

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Козловой Ирины Рудольфовны «Взаимосвязь структуры и свойств высокопрочных морских титановых сплавов при повышенных температурах применительно к изделиям энергетического оборудования», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.91 «Металловедение и термическая обработка металлов».

Актуальность темы диссертации

Для повышения тактико-технических характеристик морских транспортных средств потребовалось создание новых многофункциональных паротурбинных установок, в которых некоторые узлы должны работать при температурах 400-500⁰С. В настоящее время в авиации накоплен большой опыт эксплуатации различных материалов в газовых турбинах различного назначения. Вместе с тем, специфические среды, особенности эксплуатации паротурбинных установок на морских транспортных средствах, необходимость снижения их веса потребовал сочетания нового комплекса свойств применяемых сплавов. Помимо высокой удельной прочности, усталости, термической стабильности, вязкости разрушения, жаропрочности эти сплавы должны были иметь высокую коррозионную стойкость в морской воде и хорошо свариваться различными видами сварки.

Таковыми свойствами с учетом комплекса требований обладают титановые сплавы. Проведенные ранее работы в ЦНИИ КМ «Прометей» были посвящены разработке в большой степени корпусных титановых материалов или сплавов, работающих до температур не выше 350⁰С. Поэтому актуальной задачей работы явилось разработка новых или доработка существующих титановых сплавов применительно к требованиям, предъявляемым к энергетическому оборудованию паротурбинных установок. Известно, что все физико-механические свойства титановых сплавов являются структурно

Вх. № <u>2032</u>	Исполнено В ДЕЛО
<u>10</u> <u>06</u> <u>20 16</u> г.	
Основн. <u>8</u> л.	№ _____
Прил. _____ л.	подп. _____

чувствительными и для достижения конкретных свойств в детали необходимо получать определенную микроструктуру, которая наилучшим способом обеспечивала бы надежную работоспособность этой детали. Получение структур определенного типа с необходимыми размерами структурных составляющих обеспечивается различными параметрами деформации и последующей термообработки, поэтому первостепенную актуальность приобретает необходимость проведения работ по выбору оптимальных структур, обеспечивающих работоспособность узлов парогенератора и термомеханических параметров деформации для их получения.

Обоснованность работы по взаимосвязи структуры и свойств титановых сплавов в морских паротурбинных установках.

Следует отметить большой объем работы диссертанта по анализу существующих титановых сплавов и выбору определенных сплавов для дальнейших исследований. Было справедливо показано, для работы паротурбинных установки необходимы сплавы, применяемые в морском судостроении, однако, возникшие новые требования по уровню температур, характеристикам длительной прочности, усталости, ползучести, которые практически не были изучены для корпусного применения привели к необходимости проведения всесторонних исследований выбранных композиций сплавов, адаптировать их химический состав, структуры к требованиям завода изготовителя, что определило большой объем работ по выбору и обоснованию режимов деформации и термообработки предлагаемых сплавов.

Исходя из вышесказанного об актуальности работы, результатов тщательного анализа требований «Калужского турбинного завода», оценке свойств существующих сплавов все приведенные в работе исследования представляются достаточно обоснованными.

Характеристика научной новизны

В диссертационной работе получен ряд новых научных результатов. Следует отметить, что перед проведением экспериментов на выбранных сплавах, автором достаточно скрупулезно был проведен анализ уже существующих данных по поведению морских титановых сплавов во вновь предлагаемых условиях: температура эксплуатации $400-500^{\circ}\text{C}$ при наличии влажного пара и циркуляции воды в сочетании с высокой термической стабильностью. Автором было совершенно правильно акцентировано, что за высокие эксплуатационные свойства титановых сплавов в первую очередь ответственна правильно выбранная структура, поэтому исследованиям были подвергнуты различные типы структуры, которые реально можно получить на выбранных сплавах систем Ti-Al-Mo-V-C и Ti-Al-Mo-Zr-C. Анализ картин дифракции обратно рассеянных электронов на границах α -фазы установил, что пластинчатые структуры характеризуются наличием кристаллографически обусловленных границ блоков α -фазы с дискретным спектром набора углов разориентировки между α -колониями, тогда как глобулярная структура характеризуется полным спектром разориентировок, что обуславливает различные механизмы их деформации, в частности, в пластинчатой структуре дискретный набор ориентировок приводит к повышенной микронеоднородности деформации пластин и повышенной склонности металла к хрупкости, глобулярная структура с хаотической разориентировкой α -фазы обеспечивает разнонаправленность следов скольжения, замедляя при этом процесс зарождения трещин и позволяет более полно реализовать запас пластичности материала.

Для обеспечения комплекса физико-механических и служебных свойств в исследуемых сплавах создание конечно-элементной модели различных структур позволило сформулировать роль пластинчатой, глобулярной и бимодальной структур. Было показано, что при нагрузке в пластинчатой структуре отдельные локальные деформации в 4,5 раза превышают средние значения, тогда как в глобулярной структуре проявляется минимальная

степень неоднородности деформации. Автором было подмечено, что максимальные локальные значения энергии деформации бимодальной структуры выше, чем у глобулярной, что позволило определить положительную роль пластинчатых составляющих в бимодальной структуре и использовать это наблюдение при создании различных типов структуры для обеспечения свойств при различных видах испытаний, когда требуются наличие в структуре составляющих, способных разнонаправленно сопротивляться прилагаемым напряжениям. Так, например, локальная жаропрочность создается пластинчатой структурой, а усталостная прочность обеспечивается глобулярной структурой, точно также такая структура обеспечивает требования по термической стабильности и прочности при комнатной температуре.

Автором было аргументировано, экспериментально показано и сформулировано, что оптимальным комплексом свойств обладает бимодальная структура, сочетающая в себе преимущество глобулярной структуры и пластинчатых составляющих, позволяющих обеспечивать все требования «Калужского турбинного завода» в рекомендациях по гарантированным техническим характеристикам титановых сплавов для транспортных паротурбинных установок (ПТУ).

Практическая значимость

Не менее важную роль в обеспечении требований Калужского завода были работы диссертанта по разработке реальной технологии получения необходимых структур для широкого сортамента деталей паротурбинной машины. Разработка технологических схем изготовления поковок, катаных колец, прутков различного диаметра проводилась с целью создания в них структуры, обеспечивающей требования по прочности, жаропрочности, усталости, ползучести и других видов испытаний. В результате работы автором было создано 10 схем термомеханической обработки различных видов полуфабрикатов с точным указанием температур деформации,

количества переделов, степеней деформации на каждом переделе. Все полученные полуфабрикаты прошли на заводе полный комплекс испытаний в соответствии с существующими нормативами. При этом основным критерием качества получаемых полуфабрикатов служили параметры структуры, которые должны быть: размер зерна менее 100 мкм, объемная доля α -фазы не более 35 %, размер частиц α -фазы 8 – 18 мкм, а ширина пластин вторичной α -фазы от 0,8 до 1,5 мкм. По результатам этих работ на ВСМПО выпущены технологическая документация на производство деформированных полуфабрикатов из исследуемых титановых сплавов МП39.035П – 2010, МП39.041.П-2011, МП 39.042-2011, МП39.045.П-2012.

Достоверность научных результатов и выводы по работе подтверждаются использованием современных методов исследования, в том числе метода обратно-отраженных электронов, анализа карты дифракции с помощью электронно-ионного микроскопа. Обработку данных проводили с помощью пакета TSL01 Manalysis5 и большого количества другого исследовательского оборудования.

Экспериментальные данные хорошо коррелируются между собой и не противоречат существующим представлениям других авторов и современного металловедения.

Все сказанное позволяет признать результаты диссертационной работы достоверными, а выводы обоснованными.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

1. На стр. 21 говорится, что «жаропрочные свойства в титановых сплавах должны обеспечивать Al, Zr, Mo, Si и V», но если говорить обо всех титановых сплавах, то следует учитывать еще роль Sn, Nb, W.
2. Стр. 23 «Содержание O_2 в высокопрочных титановых сплавах не допускается выше 0,10%». Это не верно. Во всех сплавах титана содержание O_2 выше 0,10%.

3. На стр. 26 Структура обеспечивает комплекс «несовместимых» свойств. Свойства не могут быть «несовместимыми». Свойства совмещаются, но в разных пропорциях, или определенная структура может снижать значения одних свойств и повышать другие.
4. На стр. 64 «Повысить прочность титановых сплавов можно двумя способами – повышением уровня легированности сплава и измельчения структуры горячей пластической деформацией», но почему не упомянута упрочняющая термическая обработка, широко применяемая для большинства титановых сплавов, возможно, она может быть применима и для рассматриваемых композиций.
5. На стр. 67 говорится как положительный эффект, повышение содержания α -стабилизаторов привело к повышению температуры полиморфного превращения до 1040-1050⁰С, а на сколько градусов произошло повышение не указано.
6. Не понятен термин «усиленные расчетные составы» по Al и C; если говорить о сплаве Ti-Al-Mo-V-C, то содержание Al по факту 5,5 – 5,6 %, , по ОСТу 4,7 – 6,3 %, а C–0,09–0,1%, по ОСТу 0,06–0,14%, изменения химического состава незначительные, взято по ОСТу среднее содержание Al и C.

Не предлагается повысить содержание эффективного упрочнителя O_2 (допускается его содержание по ОСТу $\leq 0,13$ %, предлагается 0,092 %).

Для других элементов совсем маленькая корректировка, при этом роль Si не отражается, а его содержание по ОСТу в 10 раз ниже допустимого, хотя Si эффективно присутствует во многих жаропрочных сплавах.

7. Замечания по незначительному изменению легирующих элементов в этих сплавах еще больше контрастируют с приведенными цифрами по заметному повышению прочности и жаропрочности. Так, прочностные свойства при комнатной температуре повышаются на 13-16 %, а сопротивление разрыву при повышенной температуре повышаются на 35 %. Может быть сравнение свойств новых сплавов приведено не достаточно корректно. К примеру, можно сравнить таб. 2.2 с табл. 2.5 и 2.6. В них свойства технического

регламента сравниваются со свойствами реальных полуфабрикатов. Здесь необходимо сравнивать данные после статистической обработки.

8. На некоторых представленных фотографиях структуры отсутствует увеличение.
9. На представленных схемах деформирования отсутствуют свойства или микроструктура по переделам, что необходимость проведения некоторых сложных схем (4.16, 4.17, 4.18, 4.19) заставляет принимать на веру.
10. Насколько экономически оправдано проведение ряда многооперационных схем, может быть целесообразнее в некоторых случаях их сократить за счет увеличения степеней, снижения температур деформации и проведения режимов промежуточных рекристаллизационных термообработок.

Сделанные замечания носят технический, дискуссионный характер и не влияют на общую положительную оценку диссертации официальным оппонентом.

Диссертация Козловой И.Р. является завершенной научной квалифицированной работой, в которой содержатся практические решения важной народно-хозяйственной задачи создания паротурбинных установок морского использования с применением титановых сплавов.

Автором продемонстрировано хорошее знание металловедения и деформационных технологий обработки морских титановых сплавов, характеристик их работоспособности, а проведенные эксперименты позволили убедительно доказать, что правильно выбранные и рекомендованные термдеформационные режимы получения оптимальных структур, сопоставляемые с характеристиками их работоспособности позволяют надежно обеспечить все требования, предъявляемые Калужским турбинным заводом для транспортных ПТУ.

Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации.

Диссертация Козловой И.Р. полностью отвечает требованиям п.п.9–14 Положения о присуждении ученых степеней в редакции Постановления правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Официальный оппонент Полькин Игорь Степанович, главный научный сотрудник ОАО «ВИЛС», доктор технических наук, профессор


9.06.16

Полькин И.С.

Подпись Полькина И.С. удостоверяю, Заместитель Генерального директора по науке и производству ОАО «ВИЛС», доктор экономических наук, профессор



Ковалев Г.Д.

121596, Россия, Москва, ул. Горбунова, 2

Тел.: +7 (495) 287-74-00

Факс: +7 (495) 287-74-02

E-mail: info@oaovils.ru

Сайт: www.oaovils.ru

Ознакомлена.

ИКО1-

10.06.16.