



**Уральский
федеральный
университет**

имени первого Президента
России Б.Н.Ельцина

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)

ул. Мира, 19, Екатеринбург, 620002,
факс: +7 (343) 375-97-78; тел.: +7 (343) 374-38-84
контакт-центр: +7 (343) 375-44-44, 8-800-100-50-44 (звонок бесплатный)
e-mail: rector@urfu.ru, www.urfu.ru
ОКПО 02069208, ОГРН 1026604939855, ИНН/КПП 6660003190/667001001

29.11.2019 № 01.09-04/751

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ»
Проректор по науке


«__» _____ 201__ г.


ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Герман Марины Александровны

«Влияние термической и термоводородной обработок на формирование структуры и механические свойства заготовок из ($\alpha+\beta$)-титановых сплавов, полученных по аддитивным технологиям», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

Актуальность работы

Последнее время производство изделий с использованием аддитивных технологий является мировым трендом.

К сожалению, наша страна существенно отстает в плане развития и использования аддитивных технологий. Хотя предпринимаются попытки создания собственных установок для 3D-печати и разработки технологических параметров процесса сплавления. Уделяется внимание и процессам получения порошков, и разработке программного обеспечения, потому что все импортные машины поставляются с встроеной системой, которую невозможно модифицировать без потери гарантии. А металлургическим вопросам структурообразования в процессе сплавления и последующей обработки, а также свойствам получаемых изделий уделяется значительно меньше внимания.

В процессе АТ происходят сложные металлургические явления, которые сильно зависят от параметров обработки (типа лазера, размера пятна, лазерной мощности, скорости сканирования, шага сканирования, толщины слоя порошка), свойств материала и параметров порошков (химического состава, формы частиц, размера частиц и их распределения,

сыпучести и плотности укладки порошка). Поэтому в настоящее время нет полной ясности, как следует воздействовать на конкретный материал, чтобы получить изделие с приемлемой микроструктурой (размером зерна, текстурой и т. д.) и механическими свойствами (прочностью, твердостью, остаточными напряжениями и т. д.).

Поэтому диссертационная работа Герман М.А., направленная на установление закономерностей формирования структуры и текстуры в заготовках из сплавов Ti-6Al-4V и ВТ6, полученных селективным лазерным сплавлением и прямым лазерным нанесением материала, при термической и термоводородной обработках и в разработке на этой основе технологии обработки, позволяющей управлять их структурным состоянием и, соответственно, комплексом механических свойств, является актуальной как с научной, так и с практической точки зрения.

Общая характеристика работы

Автором в работе очень детально проанализировано состояние аддитивного производства в России и за рубежом. Рассмотрены различные методы 3D-печати, их преимущества и недостатки. Четко сформулированы цель и задачи исследования.

Проанализировано структурное состояние и фазовый состав заготовок, полученных различными методами 3D-печати. Показано, что в зависимости от метода печати структура образцов может быть представлена либо мартенситом α' , либо α - и β - фазами неравновесного состава. Проанализировано изменение структуры и механических свойств образцов после отжига в зависимости от температуры нагрева. Установлено, что в отожженных образцах α -фазы всегда имеет пластинчатую морфологию. Кроме того, обнаружена анизотропия свойств в образцах, полученных методом прямого лазерного нанесения металла (ПЛНМ).

Автором исследовано влияние обратимого легирования водородом на фазовые и структурные превращения в образцах из сплавов Ti-6Al-4V и ВТ6. Установлено оптимальное его содержание, позволяющее полностью преобразовать пластинчатую микроструктуру. Доказана невозможность применения термоводородной обработки для образцов, полученных методом ПЛНМ, т.к. границы исходного β -зерна имеют сильно «дефектную» структуру, о чем свидетельствует образование гидрида.

На основании проведенных исследований автором предложена технология термоводородной обработки заготовок из сплава Ti-6Al-4V, позволяющая не только преобразовать пластинчатую структуру в мелкодисперсную, но и управлять комплексом механических свойств.

В работе исследовано формирование текстуры в заготовках из титановых сплавов, полученных различными методами 3D-печати. Показано, что в образцах, полученных методом ПЛНМ, повышенная прочность в направлении продольного роста обусловлена расположением в

этом направлении базисных плоскостей. Установлено, что термоводородная обработка (ТВО) оказывает влияние на формирование текстуры образцов, полученных методом СЛС: если в отожденном состоянии преимущественное расположение базисных плоскостей наблюдается в направлении роста образца, то после ТВО – в направлении продольного роста.

Автором проанализированы остаточные напряжения, формирующиеся в образцах после 3D- печати и различных видов обработки. Установлено, что напряжения, формирующиеся после ПЛНМ, близки к пределу текучести сплава ВТ6. Последующая термическая обработка и/ или термоводородная обработка приводят к уменьшению уровня остаточных напряжений.

Наиболее важные полученные результаты.

Научная новизна диссертационной работы Герман М.А. не вызывает сомнения и заключается в следующем:

- показано, что в отожденных образцах, полученных методом СЛС, всегда формируется структура с пластинчатой морфологией α -фазы, которая наследуется от пластинчатой морфологии мартенсита;

- установлено, что для преобразования пластинчатой структуры в мелкодисперсную необходимо введение в заготовки из сплава Ti-6Al-4V не менее 0,8 масс.% водорода, что обеспечивает в процессе последующей дегазации преимущественное зарождение α -фазы, а не протекание $\alpha'' \rightarrow \alpha$ -превращения;

- установлено, что анизотропия свойств образцов, полученных методом ПЛНМ, связана с формированием текстуры $\beta \rightarrow \alpha$ - фазового превращения в процессе охлаждения образцов после 3D- печати до комнатной температуры.

Полученные научные результаты диссертационной работы могут быть использованы для последующей обработки изделий, полученных по аддитивным технологиям, а также для проектирования изделий.

Рекомендации по практическому использованию основных результатов работы

Разработанная в диссертационной работе технология термоводородной обработки может быть использована для обработки изделий, полученных по аддитивным технологиям, для получения требуемого комплекса свойств на предприятиях авиакосмической и медицинской промышленности, а также в отраслевых и учебных институтах.

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современного поверенного оборудования с лицензионным программным обеспечением, проведением испытаний и измерений в соответствии с ГОСТ, хорошим совпадением экспериментальных данных и теоретических

расчетов, использованием математической статистики при обработке результатов.

Вопросы и замечания

1. Диссертант утверждает, что в случае наводороживания сплава до 0,6 мас.% формируется двухфазная $\beta + \alpha''$ структура, а при последующем отжиге образуется пластинчатая структура, что свидетельствует о преобладании процесса $\alpha'' \rightarrow \alpha$ превращения над зарождением α – фазы из β -твердого раствор. Вывод сделан на основании металлографического исследования и нуждается в уточнении, так как дисперсные частицы α -фазы могут быть не видны на металлографическом шлифе и поэтому сделанное заключение нуждается в уточнении.
2. Если сопоставить рис.4.1 и 4.4, то получается, что количество α_2 -фазы больше при насыщении 0,6 мас.% по сравнению с 0,8 мас.% водорода исходя из сопоставления интенсивностей дифракционных линий. Как это можно объяснить?
3. Анализируя формирование текстуры диссертант говорит о повышенной полюсной плотности плоскостей $\{10\ \bar{1}2\}$ и $\{11\ \bar{2}0\}_\alpha$ в в направлении роста, что, по ее мнению, свидетельствует о выполнении ориентационного соотношения Бюргерса. Плоскости типа $\{10\ \bar{1}2\}$ обычно не рассматриваются при анализе ОС Бюргерса и поэтому это утверждение следует пояснить.

Сделанные замечания не снижают научной и практической ценности диссертации и общей высокой оценки работы.

Диссертационная работа Герман М.А. выполнена на высоком научно-техническом уровне. Она представляет собой самостоятельную законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно-обоснованные технические и технологические решения по повышению прочностных и усталостных характеристик изделий из титанового сплава Ti-6Al-4V путем создания технологии, основанной на обратимом легировании водородом.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на 7 научно-технических конференциях, опубликованы в 15 печатных работах, в том числе 3 статьях в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в медицине и авиакосмической технике, а также в других отраслях промышленности.

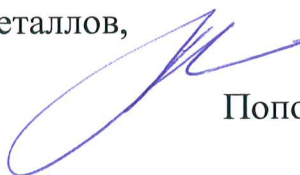
Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная работа удовлетворяет всем требованиям п.п.

9-16 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Герман Марина Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Отзыв рассмотрен на заседании кафедры термообработки и физики металлов» института новых материалов и технологий УрФУ, протокол № 8 от 26 ноября 2019 года. На заседании присутствовало 32 членов из 36. Результаты голосования: «за» - 32, против – нет, воздержавшихся - нет.

Заведующий кафедрой
термообработки и физики металлов,
профессор, д.т.н.



Попов Артемий Александрович

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный
университет им. первого Президента России
Б.Н. Ельцина». 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
E-mail: rector@urfu.ru
Тел.: +7343-3745964