

В диссертационный совет Д 122.285.04
при ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Крючкова Дениса Игоревича

«Моделирование и совершенствование процессов прессования титановых композитов из порошкообразного сырья», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением

Актуальность работы. В различных отраслях промышленности: авиации, ракетно-космической техники и др. широко применяются полуфабрикаты и изделия из титана и его сплавов (ВТ6, ВТ-22 и др. – более 20) благодаря уникальным сочетаниям его свойств: высокое отношение σ_b / σ_T , высокая твердость, малый удельный вес, высокая коррозионная стойкость и износостойкость, биологическая инертность.

Среди производственных процессов, обладающих большими потенциальными возможностями как с точки зрения получения новых композиционных материалов на основе титана с уникальным заданным комплексом свойств, так и с точки зрения экономических и технологических преимуществ возрастающее значение принадлежит порошковой металлургии в сочетании с процессами пластического формоизменения.

В этой связи представляется актуальной разработка научных основ создания новых композиционных материалов из порошкового титанового сырья по схеме: формование → холодное прессование → спекание → обработка давлением с использованием подходов механики структурно-неоднородных тел и компьютерного моделирования

В связи с этим представленная диссертационная работа Крючкова Д.И., выполненная на тему «Моделирование и совершенствование процессов прессования титановых композитов из порошкообразного сырья» является несомненно актуальной.

.Структура и содержание диссертации

Диссертационная работа, представленная для отзыва, состоит из введения и пяти глав, выводов, заключения, приложения; списка использованных источников из 114 наименований

изложена на 143 страницах машинописного текста, включая 51 рисунок и 9 таблиц. Объем автореферата – 24 страницы.

Во **введении** дана общая характеристика научной проблемы и показана актуальность темы диссертационной работы.

В **первой главе** представлен аналитический обзор литературных и патентных источников по теме диссертации. Рассмотрено современное состояние теории и технологии обработки давлением порошкообразного сырья из титана и его сплавов. Выделены преимущества и недостатки существующих методов изготовления изделий из титановых порошков. Выбрано направление создания нового композитного материала и изделий из него на основе порошкообразного сырья из высокопрочного сплава титана.

Особое внимание в литературном обзоре уделено теоретическим аспектам исследования процессов деформирования порошковых материалов и решению задач технологической механики композитов. Обзор существующих подходов показал целесообразность комплексного использования механики структурно-неоднородных тел и компьютерного моделирования с применением метода конечных элементов для решения выдвинутых научно-технических задач.

Во **второй главе** представлены постановка и методика решения задачи формирования композитного материала из порошкообразного сырья и определения напряженно-деформированного состояния и поврежденности элементов структуры. Здесь основное внимание уделяется построению моделей на двух масштабных уровнях, для которых справедлива разработанная методика. На микроуровне рассматривается модель пластически сжимаемого материала с кусочно-однородными свойствами. Используя модель ячейки представительного элемента объема, рассматривается возможность проводить одновременный анализ особенностей взаимодействия и деформации структурных элементов. На макроуровне материал рассматривается в рамках континуальной теории пластичности сжимаемой среды.

Третья глава посвящена разработке гибридного моделирующего комплекса, представляющего собой программную оболочку, объединяющую системы компьютерного инженерного анализа и математической обработки данных. Комплекс разработан с целью максимально упростить процесс моделирования и обработку данных при решении технологических задач обработки давлением. Теоретические аспекты предлагаемой методики логично вписываются в главную идею моделирующего комплекса, новизна которого подтверждена свидетельством 201461577 Р.Ф. регистрации программы на ЭВМ.

Для отработки алгоритмов и приемов, реализуемых в программных модулях, решена тестовая модельная задача.

Четвертая глава посвящена компьютерному моделированию процесса одностороннего прессования порошковых композиций на основе сплава ВТ-22 в закрытой пресс-форме.

Результаты компьютерного моделирования и сравнение их с экспериментальными зависимостями относительной плотности брикетов от давления прессования показали эффективность полученных параметров реологической модели. Хорошее совпадение результатов позволило автору сделать вывод о том, что модель может быть использована для расчета напряженно-деформированного состояния при прессовании изделий и более сложной формы.

Значительное внимание уделено установлению особенностей формоизменения и взаимодействия структурных элементов в процессе их совместной деформации в ячейке представительного элемента объема. Показано, что изменение плотности в основном идет за счет деформации и растекания более пластичных компонентов.

Приведенные результаты показывают эффективность разработанной автором методики для решения краевой задачи механики обработки давлением.

В **пятой главе** представлены результаты экспериментального исследования прессуемости порошковых композиций на основе сырья из высокопрочного сплава титана ВТ-22. Установлено, что с учетом фактора стоимости исходного материала наиболее предпочтительным является состав с содержанием ВТ-22 60%, ПТМ-1 10% и ПНК-УТЗ 30%, из которого получено изделие в виде кольца.

В приложении представлен акт, подтверждающий научно-практическое значение исследования и использование его результатов на предприятии ООО «Аквамарин».

Научная новизна и достоверность результатов работы.

К основным результатам диссертации, обладающей научной новизной, относятся следующие:

- разработаны научные основы и методология создания нового композитного материала на основе высокопрочного сплава титана из порошкообразного сырья, предполагающие комплексное использование методов компьютерного моделирования и натуральных экспериментов, обеспечивающие сокращение материальных ресурсов;

- в рамках механики структурно-неоднородных тел разработана 3D-модель ячейки исходного порошкового композитного материала, позволяющая проводить численное моделирование методом конечных элементов эволюции структурных компонентов металлических композитных материалов в процессе уплотнения с расчетом параметров напряженно-деформированного состояния и поврежденности компонентов;

- установлен характер изменения геометрии частиц компонентов шихты из смеси порошков ВТ-22 и титана марки ПТМ-1 и их оптимальное соотношение в процессе формования, а также схема и режимы прессования для получения требуемых механических характеристик заготовок из сплава ВТ-22.

Научные положения, выводы и рекомендации базируются на фундаментальных положениях теории обработки металлов давлением, механики структурно-неоднородных тел и статистических методов исследования. Исследования выполнены с использованием современного оборудования и программного обеспечения.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью поставленных задач, применением численных методов – метода конечных элементов – и подтверждается качественным и количественным согласованием результатов компьютерного моделирования с результатами экспериментальных исследований, выполненных с использованием современного оборудования и программного обеспечения, строгостью доказательств, апробацией результатов на всероссийских и международных конференциях, двумя патентами РФ на изобретения и свид. 201461577 Р.Ф. регистрации программы на ЭВМ

Практическая значимость

Результаты диссертационной работы имеют большое практическое значение и могут быть использованы при решении производственных задач.

Разработанные алгоритмы и программные модули гибридного моделирующего комплекса позволяют эффективно использовать вычислительную технику в научных исследованиях, упрощает определение схем и режимов прессования порошковых материалов различных композиций

Важное значение имеют получившие развитие в диссертационной работе основные теоретические положения и технологические решения процессов получения многокомпонентных механических смесей на основе порошка высокопрочного титанового сплава ВТ-22, напряженно-деформированного состояния и накопленной данным материалом поврежденности, реализующихся при обработке давлением

Оформление диссертации

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (ГОСТ Р 7.0.11-2011). Материал диссертации изложен последовательно и логично грамотным техническим языком. При написании использовались общепринятые термины обработки металлов давлением.

Автореферат диссертации соответствует её содержанию.

Публикации по работе. Основные результаты диссертации опубликованы в 16 печатных трудах, из которых 6 опубликованы в изданиях, включенных в перечень ВАК РФ, 2 патентах РФ и 1 свидетельстве о государственной регистрации программы для ЭВМ. Все публикации соответствуют теме диссертации.

Материалы диссертации обсуждены на 7 международных и отечественных конференциях.

По содержанию диссертации имеются следующие **замечания:**

1. Для описания процессов деформирования композиционного материала автор не раскрывает почему использует модель текучести Друкера-Прагера (с.54), в других случаях – уравнение пластичности Сен-Венана-Леви для плоской задачи (с.57), а на с. 59 – формулы для определения интенсивности скоростей деформации, коэффициента напряженного состояния k и величины поврежденности ω - при объемной схеме НДС; при этом, к сожалению не указывается какая реологическая модель принята в качестве граничных условий при проведении соответствующих расчетов.
2. Не объясняется почему для тестирования гибридного моделирующего комплекса выбрано прессование титанового прутка в медной оболочке через ступенчатую матрицу (с. 71 раздел 3.3)
3. На с. 61 утверждается, что предложена схема решения краевой задачи, которая позволяет рассчитывать поврежденность компонентов композитного материала, однако в работе на стр. 80 рис. 3.12 приведен только график распределения накопленной поврежденности при прессовании биметаллического титанового прутка в медной оболочке при этом не приводятся расчеты этих показателей k , ω при пластическом формоизменении порошкового композиционного материала.
4. В разработанном гибридном моделирующем комплексе автором, к сожалению, не указано, позволяет ли данный комплекс выводить полученные результаты для произвольной стадии протекания процесса в любой момент деформирования заготовки или только для полностью продеформированной заготовки, при этом неясно, производится ли автоматическое построение и компоновка эскизов рабочего инструмента и заготовки по задаваемым исходным данным, а также их последующее автоматическое импортирование в расчётный модуль Abaqus?
5. Не указан размер отдельного элемента, а также количество элементов в конечно-элементной сетке, на которую разбиты ядра, а также рассматривались ли варианты моделирования процесса уплотнения ячейки композита с ядрами различного размера?
6. К сожалению не указано в каком виде представляется графическое отображение

полученных результатов моделирования процесса уплотнения ячейки в гибридном моделирующем комплексе или в стандартном постпроцессоре системы Abaqus

Высказанные замечания имеют частный характер, не изменяют положительную оценку работы и не снижают научной и практической ценности диссертации.

Заключение

Представленная к защите диссертация выполнена на актуальную тему, является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в ней содержатся новые научно-технические результаты исследования процессов пластической деформации композитов из порошкообразного титанового сырья.

Рассмотренная диссертация соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а её автор, Крючков Денис Игоревич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением.

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Обработка
металлов давлением»

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
технологический университет «МИ

Жоликов Александр Павлович

14 мая 2016 г.

119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4, ФГАОУ ВО «НИТУ «МИСиС»;
Тел. 8(495) 638-46-70, E-mail: apkolikov@mail.ru

ПОДПИСЬ

Проректор
по общим вопросам
НИТУ «МИСиС»

ЗАВЕРЯЮ

