре включений боридов титана.

3. Выявлено, что добавка эвтектоидообразующих β -стабилизаторов эффективно снижает температуру сверхпластической деформации сплава Ti-4Al-3Mo-1V-0,1B с 875 до 625 °C за счет одновременного увеличения доли высокодиффузионной β -фазы и диффузионной способности сплава.

4. Установлено, что увеличение концентрации Mo от 1 до 5 % в сплаве Ti-4Al-xMo-1V-1Fe-1Ni-0,1B способствует снижению температуры достижения сверхпластичности с 775 до 625 °C, что связано с повышением объемной доли β -фазы, а также снижает риск образования хрупкой интерметаллидной фазы Ti_2Ni , опасной с точки зрения показателей сверхпластичности.

Практическая значимость

1. Установлено, что добавка 0,5-2 % Fe, 0,9-1,8 % Ni и 2 % Co в сплав Ti-4Al-3Mo-1V обеспечило низкотемпературную сверхпластичность с удлинениями 500–1000 % и коэффициентом скоростной чувствительности более 0,45 при промышленно значимой скорости деформации $1 \times 10^{-3} \text{ с}^{-1}$.

2. Показано, что малые добавки бора (0,01–0,1 мас. %) эффективно измельчают зеренную структуру на стадии кристаллизации слитка и способствуют формированию рекристаллизованной структуры после отжига перед началом сверхпластической деформации.

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, выводов, списка использованной литературы, включающего 144 источника. Объем работы: 135 страниц, 75 рисунков и 30 таблиц. Информация, приведенная в

автореферате, соответствует основному содержанию диссертации и дает полное представление о её научных положениях, результатах и основных выводах.

Полученные результаты работы опубликованы в 6 статьях из списка ВАК и в высокорейтинговых журналах базы данных Web of Science/Scopus. Материалы диссертации были представлены на международных конференциях.

Во **введении** автор обосновывает актуальность темы диссертационной работы, формулирует ее цели и задачи, описывает научную новизну, указывает практическую значимость полученных результатов, приводит основные положения, выносимые на защиту, а также методологию исследований и личный вклад автора

В **первой главе** представлен аналитический обзор литературы по теме исследования с описанием особенностей титановых сплавов, их классификации и применения, а также обоснован выбор легирующих элементов. Определена проблематика, описаны уровень и достижения современных исследований.

Во **второй главе** приведены методики исследования сплавов, включающие описание проведения испытаний на сверхпластичность, определение механических свойств, количественного анализа эволюции микроструктуры на разных стадиях термомеханической обработки.

В **третьей главе** проанализировано влияние замены Mo, обладающего низким коэффициентом диффузии в β -фазе, на элементы с высоким коэффициентом диффузии (Fe, Co, Ni) на эволюцию микроструктуры и показатели сверхпластичности сплава BT14. Обсуждена роль Mo в деформационном поведении сплава Ti-Al-Mo-V в интервале температур сверхпластической деформации 775-875 °C, обсуждено изменение параметров микроструктуры в процессе сверхпластической деформации в сплавах при отсутствии и содержании 2 % Mo.

В **четвертой главе** представлены результаты исследования добавок бора от 0,01 до 2 мас.% на параметры микроструктуры в процессе кристаллизации и перед началом сверхпластической деформации. Анализ микроструктуры в литом состоянии выявил эффективное измельчение зеренной структуры в литом состоянии при добавке бора в интервале 0,01-0,1 %, которая также обеспечивает формирование фрагментированной

равноосной микроструктуры перед началом сверхпластической деформации, благоприятной для зернограницного скольжения.

В пятой главе приведены результаты исследования легирования сплава Ti-4Al-3Mo-1V быстро-диффундирующими элементами на сверхпластичность при пониженных температурах 625-775 °С и механические свойства при комнатной температуре. Показано, что во время сверхпластической деформации увеличение содержания Fe, Ni и Co способствует усилению процессов рекристаллизации и фрагментации, а также облегчению процесса зернограницного скольжения.

В шестой главе проанализированы особенности сверхпластической деформации сплавов группы Ti-4Al-(1-5)Mo-1V-0,1B-1Ni-1Fe. Определена критическая концентрация объемной доли β -фазы, необходимой для стабильного сверхпластического течения при пониженных температурах.

Автореферат диссертации полно и правильно отражает ее содержание. Диссертация является законченной научно-квалифицированной работой, а сформулированные автором основные выводы по работе являются новыми и представляются достоверными и хорошо обоснованными.

Достоверность полученных результатов и их обоснованность обеспечены большим объемом выполненных экспериментов с применением широкого спектра современного оборудования и методов анализа.

Рекомендации по использованию результатов и выводов

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в научно-исследовательских организациях и вузах, занимающихся проблемами материаловедения и термической обработки металлов и сплавов, например ФГБУН «Институт физики металлов имени М.Н. Михеева» УрО РАН, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский томский политехнический университет», НИЦ «Курчатовский институт», ФГБУН Институт металлургии им. АА. Байкова РАН, ФГБУН Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, госкорпорации «Росатом» и в других учебных и научных учреждениях, а также на предприятиях Объединенной двигателестроительной корпорации.

В процессе обсуждения диссертационной работы возникли следующие замечания

1. При исследовании эволюции микроструктуры исследуемых сплавов после сверхпластической деформации (СП) автор ограничился результатами растровой электронной микроскопии, включая EBSD анализ. Однако более полную информацию о механизмах трансформации микроструктуры после СП дает просвечивающая электронная микроскопия, рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ. К сожалению, в работе отсутствуют эти данные.

2. По результатам механических испытаний образцов на растяжение при комнатной температуре после СП относительное удлинение для сплава ВТ14 и исследуемых составов сплавов находится в интервале от 4 до 8%. Выглядит несколько странно, так как для двухфазных титановых сплавов при прочности 800-900 МПа обычно относительное удлинение не ниже 10%. Как можно объяснить невысокую пластичность исследуемых образцов?

3. Работа представлена к защите по научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов, технические науки, однако в диссертации отсутствует оценка практической реализации низкотемпературной сверхпластичности при формовке листов из предлагаемых сплавов на демонстрационных образцах.

Соответствие содержания диссертации указанной специальности

По объектам, целям, методам и содержанию диссертация соответствует п. 1. Изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами диаграмм, в том числе диаграммами состояния) с физическими, механическими, химическими и другими свойствами сплавов .паспорта специальности 2.6.1.- Металловедение и термическая обработка металлов по техническим наукам.

Несмотря на представленные замечания, считаем, что основные выводы, сформулированные в диссертационной работе, обоснованы и достоверны. 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 Постникова Мария Николаевна заслуживает присвоения искомой ученой степени по научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов.

Результаты диссертационной работы Постниковой Марии Николаевны были заслушаны и обсуждены на расширенном заседании кафедры материаловедения и физики металлов ФГБОУ ВО "УУНИТ", протокол № 1 от 31 августа 2023 г. На заседании присутствовало 27 человек, из них докторов наук – 9 человек, кандидатов наук – 10 человек.

Результаты голосования: «за» - 27 человек, «против» - 0 человек, «воздержались» - 0 человек.

Д. Т. Н.

Семенова Ирина
Петровна

г.н.с. лаборатории многофункциональных материалов

Диссертация защищена по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов

Д.Т.Н., доцент

Парфенов Евгений
Владимирович

заведующий кафедрой материаловедения и физики металлов

Диссертация защищена по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Сведения об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий»,
почтовый адрес:

450076, Республика Башкортостан, город Уфа, ул. Заки Валиди, д.32,
тел. 8 (347)272-63-70, факс: 8 (347)273-67-78,
e-mail:rector@uust.ru