

О Т З Ы В

официального оппонента кандидата технических наук Дьяконова Григория Сергеевича на диссертационную работу Поповой Евгении Николаевны «Влияние легирования и термической обработки на стабильность структуры и механические свойства сплавов системы Ti-10Al», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Актуальность темы исследований

Титановые сплавы, благодаря высоким характеристикам удельной прочности и удельной жаропрочности, являются одними из наиболее используемых материалов в авиационном двигателестроении. Из них изготавливаются детали вентилятора и компрессора низкого давления, которые работают до температур не выше 600°C. На данный момент считается, что эта температура является предельной для жаропрочных сплавов титана, причем длительность эксплуатации при этой температуре ограничивается 100 часами.

В тоже время сплавы на основе алюминидов титана могут работать и при более высоких температурах (650-700°C), однако их применение сдерживается низкими характеристиками пластичности и вязкости при комнатных температурах.

Хорошо известно, что для получения повышенных характеристик жаропрочности предпочтительно иметь в сплавах пластинчатую структуру, при небольших содержаниях β -фазы в пределах 5-7%, которую получают за счет деформации или термической обработки в β -области. Возможными способами увеличения длительности использования сплавов при повышенных температурах являются как дополнительное легирование сплавов тугоплавкими элементами, так и создание двухфазных $\alpha+\alpha_2$ -структур. Оба этих подхода имеют существенные проблемы. Так, все тугоплавкие элементы, применяемые в титановой промышленности, а именно: молибден, вольфрам, ниобий и тантал, являются β -стабилизаторами и их введение увеличивает количество термически нестабильной β -фазы, что в свою очередь будет увеличивать деформацию при ползучести. В случае создания $\alpha+\alpha_2$ -структуры при используемых в настоящее время режимах термической обработки наблюдается эффект охрупчивания

сплавов в следствие образования высокодисперсных частиц, которые достаточно равномерно распределяются как по телу зерен, так и по их границам. В этой связи на предприятиях стараются минимизировать количество выделяющейся α_2 -фазы для сохранения комплекса вязко-пластических свойств.

Таким образом, сформулированная в диссертационной работе цель, посвященная «изучению закономерностей процессов формирования структуры с большим количеством интерметаллидной фазы $\alpha_2(\text{Ti}_3\text{Al})$ в модельных сплавах системы Ti-10%Al, дополнительно легированных как β -стабилизаторами (молибден, ниобий, кремний), так и «нейтральными элементами» (цирконий, олово) с различной исходной структурой и установление ее влияния на комплекс механических свойств» является обоснованной с точки зрения научной и практической значимости.

Степень обоснованности научных положений, выводов

Диссертационная работа включает в себя введение, пять глав, общие выводы, заключение и список использованных литературных источников.

Первая глава (Литературный обзор) посвящена анализу литературных данных по тематике работы, рассмотрены основные сведения о принципах легирования жаропрочных сплавах титана и о процессах выделения упорядоченной интерметаллидной фазы $\alpha_2(\text{Ti}_3\text{Al})$. На основании выполненного обзора обоснованы задачи исследования.

Во второй главе представлены данные о материале исследования это титановые сплавы системы Ti-10мас.%Al, дополнительно легированные молибденом, ниобием, кремнием, оловом и цирконием в различных композициях. В работе изучены сплавы следующих составов: Ti10Al1Mo1Nb, Ti10Al1Mo1Nb4Zr, Ti10Al1Mo1Nb3Sn, Ti10Al1Mo1Nb4Zr3Sn и Ti10Al1Mo1Nb4Zr3Sn0,15Si. Представлены используемые методики исследования.

В третьей главе проанализировано влияние легирования на структуру сплавов, закаленных на мартенсит и состаренных при 650°C.

В четвертой главе проанализировано влияние легирования на структуру сплавов, закаленных из двухфазной ($\alpha+\beta$)-области, и состаренных при 650°C.

Пятая глава посвящена оценке влияния легирования и термической обработки на механические свойства исследуемых сплавов.

Основные результаты работы сформулированы в выводах.

Оценка новизны и достоверности

Научная новизна работы, по моему мнению, состоит в получении новых знаний в следующих направлениях:

- Впервые для сплавов системы Ti-10%Al легированных молибденом, ниобием, кремнием, цирконием и оловом исследованы процессы распада α' -мартенсита, которые сопровождаются формированием высокодисперсной смеси α , α_2 и β фаз.

- Показано, что тип и особенности структуры, сформированные предварительной термической обработкой, оказывают влияние на структурно-фазовые превращения при последующем старении исследуемых сплавов.

Эти результаты расширяют знания о закономерностях эволюции структуры и механических свойствах сплавов системы Ti-10%Al легированных β -стабилизаторами и «нейтральными элементами».

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается выбором различных современных методик исследований, позволяющих одновременно анализировать данные с различных сторон. Результаты исследований признаны научной общественностью, что подтверждается уровнем публикаций.

Практическая значимость диссертационной работы

Заключается в получении экспериментальных результатов востребованных для разработки технологий получения полуфабрикатов из новых титановых сплавов системы Ti-10%Al легированных молибденом, ниобием, кремнием, цирконием и оловом с повышенными прочностными свойствами для конструкционного применения.

В процессе ознакомления с диссертационной работой были сделаны следующие замечания:

1. В обзоре литературных данных в некоторых разделах (1.1 и 1.2) представлено большое количество частных результатов, которые характеризуют особенности тех или иных процессов. Однако, на мой взгляд, не хватает обобщения этих результатов в виде резюмирующих формулировок.

2. Данные ДСК анализа (рисунок 2.2) и результаты моделирования фазового состава (рисунок 2.1) на мой взгляд не полностью согласуются. В частности, согласно моделированию, доля Ti_3Al заметно увеличивается (от 0 до ~50%) в интервале от 900 до 500°C. Как это согласуется с результатами ДСК? Более

того, известно, что повышение температуры влияет на механизм образования частиц α_2 -фазы (гомогенный→гетерогенный), удастся ли методом ДСК зарегистрировать смену механизмов?

3. В главе 2 отсутствует подробная методика рентгеноструктурного анализа.

4. Обозначение фаз и важных структурных особенностей на снимках микроструктуры значительно улучшило бы восприятие материала, особенно это было бы актуально для автореферата.

5. Некоторые рисунки в диссертационной работе остались не обсуждены, либо на них отсутствуют ссылки в тексте (например 4.4 (в,г) 4,5 (б,в,г)).

6. Какую методику исследования границ использовал автор для определения антифазных границ на рисунках 4.8 а,в, 4.10 а и 4.11 а,в?

7. Представленные в работе результаты показали, что большее упрочнение от старения наблюдается для сплавов, закалённых из β -области, чем для сплавов, заваленных из двухфазной области. Автор предполагает, что подобный результат обеспечивается разными механизмами упрочнения. Вместе с этим в работе отсутствуют данные о доле выделяющихся дисперсных частиц в первом и втором случае, возможно разница в упрочении обусловлена долей частиц? По какой причине автор не приводит данные об изменении доли дисперсных частиц в зависимости от легирования и условий термической обработки?

8. Как известно результаты механических испытаний в значительной мере определяются схемой напряженного состояния. Мерой пластичности являются относительное удлинение δ и относительное сужение ψ , определяемые при испытаниях на растяжение. Поэтому представленные данные о пластичности исследуемых сплавов, требуют подтверждения в ходе испытаний на растяжение.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Поповой Евгении Николаевны.

Заключение

Диссертационная работа Поповой Евгении Николаевны представляет собой законченную научно-квалификационную работу, посвященную актуальным проблемам материаловедения и физики металлов. Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.6.1. - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, а также отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» в УрФУ. Автор Попова Е.Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент:

Дьяконов Григорий Сергеевич, кандидат технических наук по специальности 05.16.01 - Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный университет», г. Уфа, заведующий лабораторией многофункциональных материалов Центра «Высшая инженерная школа аэрокосмических технологий»

Дьяконов Григорий Сергеевич

Адрес:
450076, Россия, Республика Башкортостан
г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32
E-mail: dgr84@mail.ru
Номер телефона: +7(917)7410352



Подпись	<i>Г.С. Дьяконов</i>
Заверяю: ученый секретарь Ученого совета Башкирского государственного университета	
	С.Р. Баймова
« 31 » Октября	20 22