

ОТЗЫВ

официального оппонента Попова Артемия Александровича
на диссертационную работу Заводова Адриана Валентиновича
**«Фазовые и структурные превращения в сплаве ВТИ-4 на основе
интерметаллида Ti_2AlNb при горячей деформации и последующей
термической обработке»**, представленную на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и
термическая обработка металлов и сплавов»

I. Общая характеристика диссертационной работы

Диссертационная работа выполнена Заводовым А.В. в НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ в лаборатории металлофизических исследований. По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ в рецензируемых и рекомендованных ВАК журналах, содержание которых отражает все основные положения диссертации.

Представленная на отзыв диссертация объёмом 135 страниц состоит из аннотации, введения, 5 основных глав, включающих обзор современного состояния вопроса, три главы с экспериментальными результатами и одну главу с описанием методов.

Диссертация обладает понятной и логичной структурой, изложение работы преследует цель последовательного решения поставленных задач. В аннотации представлена краткая характеристика выполненной работы. Во введении приведены этапы изучения сплавов системы Ti-Al-Nb за последние 30 лет. Каждая из глав предваряется кратким описанием и обоснованием проведённых экспериментов, а в конце каждой главы сформулированы выводы, отражающие выявленные закономерности и найденные решения.

Структура и содержание диссертации в полной мере удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертационным работам. Тема работы соответствует специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

В первой главе «Современное состояние вопроса» проведён подробный анализ научно-технической литературы, посвященной сплавам на основе ортофазы. Автор выявляет нерешённые и неосвещённые проблемы, формулирует цели и задачи исследований.

Во второй главе «Объекты и методы исследований» приведены сведения о составе исследуемого сплава, методе его получения, описана методика проведения горячей изотермической осадки, а также все методы исследований, включая растровую, просвечивающую и оптическую микроскопию, рентгенофазовый анализ, ДСК анализ и методы подготовки.

В третьей главе «Процессы, происходящие в титановых ортосплавах при нагреве» проведены исследования изменения фазового и структурного состава сплава ВТИ-4 при нагреве до типичных температур деформационной обработки. Результаты получены несколькими взаимодополняющими методами, а в конце главы дана наглядная последовательность всех превращений в диапазоне температур от 850 до 1150 °С.

Четвёртая глава «Процессы, происходящие при горячей деформации» посвящена различным аспектам структурно-фазовых превращений, происходящих в сплаве во время горячей деформации. Рассмотрены вопросы текстурообразования, макроструктурной неоднородности, растворения и сфероидизации интерметаллидной О-фазы, изменения химического состава и параметров кристаллической решётки фаз при нагреве и горячей деформации. Всем наблюдаемым изменениям даны аргументированные объяснения, предложены механизмы образования отдельных состояний, реологическое поведение материала сопоставлено с соответствующими изменениями в структурном состоянии материала, т.е. дана связь «кривые нагружения-структура». В последней части главы представлены результаты численного моделирования, которые позволили установить значения напряжений и деформаций в зонах с различной проработкой и объяснить структурные изменения с точки зрения напряжённо-деформированного состояния.

В пятой главе «Статическая рекристаллизация, старение и оптимизация режима горячей осадки сплава ВТИ-4» приведены результаты рекристаллизационного отжига после горячей деформации по 15 различным режимам. На их основе составлена карта рекристаллизации, сформулированы рекомендации по проведению горячей осадки сплава ВТИ-4 и предложен многостадийный режим горячей осадки, позволяющий получить на экспериментальных образцах однородную структуру без зон локализации деформации. Последняя часть главы посвящена процессу роста О-фазы при старении как деформированного материала, так и после отжига.

II. Актуальность темы диссертации

В настоящее время предпринимаются активные попытки внедрения сплава ВТИ-4 и ему подобных в авиационном двигателестроении. Среди потенциальных изделий можно отметить лопатки компрессоров высокого давления, диски, кольцевые проставки, блиски и прочие. Изготовление вышеуказанных изделий не обходится без операций горячей деформации –ковки, осадки, раскатки. Учитывая меньшую по сравнению с традиционными титановыми сплавами пластичность, на производстве остаётся актуальной задача оптимизации режимов горячей деформации титановых ортосплавов.

Очевидно, что понимание структурного состояния материала непосредственно перед деформацией, его изменений в процессе деформационной обработки, позволяют задавать оптимальные температурные интервалы, скорости и значения деформаций. В диссертационной работе Заводова А.В. не только детально рассматриваются многие аспекты структурных превращений при горячей деформации, но и на основании исследований даются рекомендации по оптимизации режимов горячей осадки.

На основании вышесказанного, тему диссертационной работы Заводова А.В. считаю актуальной, а её результаты востребованными для дальнейшего освоения материала.

III. Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

К наиболее значимым научным результатам следует отнести детальный анализ структуры сплава, формирующейся при горячей осадке при работе путём горячей осадки в интервале температур от 850 до 1020°C. Автором убедительно доказана возможность образования мелкозернистой структуры с ярко выраженной аксиальной текстурой деформации после осадки при 850°C и предложен оригинальный механизм её формирования, заключающийся в фрагментации исходного β -зерна при пластической деформации за счёт интерметаллидной ортофазы.

Кроме того, автором также установлена причина сдерживания роста О-фазы при старении деформированного материала, заключающаяся в повышенной плотности малоугловых границ по сравнению с недеформированным состоянием.

Обоснованность и достоверность научных результатов и выводов обеспечивается применением современных методов исследований,

повторяемость при исследовании взаимодополняющими методами такими как электронная микроскопия, дифрактометрический анализ, спектроскопические и теплофизические методы. Выводы и рассуждения в работе проведены в рамках современных представлений о внутренних процессах в металлах и сплавах.

IV. Практическая ценность результатов

Автором диссертационной работы были получены значимые с практической точки зрения результаты, которые позволили сформулировать рекомендации к проведению горячей осадки сплава ВТИ-4. Приведённые рекомендации были учтены при отработке режима горячей деформации слитка из сплава ВТИ-4 на предприятии ПАО «Русполимет», что подтверждается актом об апробации.

В работе была построена карта рекристаллизации, с помощью которой можно определить диапазон температур и степеней деформации сплава, позволяющий реализовать в последующем рекристаллизационный отжиг и восстановить бестекстурное состояние.

Важным результатом является то, что выявленные закономерности формирования структуры, позволили разработать многоступенчатый режим горячей осадки сплава ВТИ-4, включающий промежуточные рекристаллизационные отжиги при температурах 1050 °С. Эффективность режима была показана на примере экспериментальных образцов, структура и текстура которых стала значительно однороднее по сравнению с исходным режимом осадки в одну ступень.

V. Список замечаний по диссертации

По форме и содержанию диссертации можно сделать ряд замечаний:

1) К сожалению, в литературном обзоре автор не приводит вертикальный разрез диаграммы состояния сплавов системы Ti_3Al-Nb , без которого сложно анализировать закономерности изменения фазового состава сплава при нагреве. По мнению оппонента, вывод о наличии однофазной β -области при температурах порядка 940°С неоднозначен и требует более аргументированного доказательства.

2) Диссертант не показывает температуру полного полиморфного превращения в сплаве ВТИ-4, которая, судя по его экспериментальным данным, лежит около 1150°С. Однако в большинстве работ эта температура,

как правило, меньше 1100°C . Необходимо объяснить причины такого различия с известными опубликованными результатами.

3) Автор часто вводит новые, не общепринятые термины. Так например на стр. 60 и далее появляется «деформационный язык», а на стр. 63 – «бездиффузионное скольжение субграниц» и т.д. По мнению оппонента, подобные термины не совсем удачны или требуют аргументированного пояснения.

4) При проведении рентгеноструктурного анализа, судя по представленным дифрактограммам, автор ограничивается диапазоном углов $2\Theta = 35 - 43^{\circ}$. В таком диапазоне нельзя рассчитывать периоды решетки с точностью до 5-го знака (стр.80). Поэтому сделанные выводы о изменении периодов, особенно «О» и « α_2 » -фаз, требуют уточнений.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы Заводова А.В., которая отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по техническим наукам.

VI. Заключение о соответствии диссертации критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Структура работы выстроена в соответствии с поставленной целью и задачами и удовлетворяет требованиям государственных стандартов к оформлению научно-исследовательских работ. Тема исследований раскрыта в полной мере, решение задач отражает научную новизну полученных результатов.

Автореферат содержит краткое описание диссертационной работы. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Цель и задачи, поставленные в работе выполнены, выводы имеют ясную формулировку и основаны на результатах экспериментов и логических рассуждений. Опубликованные работы отражают основные результаты диссертации.

Диссертация Заводова А.В. является научно-квалификационной работой, содержащей решение задач, соответствующих заявленной специальности. Объём проведённых исследований, их научно-технический уровень, актуальность решённых проблем, новизна и практическая значимость результатов соответствует критериям «Положения о присуждении учёных

степеней» предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата технических наук.

Работа выполнена на высоком научном уровне, с применением современных методов исследования, анализа и численного моделирования. Получены новые знания о формировании структурных состояний в сплавах системы Ti-Al-Nb в процессе горячей деформации и термической обработки, предложены пути решения проблемы неоднородной структуры, получаемой при деформации. Сформулированные рекомендации к проведению горячей осадки позволят ускорить технологическое освоение интерметаллидных ортосплавов. Работа соответствует всем требованиям ВАК РФ (п.9), а её автор – Заводов Адриан Валентинович заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
профессор, заведующий кафедрой
термообработки и физики металлов
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина»

Попов Артемий Александрович

(научная специальность 2.6.1 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»)

Почтовый адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19;

e-mail: a.a.porov@urfu.ru; тел.: +7 (343) 374-59-64

Подпись Попова А.А. удостоверяю

Учёный секретарь Университе



В.А. Морозова