

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

С.Д. Ваулин

_____ 2016 г.



Отзыв ведущей организации

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 темы диссертации

Титан и его сплавы, благодаря уникальным сочетанием эксплуатационных свойств, нашли широкое применение во многих областях промышленности. В тоже время в современных условиях машиностроительного производства растет спрос на исследования, направленные на развитие технологий создания и внедрения новых композитных материалов и импорт замещения существующих материалов зарубежного производства. При этом важное значение придается вопросам использования отходов, энергосбережения и минимизации затрат. Актуальным направлением для решения поставленных задач является совершенствование технологий использующих методы порошковой металлургии. В тоже время использование порошкообразного сырья из высокопрочного титанового сплава в процессах холодной обработки давлением сопровождается существенной сложностью при уплотнении и

обеспечении консолидации частиц в процессе деформирования. Это приводит к необходимости изучения напряженно-деформированного состояния и анализа формоизменения материала на разных масштабных уровнях. В связи с этим, диссертационную работу Крючкова Дениса Игоревича, направленную на развитие механики обработки давлением порошковых титановых композитов, следует считать актуальной.

Структура и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложения и списка литературы, включающего 114 наименования.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы ее цель и задачи, показана теоретическая и практическая значимость работы.

В **первой главе** приведен литературный обзор состояния теории и технологических аспектов обработки давлением порошковых материалов из титановых сплавов. Приведен ряд способов по металлургической переработке отходов в порошкообразное сырье. Отражены научные подходы и методы теоретического исследования процессов деформирования композитных материалов. Рассмотрена реологическая модель порошкового материала и метод идентификации ее параметров. Затронут вопрос консолидации металлических частиц в условиях пластической деформации. Приводится конечно-элементная формулировка теории течения для уплотняемых материалов.

Во **второй главе** описана методика определения напряженно-деформированного состояния и исследования эволюции формоизменения структурных компонентов композитного материала в процессе уплотнения. В качестве объекта исследований обозначена модель композитного материала и его представительный элемент объема. Осуществлена постановка и выделены этапы решения задачи. Построена система уравнений для

определения напряженно-деформированного состояния, степени пластической деформации и поврежденности в области контакта компонентов композитного материала в любом элементе макрообъема деформируемого тела.

Третья глава посвящена описанию разработанного гибридного моделирующего комплекса для исследования процессов обработки давлением структурно-неоднородных материалов. Комплекс представляет собой проблемно-ориентированную оболочку, интегрирующей CAE-систему Abaqus, систему компьютерной математики, и ряд программных модулей для параметрического моделирования процессов прессования композитов и биметаллов. Приведены архитектура и алгоритмы, разработанные для создания программного продукта. Осуществлено комплексное тестирование программных модулей на примере решения задачи инженерного анализа процесса прессования биметаллического прутка через ступенчатую матрицу с варьированием технологических параметров. Представленная программная разработка внедрена в курс лекций по дисциплине «Теория обработки металлов давлением».

В четвёртой главе приведены результаты численного моделирования и исследования механики уплотнения титановых композитов из порошкообразного сырья. Согласно разработанной методике, для определения параметров условия текучести, сформированы конечно-элементные модели представительного элемента объема для двух составов композитного материала с соотношением порошков ВТ-22 и ПТМ-1 50/50 и 75/25. Идентификация реологической модели позволила осуществить моделирование процесса компактирования в закрытой пресс-форме приведенных составов и определить зависимость средней относительной плотности от давления прессования. Результаты численного моделирования подтверждены экспериментально. Представлены результаты анализа

особенностей напряженно-деформированного состояния и формоизменения компонентов композита.

В пятой главе представлены результаты экспериментального исследования прессования композитных заготовок на основе порошка из сплава титана ВТ-22. Приведены характеристики используемого исходного порошкообразного сырья, оборудования и оснастки. Сравнение составов шихты основывалось на оценке предела прочности на сжатие спрессованных и спечённых образцов. Основываясь на полученных результатах, сделан выбор наиболее предпочтительного состава (60% ВТ-22 + 10% ПТМ-1 + 30% ПНК-УТЗ) с точки зрения учета стоимости композиции, прочности и плотности полученных брикетов. Даны рекомендации по способу подготовки композитного материала и изготовления из него заготовок и изделий.

Теоретическая значимость

Теоретическая значимость полученных автором результатов определяется их научной новизной и заключается в следующем.

Сформулированы научные основы и методология комплексного численного и экспериментального исследования формуемости порошкообразного сырья с целью создания нового композитного материала на основе высокопрочного сплава титана.

Предложены конечно-элементные модели ячейки представительного элемента объема композитного материала для идентификация параметров условия текучести Друкера-Прагера и исследования эволюции формоизменения структурных компонентов.

Разработана методика для определения напряжённо-деформированного состояния и поврежденности компонентов композитного материала в процессе уплотнения, направленная на изучение и анализ образования металлической связи между частицами.

Практическая значимость работы

Разработаны алгоритмы и программные модули гибридного моделирующего комплекса для исследований и совершенствования технологических процессов обработки металлов давлением в научной, производственной и образовательной сферах.

Экспериментально установлены особенности прессуемости многокомпонентных механических смесей порошков ВТ-22, ПТМ-1, ПМС-1, ПВ-Н70Ю30, ПНК-УТЗ.

Даны рекомендации по изготовлению композитного материала и изделий из него, на основе порошкообразного сырья из высокопрочного сплава титана ВТ-22.

Обоснованность научных положений и результатов диссертационной работы обеспечивается грамотным и корректным применением подходов и методов механики деформируемого твердого тела, механики структурно-неоднородных тел, теории обработки металлов давлением и методов математической статистики, апробированием результатов численного моделирования с помощью опытов на современном оборудовании.

Основные положения и результаты исследования доложены и обсуждены на 7 научно-практических конференциях, в том числе с международным участием. Основное содержание диссертационной работы опубликовано в научной и технической литературе. Публикации в достаточной мере отражают основные научные результаты соискателя.

Соответствие паспорту специальности

Материалы диссертации направлены на расширение научных знаний о механике процесса уплотнения некомпактного титаносодержащего сырья, особенностях формоизменения и взаимодействия структурных элементов композита в условиях пластической деформации. Предложенная методика позволяет оценить напряженно-деформированное состояние тела в целом и

его компонентов в отдельности. Представленная методология обеспечивает снижение материальных и энергетических ресурсов при определении оптимального состава и рациональных условий деформирования композитного материала за счет использования компьютерного моделирования. Создание композитного материала на основе сырья полученного из вторичного сырья позволяет повысить экологическую безопасность, а также расширяет сортамент изделий. Таким образом, материалы и результаты диссертации соответствуют паспорту специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть использованы:

ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА» (г. Верхняя Салда) и других компаниях, производящих титан и использующих его в производстве заготовок и изделий.

ОАО «Композит» (г. Королёв) и других предприятиях проводящие научно-исследовательские и опытно-технологические работы по созданию и комплексному исследованию свойств материалов, в том числе из гранул титановых и никелевых сплавов.

В учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Металлургия».

Замечания по диссертационной работе

В целом, оценивая рассматриваемую работу положительно, необходимо сделать ряд замечаний:

1. Не ясно, как и из каких соображений спланирован эксперимент и построена матрица планирования в главе 5?

2. В работе недостаточно полно описаны проводимые эксперименты. В частности, не ясно использовалась ли смазка при испытании на осевое сжатие спеченных брикетов?

3. Из работы не понятно как осуществлялось приближение и оценивалось близость кривой, задаваемой с помощью модифицированного условия текучести Друкера-Прагера с кривой, задаваемой лемнискатой Бернулли?

Заключение

Указанные выше замечания не носят принципиального характера и не снижают ценность рассмотренной диссертационной работы, не оказывают влияния на ее общую положительную оценку.

Диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненного автором исследования изложено новое решение актуальной задачи обработки давлением, заключающееся в разработке научных основ и методологии определения оптимального состава и рациональных условий формования нового композитного материала, из порошкообразного сырья на основе высокопрочного сплава ВТ-22. Новые научные результаты, полученные в диссертации, имеют существенное значение для проведения расчетов напряженно-деформированного состояния порошковых композитов.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа «Моделирование и совершенствование процессов прессования титановых композитов из порошкообразного сырья» полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Крючков Денис Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.05 – Обработка металлов давлением.

Диссертационная работа Крючкова Дениса Игоревича и отзыв на неё заслушаны и обсуждены на расширенном заседании кафедры «Машины и технологии обработки материалов давлением» ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ) (протокол № 9 от 10 мая 2016 г.).

Заведующий кафедрой «Машины и технологии
обработки материалов давлением»
ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ),
доктор технических наук, профессор
тел (351) 267-91-84
e-mail: sherkunovvg@susu.ac.ru

Шеркунов
Виктор Георгиевич

Ученый секретарь кафедры «Машины и технологии
обработки материалов давлением»
ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ),
кандидат технических наук, доцент
тел (351) 267-91-84
e-mail: radionovalv@rambler.ru

Радионова
Людмила Владимировна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Южно-Уральский
государственный университет» (национальный исследовательский
университет)
454080, Россия, Челябинская область, г. Челябинск, пр. Ленина, 76