

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель генерального директора по науке,
ученый секретарь ОАО «НИАТ»,
д.т.н., профессор



Егоров В.Н.

«01» 12 2017г.

Отзыв

ведущей организации на диссертационную работу Пожога Василия Александровича

«Закономерности формирования структуры, технологических и механических свойств сплава на основе алюминидов титана при термоводородной обработке», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность.

Сплавы на основе интерметаллидов титана и алюминия являются одним из наиболее перспективных жаропрочных материалов, внедрение которых в конструкцию газотурбинных силовых установок может значительно улучшить их удельную тягу и экономичность. Это обусловлено их превосходной удельной жаропрочностью, которая при температурах 600-700°C превосходит аналогичные показатели жаропрочных сталей и никелевых сплавов.

В последнее время в научно-технической литературе появились сообщения о практическом применении сплавов на основе интерметаллидов TiAl и Ti₂AlNb в деталях авиационных двигателей. Однако низкие значения пластичности этих материалов при нормальной температуре и плохая обрабатываемость давлением при высоких температурах сдерживают их широкое использование в конструкциях газотурбинных двигателей. В настоящее время большое внимание уделяется рассмотрению алюминидов титана - Ti₃Al. Краткосрочная попытка в 80-х годах прошлого века применить

это соединение как основу жаропрочного материала не принесла заметного успеха и сменилась работами с эквиатомным соединением TiAl, в тоже время, потенциал интерметаллида Ti₃Al не был раскрыт. В этом отношении диссертационная работа Пожого В.А., посвященная исследованию влияния термической и термоводородной обработки на структуру, технологические, механические и служебные свойства сплава на основе интерметаллида Ti₃Al позволяет вернуть научный и практический интерес к таким материалам и обладает несомненной научной актуальностью.

Общая характеристика работы.

Исследования в диссертационной работе Пожого В.А. проведены на опытном жаропрочном сплаве на основе Ti₃Al (Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr), который благодаря небольшому количеству β-стабилизаторов (Nb и V) имеет в равновесном состоянии некоторое количество β-фазы, благодаря которой не является хрупким при нормальной температуре по сравнению со сплавами стехиометрического состава. В тоже время содержание тяжелых β-стабилизаторов не столь высоко, чтобы заметно снизить значения удельной прочности материала.

В качестве методов преобразования структуры исследуемого сплава использована горячая деформация слитка и полуфабриката, термическая обработка и обратимое легирование водородом. Водородная технология рассматривается автором как эффективный метод управления структурой материала, обеспечивающий повышение технологических свойств в наводороженном состоянии (водородное пластифицирование) и формирующий конечные свойства полуфабриката или изделия при удалении водорода в процессе вакуумного отжига на конечной стадии обработки (термоводородная обработка).

Дополнительным методом повышения служебных характеристик сплава в работе является вакуумное ионно-плазменное азотирование, позволяющее значительно менять структуру и свойства поверхностных слоев изделия.

В качестве методов исследования в работе использованы оптическая металлография, рентгеноструктурный анализ, измерение твердости, деформируемость материала, а также испытания на механические, коррозионные и жаростойкие характеристик.

На первом этапе работы рассмотрено влияние дополнительного легирования водородом и температуры на фазовый состав и структуру изучаемого сплава. Результаты исследования обобщены в виде температурно-концентрационной диаграммы фазового состава сплава Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr с водородом. Это позволило автору целенаправленно выбрать условия горячей деформации материала и после испытаний образцов на осадку разработать технологию обработки давлением слитка, позволяющую получать на конечном этапе деформированные листы толщиной до 2 мм с хорошо проработанной глобулярной структурой α_2 -фазы. Особо следует отметить, что деформация проводится при температуре 950°C, при которой обрабатываются стандартные жаропрочные сплавы титана, что значительно ниже температур обработки сплавов на основе интерметаллида TiAl, поэтому ее применение для получения полуфабрикатов и изделий из опытного сплава Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr может осуществляться на действующем в настоящее время оборудовании двигателестроительных предприятий.

Готовое изделие из сплава на основе интерметаллида Ti₃Al не должно содержать водорода более 0,006% вследствие опасности замедленного хрупкого разрушения изделия. Поэтому на последнем этапе его изготовления необходим вакуумный отжиг, удаляющий водород до безопасных концентраций. В диссертационной работе Пожого В.А. такой отжиг используется для дополнительного управления структурой материала и получения необходимого комплекса механических свойств. С этой целью в работе проведены исследования влияния схемы и режимов вакуумного отжига на структуру изучаемого сплава. Установлены параметры обработки материала, при которых формируется бимодальная структура α_2 -фазы с различным соотношением глобулярных и дисперсных частиц. В соответствии со структурой удается получить у сплава различные сочетания прочностных и

пластических свойств, что может служить основой для последующего совершенствования этой технологии для конкретных целей использования.

На заключительном этапе работы автор изучил служебные характеристики материала после термоводородной обработки, таких как коррозионная стойкость и жаростойкость. Для повышения этих свойств в работе использовалось вакуумное ионно-плазменное азотирование. Варьируя режимы этой обработки, были получены диффузионно насыщенные азотом поверхностные слои материала, дополнительно содержащие различные нитриды.

Полученные в ходе исследования закономерности должны позволить улучшить служебные характеристики изделий в зависимости от их назначения.

Научная новизна.

Научная новизна работы состоит:

- в установлении закономерностей влияния водорода на фазовый состав, структуру и деформируемость при высоких температурах сплава на основе алюминиды титана Ti_3Al ;

- в построении участка температурно-концентрационной диаграммы $Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr$;

- в определении условий проявления в сплаве на основе Ti_3Al эффекта водородного пластифицирования;

- в выявлении закономерностей формирования структуры и механических свойств в зависимости от схемы и режимов вакуумного отжига водородосодержащего сплава на основе интерметаллида Ti_3Al ;

- в установлении роли дисперсности структуры в формировании диффузионной зоны насыщения сплава $Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr$ азотом при вакуумной ионно-плазменной обработке.

Практическая значимость включает:

- разработку режимов деформации слитков сплава $Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr$ дополнительно легированного водородом;

- разработку режимов вакуумного отжига водородосодержащего сплава $Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr$, обеспечивающих формирование бимодальной структуры α_2 -частиц и высокого комплекса механических свойств;

- разработку режимов вакуумного ионно-плазменного азотирования, обеспечивающих повышение коррозионной стойкости и жаростойкости сплава на основе интерметаллида Ti_3Al .

Достоверность полученных результатов.

Обосновывается научно-методическим подходом к анализу имеющихся в литературе исследований по структуре и свойствам интерметаллидов титана и алюминия, на основании которого формируются цель и задачи диссертационной работы. Применением современных методов изучения структуры и свойств материала, а также математической обработки экспериментальных результатов. Рекомендации по режимам обработки интерметаллида Ti_3Al проверены при получении листовых полуфабрикатов опытного сплава $Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr$.

Замечания по работе Пожога В.А.

1. В диссертационной работе Пожога В.А. основное влияние уделяется формированию структуры в исследуемом сплаве и нахождению режимов обработки для обеспечения материалу необходимой морфологии и параметров. В тоже время оценка структуры производится в основном качественно без определения размера ее составляющих.

2. Обнаруженные в работе деформационное разупрочнение сплава на основе интерметаллида Ti_3Al при горячей обработке давлением, связанное автором с процессами динамической рекристаллизации α_2 -фазы, должно зависеть от скорости деформации. В тоже время рекомендации, сделанные на основе закономерностей, полученных при осадке с конкретной скоростью деформации должны учитывать реальные условия прокатки полуфабрикатов, для которых в работе не указана скорость деформации.

3. В работе предложена схема горячей деформации слитка сплава $Ti-14Al-3Nb-3V-0,5Zr$, включающая этапы обработки при разных температурах. В тоже время обоснование этих режимов не следует из предварительного изучения деформируемости материала, по-видимому, были учтены другие параметры оптимизации процесса.

4. Для определения оптимальных режимов обработки сплава на основе интерметаллида Ti_3Al были испытаны механические свойства материала при

комнатной температуре и 700°C. В тоже время к исследуемому сплаву должны предъявляться требования по снижению ползучести при повышенных температурах, такие исследования в работе не проведены. В тоже время высокое значение пластичности материала при 700°C косвенно свидетельствует о высокой ползучести материала со структурой, формирующейся после рекомендуемых режимов обработки.

5. Объяснения разницы в глубине азотированного слоя при вакуумной ионно-плазменной обработке при 600°C и 650°C только процессам образования стабильных нитридов не выглядит убедительной, так как не учитывает ускорение диффузионных процессов при повышении температуры на 50°C.

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.

В целом представленная диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой на основе изучения влияния обратимого легирования водородом и пластической деформации на структуру и свойства сплава на основе алюминида титана показана возможность повышения его технологической пластичности и комплекса эксплуатационных свойств.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 11 научно-технических конференциях, опубликованы в 33 печатных работах, в том числе 8 статей в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в области металлургии и металловедения для создания инновационных технологий получения и обработки полуфабрикатов и изделий из жаропрочных сплавов на основе интерметаллида титана.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Пожого Василий Александрович, заслуживает присуждения

ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Отзыв рассмотрен на заседании НТС научного направления «Поверхность», протокол № 6 от 30 ноября 2017 года. На заседании присутствовало 12 членов из 14. Результаты голосования: «за» – 12, против – нет, воздержавшихся - нет.

Начальник НИЛ, к.т.н.



Иванчук С.Б.

Начальник НИЛ, к.т.н.



Румянцев Ю.С.

РФ, Москва, 117587, Кировоградская ул. 3

Открытое Акционерное Общество «Национальный институт авиационных технологий»

Электронный адрес: info@niat.ru

Телефон: 8-495-311-06-72