



ПУБЛИЧНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«КОРПОРАЦИЯ ВСМПО-АВИСМА»

№ _____

ОТЗЫВ

официального оппонента Щетникова Николая Васильевича на диссертационную работу Камского Григория Владимировича «Влияние технологических параметров селективного электронно-лучевого спекания и горячего изостатического прессования на формирование структуры и свойств сплава Ti-6Al-4V медицинского назначения», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – металлведение и термическая обработка металлов и сплавов.

Актуальность темы диссертации. В диссертационной работе рассмотрены актуальные вопросы, связанные аддитивным производством изделий из титановых сплавов. Проанализированы различные параметры процесса, такие, как исходный материал (порошок), само построение (параметры печати), постобработка (ГИП), их отдельное и суммарное влияние на результат. Учитывая очередной виток интереса к аддитивным технологиям, проблемы, освещенные в диссертации, являются актуальными, как с научной, так и практической точек зрения.

Структура и основное содержание работы. Диссертационная работа Камского Г.В., изложенная на 154 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, заключения и библиографического списка литературы, включающего 183 источников.

Во **введении** обоснована актуальность тематики диссертационной работы, сформулированы ее цели и задачи, представлены научная новизна и практическая значимость, положения, выносимые на защиту, а также сведения об опубликованных материалах в научных журналах и докладах на конференциях различного уровня.

Первая глава представляет обзор литературы по тематике диссертационной работы, на основании которого сформулированы цель и задачи исследования. Описаны имеющиеся на данный момент методы Аддитивного Производства, их особенности. Подробно рассмотрены вопросы селективного электронно-лучевого спекания. Дана характеристика используемого в работе материала Ti-6Al-4V. Также, отражена необходимость применения горячего изостатического прессования.

Во **второй главе** приведены характеристики используемого в работе порошка. Описано построение эксперимента по оценке влияния параметров процесса СЭЛС на комплекс свойств и качество получаемых образцов. Описаны методики анализа микроструктуры, текстуры, свойств, химического состава. Используемые методики позволяют достаточно хорошо охарактеризовать полученные в работе результаты..

Третья глава общим вопросам процессов, происходящих во время селективного электронно-лучевого спекания. Проведено моделирование процесса, показано влияние температурного поля проплавления слоя, как на уже ранее затвердевший металл, так и на окружающий порошок. Отдельно, проанализирована связь процесса послойного переплавления материала с окончательной текстурой и свойствами изготовленных образцов. Показано, что существует наследование текстуры от текстуры кристаллизации, связанной с направлением синтеза.

В **четвертой главе** проведен приведены результаты экспериментов по влиянию различных параметров материала и изменения техпроцесса на механические свойства и структуру. Показано, что с увеличением количества циклов использования порошка возрастает содержание кислорода, что, в свою очередь, влияет на механические свойства. Обнаружено, что варьируя параметры процесса построения можно управлять дефектностью готовых образцов.

Пятая глава посвящена влиянию горячего изостатического прессования на структуру и свойства. Показано, что проведение ГИП существенно снижает количество пористости, что в свою очередь приводит к повышению комплекса свойств.

В **заключении** приведены основные выводы по диссертационной работе.

Научная новизна результатов диссертационной работы

Диссертационная работа Камского Г.В. вносит существенный вклад в понимание возможностей получения изделий титанового сплава Ti-6Al-4V методом селективного электронно-лучевого спекания:

- установлены закономерности формирования текстуры фаз, как при синтезе изделия методом СЭЛС из сплава Ti-6Al-4V так и при его дальнейшей обработке методом ГИП;
- проведено моделирование процесса СЭЛС на основе метода конечных элементов, Составлена карта распределения температур в верхнем слое изделия, а также показано изменение температуры в уже закристаллизовавшихся слоях при термоциклировании;
- экспериментально установлено влияние морфологических дефектов повторно использованного порошка на структуру и свойства.

- установлены особенности разрушения сплава после СЭЛС и ГИП как при статическом, так и циклическом нагружении.

Практическая значимость полученных результатов

В работе показана возможность управления параметрами процесса СЭЛС с целью получения максимального качества изготавливаемого изделия. Оценен вклад в результат параметров исходного сырья и наличия постпроцесса - ГИП.

Полученные результаты полезны для построения технологий изготовления изделий путем СЭЛС, как медицинского, так и других применений..

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. В работе описаны положительные стороны от внедрения аддитивного производства, как замены классических методов изготовления изделий. Хотелось бы знать, существуют ли ограничения и отрицательные стороны этого процесса, которые на данный момент невозможно решить?
2. В литературном обзоре, раздел 1.1.2, сказано, что для титановых порошков требуется содержание кислорода 0.15% вес. Наряду с этим, в табл. 2.1.1, при сравнении использованного порошка с требованиями стандартов, используется величина 0.2% вес. С чем связаны такие различия в граничных содержаниях этого элемента?
3. В табл. 5.3.1 приведен химсостав образцов, прошедших различные варианты обработки. Очевидно, что основное отличие по сравнению с табл. 2.1.1 – содержание алюминия и кислорода. Можно более детально описать причину снижения алюминия для всех образцов и повышения кислорода для некоторых?
4. Для испытания механических свойств рабочая поверхность образцов подготавливалась специальным образом. При этом, поверхность изделий, полученных методом АП, имеет специфическую, зависящую от использованного метода построения шероховатость, качество проплава и т.д. Также, схема нагружения при эксплуатации реального изделия, зачастую отличается от растяжения. Также, одним из немаловажных параметров материала, является уровень вязкости разрушения (для сплава б-4 данное свойство имеет зависимость от уровня кислорода в сплаве). Насколько представительны использованные в данной работе методики, при сравнении с эксплуатацией серийных медицинских изделий?
5. В главе 3, посвященной всесторонней аттестации сплава б-4 произведенного методом АП, выбрана группа образцов партии Е, имеющих одно направление построения. Учитывая анизотропию свойств титановых сплавов, почему была выбрана именно эта группа?

6. Для всех наборов усталостных испытаний, приведенных в диссертации, имеется большой разброс результатов. Планируется ли исследовать причину каждого выпада?

7. В работе выбран один режим горячего изостатического прессования. Чем это обусловлено?

Вышеуказанные вопросы и замечания не снижают общий высокий уровень диссертационной работы. Диссертация представляет собой законченную работу, в рамках которой проведено большое количество всесторонних экспериментальных исследований, и дана научно-обоснованная их интерпретация.

Следует отметить, что диссертация Камского Г.В. является законченной научно-квалификационной работой, соответствует паспорту специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, а также отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» в УрФУ.

Содержание автореферата работы Камского Г.В. соответствует содержанию диссертации.

Результаты работы были представлены на 4-х международных научных конференциях, основные данные проведенных исследований опубликованы в 11-ти статьях, из них 1 в журнале входящем в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ, а также в 10-ти статьях в изданиях, индексируемых базами данных Scopus, Web of Science.

Считаю, что автор Камский Григорий Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент:

Главный специалист по металлвоведению
Научно-Технический Центр
ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА»,
кандидат технических наук

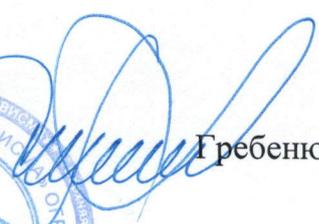
 Щетников
Николай Васильевич

Дата подписания отзыва: «25» мая 2021 г.

624760, Верхняя Салда,
Свердловская область, ул. Парковая 1
Тел: +7(34345)-6-21-36. E-mail: schetnikov@vsm-po.ru

Подпись Щетникова Н.В. удостоверяю,
Начальник управления по работе с персоналом



 Гребенюк С.В.