

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Поповой Евгении Николаевны

«Влияние легирования и термической обработки на стабильность структуры и механические свойства сплавов системы Ti-10Al», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1.

«Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Актуальность темы.

На протяжении всего периода развития авиационно-космической промышленности не теряет своей актуальности задача уменьшения массы узлов деталей двигателей и повышение их надёжности в условиях эксплуатации. После того как возможности снижения массы стальных деталей за счет конструктивных мер были практически исчерпаны, на первый план выступили альтернативные материалы такие как, керамика и жаропрочные титановые сплавы.

Обычно жаропрочные титановые сплавы применяют для изготовления деталей кратковременно работающих при высоких температурах (до 800°C), или при температурах 500° - 550°C сравнительно небольшое время – несколько сотен часов, или в интервале температур 350° - 450°C, но в течение длительного времени, исчисляемого годами и десятками лет.

К настоящему времени возможности лучших серийных сплавов, разработанных как в России, так и за рубежом, в плане повышения ресурса, уровня рабочих температур и комплекса механических и эксплуатационных свойств, практически исчерпаны.

Одним из перспективных направлений развития жаропрочных материалов является создание титановых сплавов с повышенным содержанием алюминия, обеспечивающим интерметаллидное упрочнение. Однако, в титановых сплавах с концентрацией алюминия, превышающей его предельную растворимость в α -фазе (~7%), в процессе длительной эксплуатации при повышенных температурах происходит выделение в частицах α -фазы дисперсной, когерентной α_2 -фазы на основе интерметаллида Ti_3Al , что приводит к охрупчиванию материала и разрушению деталей в процессе эксплуатации.

Поэтому диссертационная работа Поповой Е.Н., посвященная получению термически стабильной двухфазной $\alpha+\alpha_2$ –структуры в сплавах с большим содержанием алюминия, дополнительно легированных как β -стабилизаторами (молибден, ниобий, кремний), так и нейтральными элементами (цирконий, олово), путем изучения возможности реализации механизмов ее формирования и установлению ее влияния на комплекс механических свойств несомненно является актуальной.

Общая характеристика работы.

В работе подробно проанализировано современное состояние исследований в области легирования жаропрочных титановых сплавов, рассмотрены механизмы образования упорядоченной α_2 -фазы. Показано, что ее образование возможно по двум механизмам: гетерогенному (зарождения и роста) и гомогенному (фазового превращения II рода). В зависимости от механизма выделения образующаяся фаза может приводить к существенному различию в комплексе эксплуатационных характеристик. Также на свойства оказывает влияние и морфология фазы, которая изменяется с повышением температуры и времени старения. Однако однозначных данных о механизмах формирования ($\alpha + \alpha_2$) структуры и их роли в формировании комплекса механических свойств в литературе нет.

Автором на основе нескольких сплавов Ti10Al, Ti10Al1Mo1Nb, Ti10Al1Mo1Nb4Zr, Ti10Al1Mo1Nb3Sn, Ti10Al1Mo1Nb4Zr3Sn, Ti10Al1Mo1Nb4Zr3Sn0,15Si проведен анализ фазовых областей и количества образующихся фаз в зависимости от температуры нагрева, используя программу JMatPro.

Изучены фазовые и структурные превращения, происходящие в сплавах системы Ti10Al, дополнительно легированных как β -стабилизаторами (молибден, ниобий, кремний), так и нейтральными элементами (цирконий, олово), в закаленном состоянии из β - и $\alpha+\beta$ - областей и после длительного отпуска при температуре 650°C. Автором установлено, что легирование сплава Ti10Al β – изоморфными элементами (Mo, Nb) и «нейтральными» элементами (Zr, Sn) увеличивает период решетки «а» и уменьшает «с» для α' - мартенсита, что приводит к уменьшению отношения «с/а» и увеличению удельного объема, приходящегося на один атом элементарной ячейки. Добавка кремния увеличивает период «с», что обуславливает рост отношения «с/а» и удельного объема, приходящегося на один атом в решетке. Показано, что легирование сплавов на основе Ti10Al с β – изоморфными элементами оловом интенсифицирует процесс выделения α_2 – фазы, в то время как легирование цирконием не оказывает заметного влияния на этот процесс.

Показано, что, если закалка происходит из β -области и в сплавах формируется α' - мартенсит, то в процессе его последующего распада при отпуске образование $\alpha+\alpha_2$ – структуры осуществляется путем зарождения и роста упорядоченных частиц α_2 -фазы, т.е. протекает фазовое превращение первого рода. А если закалка происходит из $\alpha+\beta$ - области, то в первичных пластинах α - фазы формируется $\alpha+\alpha_2$ – структура по механизму близкому к спинодальному.

Проведение механических испытаний на сжатие позволило показать, что реализация спинодального механизма распада способствует получению более

высоких пластических свойств при достаточно высоких прочностных, что может быть использовано при разработке технологий получения изделий из жаропрочных сплавов титана.

Научная новизна.

В диссертации получен ряд новых научных результатов, имеющих существенное значение для дальнейшего развития исследований по созданию и обработке жаропрочных титановых сплавов с повышенным содержанием алюминия.

Автором показано, что формирование двухфазной $\alpha+\alpha_2$ структуры в процессе длительного старения в легированных сплавах на основе системы Ti10Al, закаленных из β - области, образование α_2 -фазы протекает через стадию образования и роста зародыша критического размера, а при закалке из $\alpha+\beta$ - области – по механизму, близкому к спинодальному, что способствует получению более высоких пластических свойств при достаточно высоких прочностных.

Установлено, что легирование сплавов системы Ti10Al оловом способствует увеличению количества образующейся α_2 -фазы, в то время как легирование цирконием нет.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость работы заключается в установлении закономерностей протекания фазовых и структурных превращений в сплавах системы Ti10Al, дополнительно легированных как β -стабилизаторами (молибден, ниобий, кремний), так и нейтральными элементами (цирконий, олово).

Практическая значимость работы заключается в возможности использования полученных результатов в качестве опорного материала для создания новых жаропрочных титановых $\alpha+\alpha_2$ -сплавов, обладающих достаточным запасом пластичности и вязкости.

Достоверность полученных результатов.

Все экспериментальные результаты получены с использованием современных методов исследования. В работе отсутствуют внутренние противоречия в результатах исследований. Нет противоречий и с общепринятыми моделями структурообразования в металлических материалах. Экспериментальные результаты приведены с абсолютной ошибкой опыта и позволяют их правильно трактовать. Поэтому сомнений в достоверности результатов диссертационной работы Поповой Е.Н. нет.

Замечания.

1. Автор на странице 49, описывая структуру и субструктуру мартенсита использует термин «внутри мартенситных игл», что не корректно, т.к. мартенсит в титановых сплавах всегда имеет пластинчатую морфологию.
2. На странице 61 автор утверждает, что «происходит обеднение твердого раствора по алюминию, что способствует увеличению c/a ». На мой взгляд утверждение не верное – обеднение α -фазы алюминием должно приводить в уменьшению соотношения c/a .
3. На дифрактограммах, представленных на рисунке 3.15 не отмечено, какой пик соответствует какой фазе. По утверждению автора отпуск при температуре 650°C в течение 300 часов приводит к выделению достаточно большого количества α_2 -фазы, почему на дифрактограммах практически отсутствуют ее отражения?
4. Не совсем корректно данные, построенными в программе JMatPro, представленные на рисунке 2.1, называть фазовыми диаграммами, ведь они описывают изменение количества той или иной фазы в зависимости от температуры нагрева.

Сделанные замечания не снижают конечную ценность и практическую значимость работы.

Заключение

Представленная диссертационная работа выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения по комплексному изучению фазовых и структурных превращений, происходящих в сплавах системы Ti10Al, дополнительно легированных как β -стабилизаторами (молибден, ниобий, кремний), так и нейтральными элементами (цирконий, олово) в процессе термического воздействия, как опорного материала для создание новых жаропрочных титановых $\alpha+\alpha_2$ -сплавов, обладающих достаточным запасом пластичности и вязкости..

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 4 международных научно-технических конференциях, опубликованы в 8 печатных работах, в том числе в 4 работах, включенных в перечень рецензируемых научных изданий, определенных ВАК и Аттестационным советом УрФУ, а также в изданиях, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа «Влияние легирования и термической обработки на стабильность структуры и механические свойства сплавов системы Ti-10Al» является законченной научно квалификационной работой, по научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению соответствует паспорту специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, изложенным в п.9 «Положение о присуждении ученых степеней» УрФУ, а ее автор, Попова Евгения Николаевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Скворцова Светлана Владимировна,
профессор кафедры «Материаловедение и технология обработки материалов»
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Московский авиационный институт (национальный
исследовательский университет)»
доктор технических наук, профессор

19 10 2022г.

Адрес: Волоколамское шоссе, д. 4, г. Москва, 125993

Телефон (рабочий): 8-499-141-9588

Адрес электронной почты: skvortsovasv@mai.ru

Подпись Скворцовой С.В. удостоверяю,
заместитель начальника Управления
по работе с персоналом



М.А. Иванов