

## ОТЗЫВ

### официального оппонента

на диссертационную работу Мамонтовой Натальи Александровны на тему: «Влияние обратимого легирования водородом на структуру и параметры сверхпластической деформации высоколегированного титанового сплава ВТ23», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

#### Актуальность темы

Вопросам взаимодействия титановых сплавов с водородом в литературе уделено большое внимание, а эффективность водородных технологий доказана их успешным внедрением в производство. Однако разработанные технологические схемы управления структурой и свойствами относятся в основном к  $\alpha$ -, псевдо  $\alpha$ - и малолегированным ( $\alpha+\beta$ )-титановым сплавам, тогда как интересным является временное легирование водородом высоколегированных, труднодеформируемых титановых сплавов с целью снижения сопротивления деформации при производстве полуфабрикатов. Существует потенциальная возможность применения комплексной водородной технологии - сочетания термоводородной обработки (ТВО) с пластической деформацией - для получения из листовых полуфабрикатов сплава ВТ23 высокопрочных изделий с использованием сверхпластической деформации (СПД).

В настоящее время для сверхпластической формовки используются листовые полуфабрикаты из сплава ВТ23 с содержанием алюминия не более 5,5 масс.%, что существенно ограничивает потенциальный ресурс прочности изделий. Более высокий уровень свойств может быть получен в случае разработки технологии производства листовых полуфабрикатов из сплава ВТ23 с содержанием алюминия на уровне предельной растворимости. При производстве листовых полуфабрикатов особенно важно учитывать вопросы образования текстуры, однако влияние водорода на формирование

структуры и текстуры в прокате из высокопрочных ( $\alpha+\beta$ )-титановых сплавах изучено недостаточно. Поэтому разработка водородной технологии получения листовых полуфабрикатов из плиты сплава ВТ23, содержащей до 6,5 масс.% алюминия, обладающих повышенными показателями сверхпластической деформации и прочностными характеристиками, является актуальной.

### Характеристика работы

В работе изучены закономерности формирования фазового состава и структуры в титановом сплаве ВТ23 в зависимости от температуры наводороживающего отжига, концентрации водорода и температуры дегазации. По результатам проведенных исследований построена диаграмма «фазовый состав – концентрация водорода – температура наводороживающего отжига». Также автором исследовано формирование фазового состава, структуры и текстуры на всех технологических стадиях получения экспериментальной партии листового полуфабриката из сплава ВТ23 с использованием комплексной водородной технологии, включающей временное введение в сплав водорода, пластическую деформацию и последующий вакуумный отжиг. Проведены механические испытания листов, полученных по экспериментальной и промышленной технологиям. Общий уровень прочности у образцов, полученных с использованием комплексной водородной технологии выше, что связано с более высоким содержанием в них алюминия. Проведенные исследования позволили автору разработать технологическую схему получения листовых полуфабрикатов из титанового сплава ВТ23 с субмикроструктурной ( $\alpha+\alpha_2+\beta$ ) - структурой с размером структурных составляющих 200–400 нм, позволяющей обеспечить высокие характеристики СПД. На заключительном этапе работы автором разработана технология СПД листа из сплава ВТ23, содержащего 6-6,5% Al, с последующей упрочняющей термообработкой, что позволило увеличить прочность материала на 40%.

Научная новизна диссертационной работы заключается в:

- построении температурно-концентрационной диаграммы фазового состава системы сплав ВТ23 – водород;
- установлении условий образования в частицах первичной  $\alpha$ -фазы микрообъемов с повышенным содержанием алюминия с последующим выделением упорядоченной  $\alpha_2$ -фазы (на основе  $Ti_3Al$ ), и определении температурно-временных параметров ее устойчивости;
- определении закономерностей влияния водорода на формирование структуры и текстурообразование в горячекатаной плите из сплава ВТ23;
- формулировании условий проведения термоводородной обработки и пластической деформации для формирования в листовом полуфабрикате субмикроструктурной структуры.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в:

- разработке технологии получения из горячекатаной плиты сплава ВТ23, содержащего 6-6,5% Al, листов с субмикроструктурной структурой, обеспечивающей наилучшие характеристики сверхпластичности (малые напряжения течения и наибольшее относительное удлинение);
- разработке схемы получения изделий из сплава ВТ23 с прочностью 1100-1300 МПа с использованием сверхпластической деформации.

Достоверность полученных результатов определяется проведением испытаний и измерений в соответствии с ГОСТ, использованием современного оборудования с лицензионным программным обеспечением, совпадением экспериментальных данных и теоретических расчетов, использованием методов математической статистики при обработке результатов.

По диссертационной работе Мамонтовой Н.А. можно сделать следующие замечания:

1. Автор повсеместно использует не корректный термин «нормальная температура».

2. Совершенно не понятно появление на стр.111 фразы: «С увеличением в структуре количества  $\beta$ -фазы, а, значит, уменьшением содержания в ней  $\beta$  - стабилизирующих элементов.»
3. Почему-то не были проведены испытания в условиях СП при более высоких температурах и других скоростях деформации с достижением экстремума, т.е для выявления оптимальных параметров СПД?
4. На мой взгляд, не совсем корректно говорить о том что «разработана технологическая схема сверхпластической формовки», вернее технологическая схема сверхпластической деформации. Т.к. формовки в работе не проводилось.
5. В п.1 выводов по Главе 5, говорится о том, что «При проведении испытаний на сверхпластичность создание в сплаве гетерофазной структуры, содержащей некогерентные частицы  $\alpha_2$ - и  $\alpha$ -фаз позволяет в 3 раза повысить пластичность по сравнению с образцами, вырезанными из плиты, полученной по промышленной технологии.» Это не совсем верно. Увеличилось относительное удлинение при растяжении в условиях СПД .

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Работа выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решены важные задачи изучения влияния обратимого легирования водородом на структуру и текстуру высоколегированного титанового сплава ВТ23 и создания водородной технологии получения листовых полуфабрикатов из сплава ВТ23 с повышенными показателями сверхпластичности и прочностными характеристиками. Текст диссертации написан технически грамотным языком.

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, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Мамонтова Наталья Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov i spлавов.

Официальный оппонент

Полькин Владислав Игоревич,

генеральный директор ООО «НПО «Титан»

к.т.н., доцент



ООО «Научно-производственное объединение «Титан»

107497, г. Москва, ул. Монтажная, д. 9, стр. 1

7720739@mail.ru

<http://www.npotitan.ru/>

(495) 772-07-39