

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертационной работе Пожого Василия Александровича на тему «Закономерности формирования структуры, технологических и механических свойств сплава на основе алюминидов титана при термоводородной обработке», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы диссертации

Титановые сплавы широко применяются в космонавтике, авиации, автомобильной промышленности и других отраслях, где необходимо сочетание малого удельного веса и достаточно высоких прочностных характеристик, в том числе жаропрочности.

Тем не менее, развитие техники требует разработки и внедрения новых, более легких и жаропрочных материалов. К таким материалам, в частности, относятся сплавы на основе алюминидов титана. По уровню рабочих температур, характеристикам жаростойкости и удельной жаропрочности они превосходят промышленные титановые сплавы и конкурируют с жаропрочными сталями и никелевыми сплавами.

Однако, применение сплавов на основе Ti_3Al (α_2 -сплавы), наиболее перспективного алюминидов, остается проблематичным из-за ряда нерешенных проблем, связанных, в первую очередь, с ограниченными возможностями управления структурой и свойствами α_2 -сплавов.

Поэтому весьма актуальным представляется решение указанной проблемы с использованием технологий, основанных на обратимом легировании водородом – термоводородной обработки (ТВО) и водородного пластифицирования (ВП), по которым на кафедре МиТОМ МАИ накоплен многолетний опыт.

Дополнительную актуальность работе придаёт применение комплексных технологий обработки полученных материалов с использованием вакуумного ионно-плазменного азотирования. Таким образом, решена важная задача формирования регламентированных структурных состояний, как в объеме, так и в поверхностных слоях сплавов на основе Ti_3Al .

Актуальность работы подтверждается также тем, что она выполнялась при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным

направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы», ГК № 14.513.11.0003 от 11.03.2013 г.

Общая характеристика работы.

В работе автором проведен подробный анализ существующей научно-технической информации. Использовано 124 источника, в том числе около 20 иностранных. Глубина поиска составила более 20 лет. Это позволило автору сделать вывод, что разработка жаропрочных материалов на основе алюминидов титана является актуальной задачей, решение которой позволит значительно расширить диапазон применения титановых сплавов в двигателестроении.

Исследования проводились на современном оборудовании, в частности: содержание водорода после вакуумного отжига определялась спектральным методом на спектрографе ИСП-51 с электронной аналитической приставкой МОРС-1/2048/РСІ и специализированным программным обеспечением; исследования микроструктуры проводили на оптическом микроскопе АХЮ Observer.A1m (Karl Zeiss Jena, Германия); анализ полученных изображений осуществляли с помощью программного комплекса NEXSYS ImageExpert Pro3; рентгеноструктурный фазовый анализ (РСФА) при комнатной температуре проводили на дифрактометре модели ДРОН-4 И ДРОН-7; кратковременные механические испытания на растяжение проводили согласно ГОСТ 1497–84 при нормальной температуре на универсальной машине TIRA-test 2300; параметр шероховатости измеряли на приборе «Hommel-Tester T500».

В результате проведенных исследований автором установлено, что в интервале концентраций водорода от 0,006 до 0,6% масс. температура $\alpha_2+\beta/\beta$ - перехода снижается с 1150 до 1050°C почти линейно, а повышение содержания водорода до 0,6% в наибольшей степени (на 190-200 МПа) снижает максимальное удельное усилие осадки (q_{max}) при температурах 850 - 950°C. Автором определен оптимальный интервал концентрации водорода для наиболее полного проявления эффекта водородного пластифицирования литого сплава Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr при температурах 950 - 850°C, а также возможности формирования бимодальных структур при последующем вакуумном отжиге.

Полученные результаты позволили предложить и реализовать технологию прокатки листов толщиной 2 мм из сутунки размерами 150x80x20 мм сплава Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr в литом состоянии, наводороженной до

концентрации 0,45%, за 18 проходов с суммарной степенью обжатия 90% при температурах от 950 до 800°C.

В работе втором установлены закономерности фазовых превращений и формирования структуры в сплаве с 0,44% водорода при распаде водородосодержащей метастабильной β -фазы в процессе старения в вакууме при температуре 550°C и последующего вакуумного отжига при температурах 850 и 950°C. Разработан двухступенчатый режим термовакуумной обработки, позволяющий сформировать бимодальную структуру. Определены кратковременные механические свойства сплава при температурах 20 и 700°C. Показано, что наибольшие прочностные характеристики при нормальной температуре достигаются у сплава с объемной долей первичной глобулярной α_2 - фазы 70%, а при температуре испытания 700°C – у сплава с 50% этой фазы.

Для того, чтобы в максимальной степени подготовить изучаемый сплав к практическому применению в качестве жаропрочного материала, автором изучено влияние вакуумной ионно-плазменной обработки на структурное состояние и физико-химические и эксплуатационные свойства полученного сплава.

Было показано, что вакуумное ионно-плазменное азотирование сплава Ti14Al-3Nb-3V-0,5Zr с бимодальной структурой при температурах 600 и 650°C приводит к образованию в поверхностном слое нитридов Ti_2N , TiN и Ti_3AlN . Установлены условия проведения обработки, при которой в наибольшей степени повышается коррозионная стойкость (стойкость к солевой коррозии), жаростойкость сплава и стойкость к эрозионному воздействию.

Основная научная новизна работы состоит в установлении температурных и концентрационных зависимостей объемных долей α_2 и β - фаз в структуре сплава, наводороженного в интервале температур от 800 до 1150 °C и концентраций водорода от 0,006% до 0,6% масс., позволивших обосновать выбор режимов для получения бимодальной структуры оптимального состава.

Новизна разработки подтверждена патентом РФ на изобретение №252003 от 10 июня 2014 г.

Практическая значимость работы состоит в разработке автором водородной технологии получения листов толщиной 2 мм из литого сплава Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr, обеспечившей в полуфабрикате высокий уровень прочностных свойств, и реализации на листовых образцах сплава технологии вакуумного ионно-плазменного азотирования с существенным повышением

сопротивления солевой коррозии, жаростойкости при температуре 700 °С и сопротивления эрозионному воздействию.

Достоверность и обоснованность основных научных положений и выводов диссертации определяются использованием современного оборудования и различных аттестованных методик исследований, значительным количеством экспериментальных данных и использованием методов математической статистики при обработке результатов.

Соответствие работы требованиям, предъявляемым к диссертациям

Автором выполнены все требования, предъявляемые к диссертациям. На основе анализа литературных данных, грамотно сформулированы цели и задачи исследования, выбраны объекты и методы их исследования. Экспериментальные результаты представлены четко, хорошо иллюстрированы как в виде графиков и фотографий структур, так и текста, их описывающего.

Диссертация и автореферат содержат необходимые разделы и соответствуют друг другу.

Замечания по работе:

1. Наиболее интересной практической задачей работы было добиться снижения деформационных усилий за счет введения водорода. Полученное снижение усилий деформирования авторы получили при содержании водорода 0,4 – 0,6 % и связали это с величиной деформационного разупрочнения за счет рекристаллизации, однако на стр. 91 они пишут, что с повышением содержания водорода эффект деформационного упрочнения снижается и связывают этого уже с уменьшением количества α_2 -фазы с повышением температуры, помимо этого в работе не обсуждается снижение сопротивления деформации за счет увеличения количества β -фазы, как это происходит во всех титановых сплавах. Так отчего же получили эффект от наводороживания: от увеличения деформационного упрочнения, от необходимого количества α_2 -фазы или от увеличения количества β - фазы.
2. Сомнительно утверждение, что автор столь точно в % определил металлографическим методом содержание α'' , α_2 и β -фаз. Необходимо статическое подтверждение.

3. Размеры частиц выделяющихся α_2 -первичной и α_2 -вторичной фаз определяют уровень механических свойств после термообработки, однако автор ограничился разовыми упоминаниями их размера.
4. Пластифицирование титановых сплавов временным легированием водородом хорошо работающий и известный факт, а сплав на основе интерметаллида титана самый низко-пластичный, так достигнутый на нем эффект соизмерим с результатами, полученными на других жаропрочных титановых сплавах ?
5. Приведенные на рис. 5.6 стр. 128 кривые изменения массы образцов после различного времени выдержки имеют один и тот же достаточно высокий угол наклона после всех опробованных режимов обработки, а по этому не ясно насколько сравнительно хороши приведенные режимы и приемлемы ли значения привеса, а ведь в авиации существуют определенные допустимые критерии привеса при окислении.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, цель и задачи, намеченные в начале работы, автором успешно выполнены.

Диссертация прошла апробацию на 11 конференциях различного уровня. По материалам диссертации имеется 10 публикаций, в том числе 8 статей в научных журналах, рекомендованных ВАК.

Можно констатировать, что представленная диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой изучены закономерности формирования структуры, технологических и механических свойств сплава на основе алюминиды титана при термоводородной обработке и вакуумном ионно-плазменном азотировании.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.


Заключение

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой изложено научно обоснованное

технологическое решение получения образцов листовых полуфабрикатов из слитковой заготовки жаропрочного сплава на основе алюминида титана Ti_3Al с использованием методов водородного пластифицирования и термоводородной обработки.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа отвечает требованиям п. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённом Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, и соответствует специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, а ее автор – Пожого Василий Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Полькин Игорь Степанович,
начальник научно-информационного центра
им. В.И. Добаткина, ОАО «ВИЛС»
д.т.н., профессор


11.08.17

Подпись Полькина И.С. удостоверяю,
Заместитель генерального директора ОАО «ВИЛС»,
д.т.н., профессор


Г.С. Гарибов

Горбунова улица, 2, Москва, 121596
ОАО «Всероссийский институт легких сплавов»
info@oaovils.ru
Телефон: 8 (495) 287-7400