

ОТЗЫВ

официального оппонента по диссертационной работе

Ледера Михаила Оттовича на тему:

«Оптимизация состава сплава ВТ18у с целью повышения комплекса служебных свойств», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Актуальность работы

Повышение служебных характеристик деталей из жаропрочных титановых сплавов является одной из важных задач повышения экономичности и ресурса авиационных двигателей. Наряду с разработкой принципиально новых композиций на основе интерметаллидов Ti_3Al , $TiAl$ и Ti_2AlNb совершенствование структуры и свойств существующих сплавов остается важным резервом развития современного авиационного материаловедения, поскольку обеспечение надежности значительно проще достигается на усовершенствованных существующих сплавах.

В этой связи актуальной и практически важной является диссертационная работа Ледера М.О. посвященная оптимизации химического состава и параметров термической обработки полуфабрикатов сплава ВТ18у для обеспечения более высоких по сравнению с существующими механических свойств при комнатной и повышенной температурах.

Общая характеристика работы

Диссертация состоит из пяти глав. Первая глава включает обзор литературных источников, в котором рассмотрена общая классификация титановых сплавов, проанализированы различные аспекты легирования и работоспособности псевдо- α -сплавов, приведены новые данные по влиянию

легирования титановых сплавов РЗМ. Сформулирована цель работы и задачи исследования.

Во второй главе дано описание материалов исследования, приведены схемы термических обработок и методик исследований. В качестве материала исследования использовали экспериментальные составы в пределах паспортного состава титанового сплава ВТ18у в виде слитков массой 20 кг и диаметром 190 мм, выплавленных методом двойного вакуумно-дугового переплава в виде штамповок дисков и катаных прутков.

В третьей главе приведены результаты исследования влияния режимов термической обработки на структуру и механические свойства при комнатной и повышенной температурах сплавов типа ВТ18у для того, чтобы установить оптимальные режимы термообработки и определить химический базовый состав сплава, который будет использоваться для дальнейших исследований.

Четвертая глава посвящена исследованию комплексного влияния Fe, Ni и Cr на ползучесть и длительную прочность сплава ВТ18У. Исследования проводили на прутках диаметром 22 мм сплава ВТ18у как с пониженным содержанием этих элементов, так и с серийным их содержанием, при этом рассматривали отношение содержания кремния к эквиваленту по железу.

В пятой главе изучалось влияние добавки РЗМ (0,4 мас. % гадолия) на формирование структуры, фазового состава, комплекса механических свойств и кинетику окисления сплавов на основе систем Ti-Al-Mo-Zr-Sn-Nb-Si (сплав типа ВТ18у) и сплава, не содержащего олова, Ti-Al-Mo-Zr-Si (сплав типа ВТ9).

Научная новизна

Впервые для оценки комплекса механических свойств использовали количественные характеристики в виде комплекса механических свойств (КМС), который рассчитывали как среднее арифметическое отношений фактических значений свойств к требуемым стандартом соответствующих свойств. При этом рассматривали низкотемпературный комплекс

применительно к свойствам при комнатной температуре, высокотемпературный комплекс для свойств при 600 °С и интегральный комплекс, равный среднему значению обоих комплексов. Также в работе впервые осуществляли корреляцию механических свойств при комнатной температуре и при 600 °С с параметром Δ , который определяли как среднеквадратичное относительное отклонение атомных радиусов элементов сплава от среднего атомного радиуса.

Важные результаты получены при исследовании влияния основных легирующих элементов на механизм выделения интерметаллидных фаз в псевдо-альфа-сплавах. Показано, что повышение содержания легирующих элементов в пределах марочного состава сплава (Al, Zr, Sn и Si) интенсифицирует процесс выделения интерметаллидных частиц при старении, что существенно повышает эффект дисперсионного твердения сплава и тем самым обеспечивает более высокие прочностные характеристики. При этом в сплавах с меньшим содержанием легирующих элементов при высоких температурах старения снижается доля α_2 -фазы вследствие обеднения твердого раствора алюминием.

Оценка теоретической и практической значимости работы

Важным практическим результатом, полученным в результате тщательного анализа влияния легирующих элементов и технологических характеристик на структуру и свойства штамповок из сплава ВТ18у является уточнение режима его термической обработки, а также установленный оптимальный химический состав сплава ВТ18у, удовлетворяющий целевым требованиям.

Установлена взаимосвязь химического состава сплава отношением $Si/[Fe + Cr + 6Ni]$ с формирующимся комплексом служебных свойств. Так повышение этого отношения за счет снижения содержания примесей (Fe, Ni, Cr) способствует уменьшению общей пластической деформации при ползучести, увеличению длительной прочности и характеристик ударной

вязкости. Кроме того, снижение содержания указанных примесей приводит к росту всех трех комплексов механических свойств.

Установлено, что легирование 0,4 мас. % Gd, способствует измельчению β -зерна в сплаве VT18У, приводит к повышению пластичности, но при этом понижает характеристики жаропрочности и вязкости. Исследование влияния легирования гадолинием на характеристики жаростойкости показали некоторое его повышение для сплава VT9 и отсутствие влияния на сплав VT18У.

Достоверность результатов и выводов

Обоснованность и достоверность полученных в работе результатов и сделанных выводов сомнений не вызывает, так как они получены на основе большого экспериментального материала (20 сплавов), тщательно подобранного с учетом современных научных данных и опыта ведущего в мире титанового производства, использовании комплекса механических испытаний при комнатной температуре и 600⁰С. При этом диссертант использовал для анализа комплекса свойств обоснованные количественные характеристики, а при поиске оптимальных химических составов сплавов эффективные программные продукты для многофакторного поиска оптимальных решений.

По работе имеются следующие замечания:

1. Представляется, что безразмерный критерий (КМС) требует совершенствования, поскольку он включает суммирование относительных показателей механических свойств с одинаковым весовым фактором, тем не менее, с учетом специфики работы различных изделий значимость каждого слагаемого должна отличаться.
2. Для псевдо-альфа сплавов желательно было бы оценить вклад текстурного фактора или, по крайней мере, показать отсутствие анизотропии в исходной заготовке.

3. Перспективным представляется использование для оптимизации состава сплавов разницы в атомных размерах легирующих элементов, однако кажется более надежным использовать для тех же целей не атомные радиусы, а реальные Вегардовские зависимости периодов решетки для α - и β -фаз, а в качестве критерия рассчитанные из этих периодов объемные эффекты $\beta \rightarrow \alpha$ превращения.
4. На стр.56-58 диссертации снижение периодов решетки β -фазы и увеличение осевого отношения c/a α -фазы от времени старения (рис.21 и рис.24) связывают с $\beta \rightarrow \alpha$ превращением, что верно для β -фазы, но не для α -фазы, поскольку при $\beta \rightarrow \alpha$ превращении содержание алюминия в ней снижается и c/a при этом также должно снижаться, поскольку при снижении содержания алюминия в основном увеличивается период решетки «а». Отношение c/a будет увеличиваться в данном случае только при растворении α_2 -фазы и увеличении за этот счет содержания алюминия в α -фазе, при этом содержание нейтральных легирующих элементов Zr и Sn в α и β фазах не должно зависеть от их соотношения.

Сделанные замечания носят дискуссионный характер и не снижают общей ее положительной оценки.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на ряде международных научно-технических конференциях, опубликованы в 6 публикациях в рецензируемых научных изданиях, определенных ВАК РФ Автореферат и опубликованные работы полностью отражают структуру и содержание диссертации.

Диссертация Ледера М.О. является законченной научно-квалификационной работой, соответствует паспорту 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 Ледер М.О. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv i splavov.

Профессор кафедры «Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов»

доктор технических наук, профессор



Сергей Яковлевич Бецофен

Подпись проф., д.т.н. Сергея Яковлевича Бецофена удостоверяю



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4. Телефон +7(910) 459-9525

Адрес электронной почты s.betsofen@gmail.com.