

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Витебский государственный университет им.П.М.Машерова»

ББК 34.39.03

УДК 621.762

Номер госрегистрации 200021

Инв.№

Р 17



ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«Экспериментально исследовать процессы модифицирования поверхности наноструктурной керамики путем ее лазерной поверхностной обработки и микроструктурной керамики путем лазерной обработки слоев наноразмерных порошков на ее поверхности»

государственной программы ориентированно фундаментальных
исследований

“Разработка теории и методов создания и разработки материалов различного функционального назначения с улучшенными физико-техническими свойствами, управление процессами литья и формирования структуры и свойств литейных сплавов” (ГПОФИ “Материал”)

(ГПОФИ “Материал”, межвузовская программа фундаментальных исследований «Наукоемкие технологии»).

(заключительный)

шифр: 2.11.20

Начальник НИС, к.г.н.  А.Н.Галкин

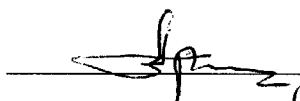
Научный руководитель, к.ф.-м.н.  К.И.Аршинов



Витебск, 2005 г.

Список исполнителей

Научный руководитель,
к.ф.-м.н.



К.И.Аршинов
(введение, раздел 2-4)

Основные исполнители:

Зав. кафедрой общей и теоретической
физики, д.ф.-м.н., профессор



Н.К.Толочко
(раздел 7,8,12)

профессор кафедры общей
и теоретической физики, к.ф.-м.н.



М.П.Шмидт
(раздел 5,6)

доцент кафедры общей
и теоретической физики, к.ф.-м.н.



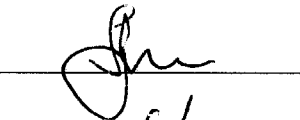
Ф.П.Коршиков
(раздел 5,8)

доцент кафедры общей
и теоретической физики, к.ф.-м.н.



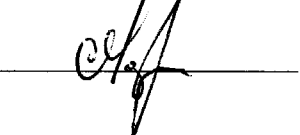
С.В.Позойский
(раздел 5-7)

младший научный сотрудник



М.К.Аршинов
(раздел 2-4,6-12)

Нормоконтролер



С.Е.Мозжаров

Реферат

Отчет с., 1ч., 45 рис., 10 табл., 80 источников, 1 прил.

НАНОРАЗМЕРНЫЕ ПОРОШКИ SiO_2 , Al_2O_3 , МИКРОРАЗМЕРНЫЕ ПОРОШКИ Al_2O_3 ,
ОКСИДНАЯ КЕРАМИКА SiO_2 , ОКСИДНАЯ КЕРАМИКА Al_2O_3 , ЛАЗЕРНОЕ
ИЗЛУЧЕНИЕ,

Объектом исследования являются лазерные технология при производстве изделий электронной техники.

Цель работы: разработка методики лазерной обработки микро- и наноразмерных порошков оксидной керамики металлических порошков.

Экспериментально исследованы закономерности спекания порошков SiO_2 , находящихся в уплотненном состоянии, под действием CO_2 лазера. Исследованы особенности кинетики структурного модифицирования керамики SiO_2 в зависимости от условий лазерной обработки в режиме оплавления. Наибольший эффект модификации покрытий достигается при использовании непрерывных CO_2 -лазеров благодаря возможности обеспечения более стабильного управления процессом обработки при его сравнительно низких энергетических параметрах. Рассмотрены особенности перестройки структуры порошкового тела (перегруппировка частиц, формирование межчастичных контактов, объединение частиц в конгломераты, эволюция пористой структуры) на разных стадиях спекания (при различной длительности лазерного облучения). Спекание осуществляется по жидкофазному механизму (путем оплавления частиц и соединения их твердых нерасплавившихся ядер посредством образовавшейся жидкой фазы). Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего развития методов лазерного спекания керамических порошков.

Экспериментально исследованы закономерности спекания наноразмерных порошков Al_2O_3 , находящихся в уплотненном состоянии. Проведенные предварительные исследования показывают, что при обработке порошковых компактов Al_2O_3 лазерным излучением могут быть достигнуты условия, обеспечивающие получение наноструктурных керамических материалов. Наблюдавшееся в экспериментах возрастание размеров частиц может быть связано с зональным обособлением их исходных агломератов, а также с развитием рекристаллизации, вызванной значительной длительностью и энергией лазерного воздействия.

Установлены различия в характере формирования и трансформирования структуры при лазерной обработке порошков каждого типа, что объясняется особенностями взаимодействия лазерного излучения с порошками, а также особенностями эволюции структуры порошков в процессе лазерного нагрева. Предложен механизм лазерного спекания наночастиц, учитывающий их особую кластерную структуру. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего развития методов лазерной обработки порошков и порошковых материалов.

Экспериментально исследованы особенности лазерной обработки керамики Al_2O_3 с тонкими порошковыми слоями Al_2O_3 , и SiO_2 , нанесенными на ее поверхность. Показано, что в ходе лазерной обработки порошковые слои в зависимости от их теплофизических свойств могут подвергаться различным структурным изменениям, включая спекание и плавление, а также оказывать различное влияние на характер соответствующих изменения поверхностной структуры керамики. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего развития лазерных методов формирования и модифицирования твердотельных структур.

Исследованы особенности формирования структуры при лазерном спекании мелкодисперсных [металлических и композиционных порошков. В процессе спекания порошки осаждались непрерывным потоком под действием вибраций с помощью

специального питателя, состоящего из двух коаксиальных конусов. На примере двух видов порошков (однокомпонентных металлических - Fe и трехкомпонентных композиционных - Fe/Al₂O₃/Cu) изучены возможности подачи мелкодисперсных порошков в зону лазерной обработки с помощью вибрирующей капиллярной трубки. Исследована зависимость скорости вытекания порошка от интенсивности вибраций и свойств порошка. Рассмотрена возможность осаждения порошков, как непрерывным потоком, так и дискретными слоями заданной толщины.

Исследованы закономерности лазерного припекания металлических порошковых слоев к металлической подложке. Рассмотрены особенности взаимодействия лазерного излучения с порошком и подложкой. Экспериментально и теоретически изучены закономерности формирования контактов порошок-подложка при лазерном припекании. Продемонстрированы принципиальные возможности лазерного формирования порошковых покрытий с градиентом состава и структуры.

Выбрана и описана математической модели лазерного спекания компактированных образцов из оксидной керамики. В качестве математической модели лазерного спекания керамики из оксидных порошков была принята нестационарная нелинейная модель лазерного спекания с граничными условиями 2-го рода, описывающими радиационное излучение с поверхности образца как основную составляющую оттока тепла с поверхности. Решение уравнения теплопроводности осуществлялось методом конечных разностей. Выбрана физическая модель лазерного спекания оксидной керамики. Проведены модельные расчеты температурных полей в образцах. Время воздействия лазерного излучения варьировалось от 1 сек. до 2 мин. Установлены различия в характере формирования и трансформирования структуры при лазерной обработке порошков каждого типа, что объясняется особенностями взаимодействия лазерного излучения с порошками, их характеристиками, а также особенностями эволюции структуры порошков в процессе лазерного нагрева. Установлено, что, используя компьютерное моделирование, можно при заданных условиях спекания подобрать толщину образца, чтобы получить необходимую глубину зоны равномерного нагрева. Увеличением толщины образца можно получать необходимую пористость образца.

Содержание

1. Введение.	6
2. Методика экспериментов.	7
3. Лазерное спекание компактированных порошков Al_2O_3 .	8
4. Лазерное спекание порошковых компактов SiO_2 .	10
5. Лазерное спекание порошков в условиях их подачи в зону обработки непрерывным потоком частиц.	17
5.1. Лазерное спекание порошков в условиях их подачи в зону обработки непрерывным потоком частиц с помощью порошкового питателя	17
5.2. Подача мелкодисперсных порошков в зону лазерной обработки с помощью вибрирующей капиллярной трубки	21
6. Лазерная обработка керамики Al_2O_3	25
6.1. Введение	25
6.2. Результаты и обсуждение	27
6.3. Заключение	30
7. Лазерное спекание керамических нанопорошков	30
7.1. Введение	30
7.2. Методика эксперимента	31
7.3. Результаты и обсуждение	31
7.4. Кластерный механизм спекания наночастиц	34
7.5. Заключение	35
8. Закономерности формирования порошковых покрытий под действием лазерного излучения	36
8.1. Введение	36
8.2. Взаимодействие лазерного излучения с порошком и подложкой	37
8.3. Лазерное припекание порошка к подложке	37
8.4. Лазерное формирование градиентных покрытий	41
8.5. Заключение	42
9. Математическая модель процесса лазерного спекания керамики	42
10. Расчет температурных полей в образцах при лазерной обработке наноструктурных порошковых компактов и наноразмерных порошков SiO_2	44
10.1. Физическая модель процесса нагрева образцов SiO_2 .	44
10.2. Результаты расчетов	47
10.3. Выводы	49
11. Расчет температурных полей в образцах при лазерной обработке наноструктурных порошковых компактов и наноразмерных порошков Al_2O_3	50
11.1. Физическая модель процесса нагрева образцов Al_2O_3	50
11.2. Результаты расчетов	51
11.3. Выводы	53
12. Изготовление компонентов микромеханических систем с использованием технологии лазерного спекания порошковых микроформовок	54
12.1. Основные направления развития микромеханики	54
12.2. Принципы технологии изготовления микрокомпонентов лазерным спеканием порошковых микроформовок	56
12.3. Исходные порошки для изготовления микрокомпонентов лазерным спеканием порошковых микроформовок	57
12.4. Закономерности процессов изготовления микрокомпонентов лазерным спеканием порошковых микроформовок	58
12.5. Заключение	60
13. Литература	61
14. Приложение: Программа расчета температурных полей в спекаемых образцах	64