

## ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию Грушина Ивана Алексеевича  
«Влияние легирования редкоземельными металлами на структуру и  
свойства  $\alpha$ - и псевдо  $\alpha$ -титановых сплавов», представленную на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка  
металлов и сплавов»**

### Актуальность темы диссертации

Повышение физико-механических и эксплуатационных свойств изделий авиационной техники из титановых сплавов остается актуальной научной и практической задачей современного металловедения. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является микролегирование элементами, оказывающими сильное влияние на структурное состояние и свойства сплавов как в литом, так и в деформированном состоянии. К таким элементам можно в первую очередь отнести редкоземельные металлы (РЗМ), влияние которых на структуру и свойства титана исследуется уже несколько десятилетий. Однако такие сплавы практически не нашли применения в технике, несмотря на перспективные научные результаты. Это связано с многофакторностью влияния РЗМ на структуру титановых сплавов, что существенно затрудняет разработку технологических регламентов на изготовление полуфабрикатов, которые обеспечивали бы высокий и стабильный комплекс свойств.

Для исследований и разработки опытного жаропрочного сплава с гадолинием автор выбрал в качестве базового отечественный сплав ВТ18У, являющийся наиболее жаропрочным из сплавов псевдо- $\alpha$  класса. Это является вполне логичным и обоснованным, учитывая с одной стороны хорошо отработанные технологии металлургического передела полуфабрикатов, а с другой – ограниченные возможности использования упрочняющей термической обработки для управления структурой и повышения прочностных характеристик псевдо- $\alpha$  сплавов.

В диссертации автором изучены многие ранее не известные аспекты влияния гадолиния на структуру и свойства сплава в литом и деформированном состояниях. Вопросы же формирования структуры и свойств сварных соединений титановых сплавов, легированных гадолинием, до настоящего времени были исследованы и освещены в литературе крайне скупо.

Другим, не менее актуальным направлением исследований диссертанта стало изучение возможности и эффективности легирования титановых сплавов «легкими» элементами (скандием, кремнием, бором) с целью

получения сплавов с повышенной удельной прочностью. Особое внимание в диссертации уделено системе Ti-6Al-Sc, на которой получены наиболее значимые результаты.

Сформулированные и успешно решенные автором металлургические и технологические задачи в целом определяют своевременность и актуальность диссертации, как с научной, так и с практической точек зрения.

#### Характеристика научной новизны работы

В диссертации получен ряд новых научных результатов, имеющих существенное значение для дальнейшего развития исследований по созданию новых и повышению комплекса свойств известных титановых сплавов с применением принципов микролегирования РЗМ-элементами.

Автором впервые экспериментально построен политермический разрез диаграммы состояния системы Ti-6Al-Sc (до 10 масс. % Sc) и дан квалифицированный анализ формирования структурных состояний при температурах свыше 800°C. Диаграммы фазового состава являются классикой металлургии и ключевым инструментом для анализа фазовых равновесий и структурно-фазовых превращений, а также разработки схем и режимов термической обработки.

Экспериментально подтверждено в количественном выражении снижение плотности сплавов этой системы при легировании скандием.

Получены новые данные по влиянию гадолиния на морфологические и размерные параметры структуры жаропрочного псевдо- $\alpha$  сплава в литом и деформированном состояниях.

Особую ценность в научном и практическом плане представляют результаты автора по влиянию микродобавок гадолиния на структуру сварных соединений из жаропрочного опытного сплава, полученных аргоно-дуговой сваркой нерасходуемым и расходуемым (также легированным гадолинием) электродом. Уменьшение размера зерна в сварном шве в 4–5 раз имеет большое практическое значение в плане возможности повышения механических свойств сварных соединений.

Во всех разделах диссертации не только приведены результаты экспериментов, но и дан квалифицированный металлургический анализ процессов фазовых и структурных превращений в сплавах при термических и деформационных воздействиях, что подтверждает широкую научную эрудицию и глубокие знания автора работы.

Практическая значимость работы состоит в разработке технологических рекомендаций по режимам пластической деформации и термической обработки поковок опытного сплава Ti-6Al-10Sc,

превосходящих по удельным прочностным характеристикам плиты из промышленного сплава ВТ6.

Практическую ценность представляют собой технологические рекомендации по сварке и термической обработке сварных соединений из опытного жаропрочного сплава, легированного гадолинием, позволяющие повысить предел прочности сварного соединения на 30%.

Достоверность научных положений и выводов работы подтверждается обоснованным и результативным использованием комплекса информативных экспериментальных методов и современной аппаратуры физического материаловедения (оптическая и просвечивающая электронная микроскопия, рентгеноструктурный фазовый анализ, измерение плотности, макро- и микротвердости и др.), а также результатами испытаний кратковременных и усталостных механических свойств при нормальной и повышенной температурах и статистической обработкой результатов.

Экспериментальные результаты, полученные разными методами, хорошо коррелируют друг с другом и не противоречат современным представлениям физического материаловедения. Результаты диссертационной работы можно признать достоверными, а выводы обоснованными.

По работе следует сделать следующие замечания

1. При расчете плотности и ее замерах не указывается возможная ошибка измерений и не приводятся сравнительные данные двух методов определения.
2. Практически во всех случаях при рассмотрении структуры образцов сплавов используются выражения – размеры фазы стали мельче или крупнее – и на этой основе даются предложения о причинах изменения свойств. Было бы более достоверно давать такие объяснения на основании замера размеров выделяющихся фаз  $\alpha$ ,  $\alpha_2$ , интерметаллидов. Существующая практика показывает достаточно хорошую корреляцию зависимости свойств и размера фаз.
3. Некоторые описания структур неполны, так не видно зон свободных выделений, не описано черные выделения на некоторых фотографиях (3.18, 3.19, 3,21).
4. Недостаточно ясно, почему гадолиний не изменяет размеры литого зерна, а в 3–5 раз измельчает его после деформации.
5. В чем такая большая разница влияния гадолиния при использовании двух видов сварки.



6. В чем причины одновременного увеличения прочности и пластичности в сплавах с гадолинием при испытании при 700°C (стр. 140).
7. В таблице 5.5. сварной шов при сварке электродом с содержанием гадолиния, прочнее основного металла, далее утверждается, что это происходит за счет упрочнения границ зерен (стр. 148). Доказательств этому не приводится.

Сделанные замечания носят рекомендательный либо технический характер и не снижают общей положительной оценки диссертации.

#### Заключение

Диссертация Грушина Ивана Алексеевича является законченной научной квалификационной работой, в которой изложены новые научно-обоснованные технологические решения и разработки, направленные на создание титановых сплавов с повышенными удельными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками путем применения легирования легкими и микролегирования редкоземельными металлами и имеющие существенное значение для развития металловедения и технологий производства авиационной и других видов техники.

Автореферат и опубликованные работы отражают основное 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, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Грушин Иван Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Полькин Игорь Степанович,  
начальник научно-информационного центра  
им. В.И. Добаткина – главный редактор,  
ОАО «ВИЛС», д.т.н., профессор  
igor\_polkin@oaovils.ru  
Тел.: 8 (495) 287-74-00, доб. 12-46

Подпись Полькина И.С. удостоверяю,  
Начальник службы управления персоналом

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

  
И.С. Полькин

25.06.2018  
  
Н.М. Жолудева

