

## ФОРМИРОВАНИЕ ГРАДИЕНТА СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОРОШКА ТИТАНА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

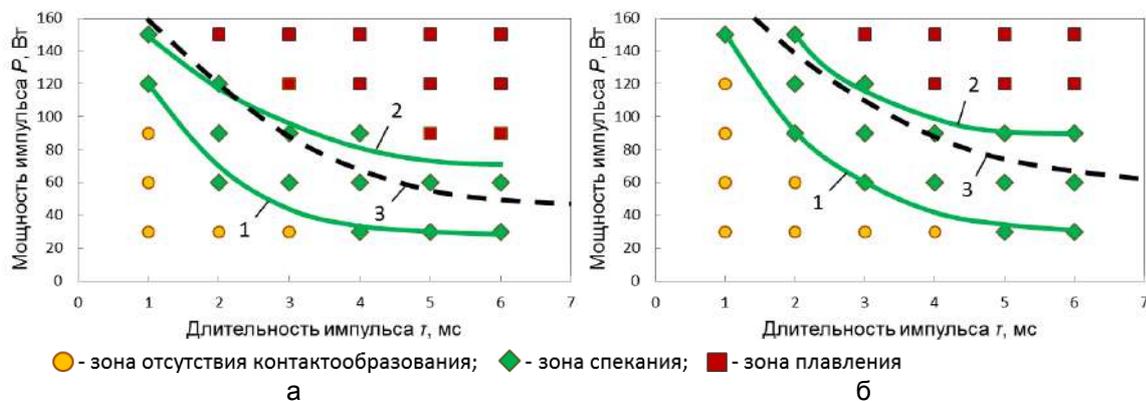
Минько Д.В., Белявин К.Е., Шелег В.К.

Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь, E-mail: dminko@tut.by

Возможность применения селективного лазерного спекания (СЛС) для получения пористых порошковых материалов базируется на идее использования энергии лазерного излучения для поверхностного оплавления частиц порошка при сохранении твердого ядра, что приводит к образованию межчастичных контактов в присутствии жидкой фазы [1]. Применение импульсного лазерного воздействия позволяет за счет более точного дозирования тепловой энергии импульса управлять структурными характеристиками и свойствами изделий, сохраняя микроструктуру и фазовый состав исходных материалов. Особенно перспективно использование импульсного лазерного воздействия при получении градиентных материалов из порошков с крупным размером частиц (100-1000 мкм). Метод позволяет обеспечить внутрислойное и межслойное спекание порошков разного химического и фракционного состава при минимальных нарушениях исходной геометрии и микроструктуры частиц.

Исследования процесса получения градиентных материалов проводили на установке порошковой лазерной стереолитографии УПЛС-1 [2]. Для проведения исследований использовали порошок титана марки ВТ1-0 с частицами сферической формы двух фракционных составов: (-0,315+0,2) мм и (-0,4+0,315) мм, а также титановый лист марки ВТ1-0 толщиной 2 мм.

Экспериментально установлены зоны устойчивого контактообразования частиц исследуемых фракционных составов порошка титана ВТ1-0 при различных технологических режимах импульсного лазерного воздействия (рис. 1).



1 – граница зоны отсутствия контактообразования; 2 – граница зоны расплавления;  
3 – теоретическая кривая критической мощности лазерного излучения

Рисунок 1 – Диаграммы состояния монослоя сферических частиц порошка ВТ1-0 фракционного состава (-0,315+0,2) мм (а) и (-0,4+0,315) мм (б) в зависимости от мощности и длительности одиночного импульса лазерного излучения с диаметром пятна 1 мм

Выявлен существенный эффект влияния скорости сканирования лазерного луча и частоты следования импульсов лазерного излучения на процесс формирования градиента структуры и свойств. Фактически частота следования импульсов определяет количество импульсов излучения, приходящихся на единицу площади порошкового слоя при заданной скорости сканирования лазерного луча, т.е. определяет количество подведенной энергии в порошковый слой. Скорость сканирования лазерного луча в совокупности с частотой следования импульсов определяет величину коэффициента перекрытия лазерных пятен на поверхности порошкового слоя. Эксперименты показали, что увеличение скорости сканирования с 1 до 5 мм/с при частоте следования импульсов 10 Гц приводит к уменьшению глубины расплавленного слоя на поверхности образца в 2,5 раза. При этом ширина трека на поверхности порошкового

слоя уменьшается в 1,6 раза. Таким образом, изменяя скорость сканирования лазерного луча, можно эффективно управлять структурой и свойствами получаемого порошкового материала.

Анализ процесса СЛС позволил выделить из набора технологических параметров несколько основных, наиболее сильно влияющих на структуру и свойства получаемого порошкового градиентного материала [3]. В качестве основных управляющих параметров процесса лучше использовать среднюю мощность одиночного импульса и скорость сканирования лазерного луча, а изменение длительности и частоты следования импульсов применять в качестве дополнительного. Важным параметром является глубина проникновения лазерного излучения, которая, в отличие от основных параметров, не является легко регулируемой, поскольку зависит от способов подготовки порошка перед обработкой. Тем не менее, учет этого параметра необходим при задании основных технологических параметров импульсного лазерного воздействия.

Полученные зависимости относительной пористости образцов от средней мощности импульса лазерного излучения при разных значениях скорости сканирования и от скорости сканирования лазерного луча при разных значениях средней мощности импульса лазерного излучения позволили определить диапазоны регулирования основных параметров процесса спекания с целью получения требуемого градиента относительной пористости.

Исследование механических свойств позволило установить зависимости предела прочности на сжатие пористых образцов от мощности импульса лазерного излучения и скорости сканирования лазерного луча.

Изучение прочности сцепления порошкового слоя с компактной подложкой после импульсного лазерного воздействия позволило установить, что применяемые для получения пористых образцов технологические параметры не могут быть использованы для надежного закрепления порошкового слоя на компактной подложке. Прочность контактов между частицами порошка первого слоя и компактной подложкой оказалась значительно меньше, чем между частицами порошка лежащих выше слоев, что можно объяснить недостаточным образованием жидкой фазы из-за быстрого отвода тепловой энергии лазерного излучения с поверхности вглубь подложки.

Попытки усиления интенсивности процесса тепловыделения путем изменения оптических свойств поверхности подложки, создания макро- и микронеровностей не дали положительного результата. Повысить прочность сцепления порошкового слоя с компактной подложкой удалось путем сканирования первого слоя частиц лазерным лучом с уменьшенным в два раза диаметром фокусного пятна [4].

Отмечена повышенная прочность сцепления с подложкой более мелких частиц порошка, что объясняется увеличенным относительным количеством жидкой фазы, образующимся в результате импульсного лазерного воздействия с одной и той же удельной энергией импульса. Эту закономерность можно использовать при создании слоистых пористых материалов на компактной подложке путем последовательного нанесения слоев с все более крупным размером частиц по мере удаления от ее поверхности.

Проведенный металлографический анализ образцов пористого и компактно-пористого материала показал, что в результате импульсного лазерного воздействия большинство частиц порошка сохраняют свою сферическую форму и соединены друг с другом контактными шейками, образованными при поверхностном оплавлении. Механизм такого образования контактов между частицами подтверждается сравнительными исследованиями микроструктуры исходных порошков и пористых образцов. В отличие от микроструктуры сферических частиц исходного порошка титана ВТ1-0, состоящей из тонких первичных зерен  $\alpha$ -фазы, заключенных в матрице из мартенситных зерен  $\beta$ -фазы, микроструктура поверхности частиц пористых образцов состоит из более грубых первичных зерен  $\alpha$ -фазы игольчатой формы. Большая часть зерен  $\beta$ -фазы в центре частиц сохраняется, а часть, на поверхности, трансформируется через мартенситное превращение в  $\alpha'$ -фазу. Эта, так называемая видманштеттова микроструктура, соответствует охлаждению с высокой скоростью в области температур полиморфного превращения (рис. 2).



а, x200



б, x500

Рисунок 2 – Микроструктура сферической частицы порошка титана BT1-0 (а) и изменение микроструктуры поверхности частицы после импульсного лазерного воздействия (б)

Проведенные исследования показали, что высокие градиенты температуры, вызванные импульсным лазерным воздействием, малая длительность процесса нагревания-охлаждения, совмещение технологических операций формования и спекания позволяют управлять структурной неоднородностью порошковых материалов, что открывает возможность регулирования неоднородности их физических свойств.

**Список литературы:**

1. Yasuda, H. Fabrication of Metallic Porous Media by Semisolid Processing Using Laser Irradiation / H.Yasuda, I.Ohnako, H.Kaziura, Y.Nishivaki // Materials Transactios. - 2001. -V.42. -№2. -P.309-315.
2. Белявин, К.Е. Установка порошковой лазерной стереолитографии и области ее применения / К.Е.Белявин, Д.В.Минько, Ю.А.Чивель, В.К.Павленко // Порошковая металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов. –Минск: НАН Беларуси, 2007. -Вып.30. –С.35-43.
3. Белявин, К.Е. Селективное лазерное спекание пористых материалов и покрытий из порошков титана с частицами сферической формы / К.Е.Белявин, Д.В.Минько, Р.П.Быков // Порошковая металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов. -Минск: НАН Беларуси, 2008. -Вып.31. – С.200-205.
4. Белявин, К.Е. О припекании сферических порошков титана под воздействием твердотельного лазера / К.Е.Белявин, Д.В.Минько, О.О.Кузнечик, Р.П.Быков, Д.А.Затягин. Порошковая металлургия. - 2008. -№7/8. -С.155-160.