

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЕКАНИЯ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОРОШКОВ ТИТАНА С ЧАСТИЦАМИ СФЕРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

Магистр БЫКОВ Р. П., докт. техн. наук, проф. БЕЛЯВИН К. Е.

*Институт порошковой металлургии НАН Беларуси,
Белорусский национальный технический университет*

Получение из металлических, керамических и полимерных порошков материалов, имеющих открытую пористость и сложную пространственную геометрию поверхности, является актуальной задачей для порошковой металлургии. Данная задача может быть решена с помощью селективного лазерного спекания (СЛС) порошков, основанного на принципе послойного построения физической модели или послойного лазерного синтеза [1–3], в результате которого трехмерный объект заменяется совокупностью плоских слоев, физически связанных между собой.

Используемые в настоящее время технологии СЛС порошков ориентированы в основном на реализацию процессов, связанных с полным расплавлением частиц порошка, и не могут обеспечить получение изделий из пористых материалов [3].

Возможность применения СЛС для получения пористых 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. Такая технология, обеспечивая минимальную усадку слоев при отсутствии конгломерации частиц, позволила бы получить заданную пористость изделий при сохранении структуры и фазового состава исходного материала. Для разработки такой технологии необходимо выявить основные закономерности влияния лазерного излучения на порошки и изучить механизм контактообразования.

Целью исследования является изучение закономерностей СЛС порошков для разработки новой технологии получения объемных пористых материалов сложной формы.

Для достижения поставленной цели было проведено исследование механизма контакто-

образования между частицами порошка при СЛС и его влияния на геометрическую форму получаемых материалов.

Анализ процессов СЛС [1–5] показывает, что в большинстве случаев в качестве источников лазерного излучения целесообразно использовать импульсные оптические квантовые генераторы на основе алюмоиттриевых гранатовых монокристаллов, легированных трехвалентным неодимом, так называемые YAG: Nd³⁺-лазеры, имеющие длину излучения 1,064 мкм (инфракрасный диапазон). Средняя мощность излучения при этом составляет от 150 до 450 Вт, частота следования импульсов – 1–50 Гц, длительность импульса – 1–6 мс.

Для проведения исследований использовали разработанную и изготовленную в Институте порошковой металлургии совместно с Институтом физики НАН Беларуси многоцелевую установку порошковой лазерной стереолитографии УПЛС-1, обладающую комплексом уникальных технологических возможностей и большим исследовательским потенциалом (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид установки

Установка включает в себя лазерное устройство, управляющий компьютер и технологический блок, в котором размещаются: устрой-

ство координатного перемещения, система контроля процесса спекания, дозатор. В технологическом блоке установки происходят дозированная подача, формирование порошковых слоев заданной толщины и осуществление процесса СЛС в защитной атмосфере аргона. Технические характеристики установки приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики установки

Характеристика	Значение
Длина волны лазерного излучения, мкм	1,064
Длительность лазерного импульса, мс	3–6
Диапазон регулировки частоты следования лазерных импульсов, Гц	1–50
Диапазон регулировки энергии световых импульсов, Дж	0,3–3
Средняя мощность лазерного импульса, Вт	150
Спектральная область регистрации температур, нм	400–1200
Временное разрешение измерителя температуры, мкс	100
Диапазон регистрируемых температур, К	$(1-3) \cdot 10^3$
Погрешность измерения температур, %	± 5

Установка предназначена для спекания широкого спектра материалов, температура плавления которых может отличаться в десятки раз. Установка позволяет получать изделия с габаритами не более 200×200×50 мм из порошков, имеющих преимущественно сферическую форму частиц размером от 50 до 400 мкм.

В установке применена схема раздельной манипуляции заготовкой и лазерным лучом. С целью обеспечения эффективного разогрева спекаемого слоя порошкового материала и соединения его с предыдущим слоем лазерное излучение фокусируется и направляется перпендикулярно плоскости спекаемого слоя.

В качестве материала для проведения исследований использовали сферический порошок титана марки ВТ1-0 ГОСТ 19807–91 с размером частиц 0,2–0,4 мм (рис. 2).

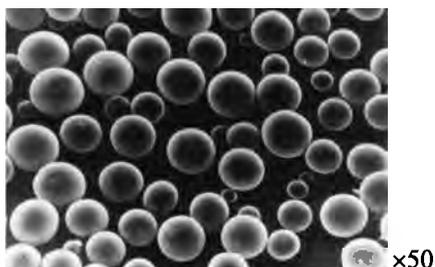


Рис. 2. Форма частиц порошка титана

Микроструктуру порошков и полученных образцов изучали на световом микроскопе MeF-3 фирмы Reichert (Австрия). Форму частиц порошка и фрактограммы поверхностей образцов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа Мира фирмы Tescan (Чехия).

Количественный стереологический анализ образцов проводили с помощью программного комплекса обработки и анализа изображений Autoscan (ЗАО «Спектроскопические системы», разработанного при участии испытательного центра ГНУ «Институт порошковой металлургии», Беларусь).

Экспериментальные образцы получали по следующей технологии.

1. Разрабатывали компьютерную 3D-solid модель экспериментального образца в КОМПАС-3D.

2. С помощью программного обеспечения, входящего в состав установки, переводили 3D-solid модель экспериментального образца в массив данных, представляющий собой набор поперечных сечений, находящихся на определенном расстоянии друг от друга.

3. Полученный массив данных обрабатывали в управляющем компьютере установки, который рассчитывал траекторию сканирования каждого сечения лазерным лучом и выдавал команды на перемещение исполнительных механизмов.

4. Осуществляли дозированную подачу порошка и его виброуплотнение на технологической платформе установки.

5. Лазерным лучом производили сканирование сечения по точкам траектории, заданным в массиве данных.

6. Процесс СЛС порошка контролировали в режиме реального времени с помощью системы контроля процесса спекания (СКПС) установки (рис. 3).

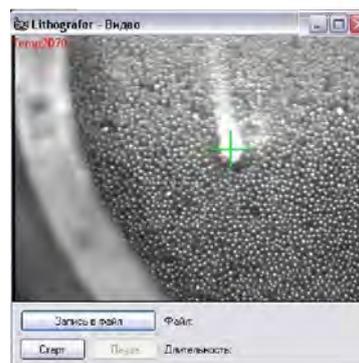


Рис. 3. Режим контроля процессов спекания порошка

7. Перемещали технологическую платформу на заданную величину расстояния между сечениями и повторяли п. 4–6.

С целью изучения кинетики роста межчастичных контактов при СЛС был проведен металлографический анализ образцов пористого материала $\varnothing 5 \times 3$ мм и $\varnothing 15 \times 3$ мм (рис. 4).



Рис. 4. Полученный образец пористого материала

Данные, полученные с СКПС (рис. 3, 5), показывают, что в процессе СЛС порошков титана происходит разогрев частиц до температуры 2070 К.

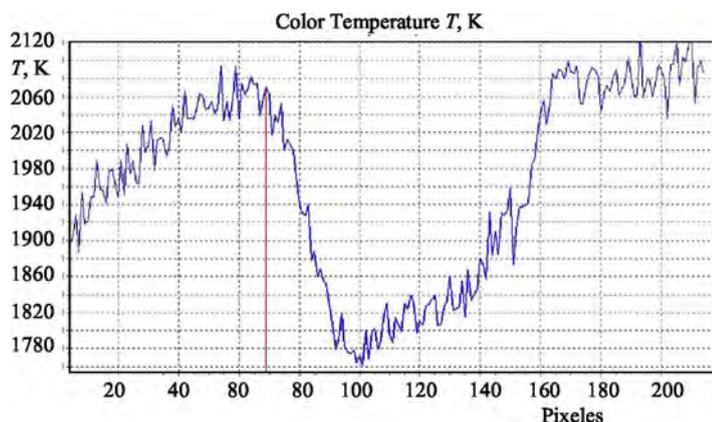


Рис. 5. Распределение температур на поверхности спекаемого слоя порошка

Согласно диаграмме состояния «титан – кислород» [7] при таком значении температуры титан марки ВТ1-0 находится в жидком состоянии, т. е. механизм контактообразования между частицами порошка титана марки ВТ1-0 идет по пути жидкофазного спекания.

Проведенные металлографические исследования (рис. 6) полученных образцов подтверждают, что в результате СЛС между частицами порошка образуются своеобразные «гантели», характерные для процессов спекания поверхностно оплавленных частиц [6].



Рис. 6. Форма контакта между частицами порошка после СЛС

У частиц порошка при лазерном воздействии происходит локальное оплавление поверхности частиц с сохранением твердой фазы в центре частицы, о чем свидетельствует образование α' -фазы (рис. 7) в результате мартенситного превращения при перекристаллизации поверхностно оплавленного слоя частиц.

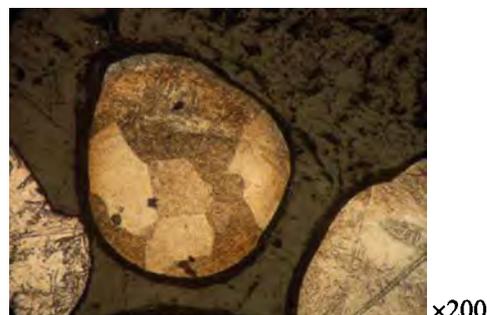


Рис. 7. Поверхностное оплавление частицы порошка при лазерном воздействии

Образование α' -фазы свидетельствует о высокой скорости охлаждения при перекристаллизации [8], что способно привести к образованию термических деформаций, вызывающих изменение геометрической формы спекаемых слоев при СЛС.

Для хорошо окисляющихся в конденсированной и газовой фазах металлов (например, титан) действие коротких лазерных импульсов сопровождается парофазным окислительным процессом и частичной конденсацией окислов на поверхность. Этот процесс приводит к росту поглотительной способности и увеличению теплового воздействия [9], что может способствовать образованию микротрещин, а следовательно, и к разрушению получаемых изделий.

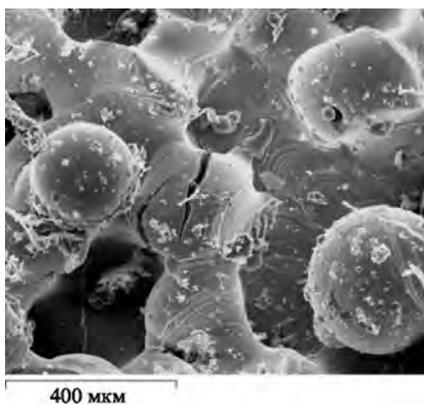


Рис. 8. Фрактограмма поверхности образца, полученного СЛС

ВЫВОДЫ

СЛС металлических порошков позволяет получать пористые материалы сложной геометрической формы поверхности с минимальным временным технологическим циклом, что связано с отсутствием необходимости проектирования и изготовления дополнительных технологических приспособлений и оснастки.

Анализ результатов исследования показал следующее.

1. При импульсно-периодическом лазерном воздействии на частицы порошков титана марки ВТ1-0 механизм контактообразования идет по пути жидкофазного спекания с сохранением твердой фазы в центре частиц.

2. При СЛС порошков возникают термические напряжения, которые способствуют образованию деформаций, приводящих не только к изменению геометрической формы спекаемых слоев, но и к разрушению получаемых изделий из-за образования микротрещин.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Meteinick, J.** The technology of rapid prototyping / J. Meteinick // *Innovation Summer*. – 1992. – P. 30–32.
2. **Шишковский, И. В.** Послойный синтез объемных изделий из никелида титана / И. В. Шишковский // *Перспективные материалы*. – 2004. – № 6. – С. 13–17.
3. **Hanninen, J.** Direct metal laser sintering / J. Hanninen // *Advance materials & processes*. – 2002. – May. – P. 33–35.
4. **New Technology of Selective Laser Sintering** / К. Е. Be-lyavin [et al.] // *EURO PM2005 Congress and Exhibition. Proceedings. 2–5 October 2005, Prague, Czech Republic*. – 2005. – Vol. 2. – P. 171–176.
5. **Microstructure of near-infrared pulsed laser sintered titanium samples** / P. Fischer [et al.] // *Materials Science & Processing. Applied Physics A 78*. – 2004. – P. 1219–1227.
6. **Порошковая металлургия** / Н. К. Толочко [и др.]. – 1997. – № 1/2. – С. 54–62.
7. **Абковиц, С.** Титан в промышленности / С. Абковиц, Дж. Бурке, Р. Хильц. – М.: ОБОРОНГИЗ, 1957.
8. **Гуляев, А. П.** Металловедение / А. П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1986.
9. **Лазерно-индуцированные неустойчивости непрерывного следа воздействия на поверхность** / М. А. Либенсон [и др.] // *Журнал технической физики*. – 2000. – Вып. 4, т. 70. – С. 82–86.

Поступила 10.03.2010