



The technological characteristics of installation of selective laser sintering are given. It is shown that the results of selective sintering are the coverings with penetrable porous structure.

Р. П. БЫКОВ, ГНУ «ИПМ», К. Е. БЕЛЯВИН, БНТУ, Д. В. МИНЬКО,
О. О. КУЗНЕЧИК, ГНУ «ИПМ»

УДК 621.79:536.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СЕЛЕКТИВНОГО ПРИПЕКАНИЯ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРОМ СФЕРИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ТИТАНА

Введение. Разработка для машиностроения, приборостроения и медицины перспективных технологий получения изделий и покрытий из порошков титана, имеющих открытую пористость и сложную геометрию поверхности, является актуальной задачей порошковой металлургии [1–4]. Эта задача может быть решена с помощью селективного припекания (СЛП), использующего энергию излучения импульсного лазера для формирования металлических связей между частицами порошка и подложкой [3–7]. Особенностью СЛП служит то, что припекание порошковых слоев к подложке происходит по заранее заданной программе сканирования лазерного луча по обрабатываемой поверхности.

В металлургии и сварочном производстве благодаря высокой мощности излучения наиболее широкое распространение получили газовые CO₂-лазеры непрерывного действия. Однако, учитывая специфику припекания порошковых слоев к подложке и между собой при получении пористых материалов и покрытий, для осуществления процесса СЛП лучше использовать твердотельные импульсные лазеры на основе YAG: Nd³⁺, применение которых позволяет избежать дефектов в порошковых материалах [10–12]. Для определения режимов припекания порошковых слоев необходимо провести исследования процесса СЛП, определить структуру и пористость получаемого материала покрытия, установить механизм кон-

тактообразования между частицами порошка и между частицами порошка и подложкой.

Цель работы – получение с помощью СЛП покрытий, имеющих проницаемую поровую структуру, и определение механизма контактообразования между частицами порошка титана и титановой подложкой.

Методики и оборудование для исследования процесса СЛП. При проведении исследований процесса СЛП в качестве исходных материалов использовали титановый лист толщиной 3 мм и сферический порошок титана марки ВТ1-0 (ГОСТ 19807–91, фракции (–0,4 +0,2) мм), которые широко применяются при производстве имплантатов [13–15]. Физико-механические и технологические свойства исходного порошка приведены в табл. 1.

Выделение требуемой фракции порошка осуществляли на механическом лабораторном сите с набором сит от 0,1 до 0,63 мм в течение 15–20 мин. Форму частиц исходных порошков (FF) устанавливали на полуавтоматическом анализаторе изображения МОР-АМОЗ (фирма «Райхерт», Австрия). Пикнометрическую плотность частиц порошка регистрировали на вакуумном пикнометре по методике [16]. Насыпную плотность и плотность утряски определяли методом самопроизвольного истечения из воронки с диаметром отверстия 5 мм (ГОСТ 19440–74). Пористость образцов измеряли по ГОСТ 18898 – 89.

Таблица 1. Физико-механические и технологические свойства исходных порошков титана

| Порошок | Пикнометрическая плотность, кг/м ³ | Удельная поверхность, м ² /кг | Насыпная плотность, кг/м ³ | Плотность утряски, кг/м ³ | Фактор формы FF | Текучесть, с |
|-------------|---|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|--------------|
| Титан ВТ1-0 | 4500 | 5,83 | 1840 | 1860 | 0,97 | 29 |

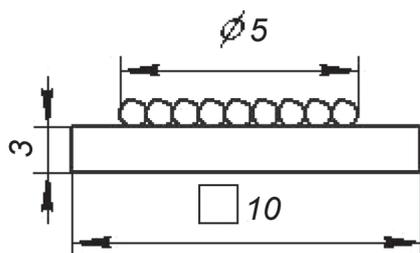


Рис. 1. Схема размещения порошка на подложке

Микроструктуру полученных образцов изучали на металлографическом микроскопе MSM-2 фирмы «Акаши», кратность увеличения которого при проведении исследований изменялась от 50 до 200. Некоторые образцы подвергали травлению.

Фрактограммы хрупкого излома изучали на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) «CamScan» (Англия). Основной причиной использования СЭМ явилось то, что он позволяет наблюдать топографию твердого тела с разрешением и глубиной резкости с высоким разрешением при исследованиях массивных объектов, достигающей 5–7 нм (50–70 Å).

Перед проведением СЛП экспериментальные образцы представляли собой однослойное размещение порошка на поверхности титановой подложки размером 3×10×10 мм (рис. 1).

Режимы СЛП рассчитывали по разработанной математической модели [17, 18], в которой учитывали механизм поверхностного оплавления частицы порошка при импульсном выделении на ее поверхности и в зоне контакта, энергии лазерного излучения и механизм контактного жидкофазного спекания [19, 20]. Полученные режимы СЛП приведены в табл. 2.

Для осуществления процесса СЛП использовали разработанный [21] и изготовленный опытный образец установки порошковой лазерной стереолитографии (УПЛС), включающий в себя импульсный твердотельный лазер YAG: Nd³⁺, управляющую электронно-вычислительную машину (УЭВМ) и технологический блок, в котором размещаются устройство координатного перемещения (УКП), система контроля процесса спекания (СКПС), дозатор. Технические характеристики УПЛС приведены в табл. 3.

Экспериментальные образцы получали с помощью выполнения на УПЛС следующих технологических операций.

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

2. С помощью программного обеспечения, входящего в состав установки, УЭВМ переводит 3D-solid модель экспериментального образца в массив данных, представляющий собой поперечное сечение, заполненное траекториями сканирования лазерного излучения по обрабатываемой поверхности.

3. На технологической платформе дозатора закрепляли заготовку и опускали платформу на величину толщины заготовки и порошкового слоя. Осуществляли дозированную подачу сферического титанового порошка на технологическую платформу и его виброуплотнение.

4. Подавали защитный газ в зону лазерной обработки и производили сканирование лазерным лучом по точкам траектории, заданным в массиве данных.

5. Процесс разогрева порошка лазерным излучением контролировали в режиме реального времени с помощью СКПС и УЭВМ.

Таблица 2. Расчетные режимы СЛП

| Технологические параметры | Значение |
|--|----------|
| Длительность импульса лазерного излучения, мс | 2 |
| Частота следования импульсов лазерного излучения, Гц | 20 |
| Энергии лазерного излучения, Дж | 1 |
| Скорость перемещения координатной системы, мм/мин | 2 |
| Защитный газ | Аргон |

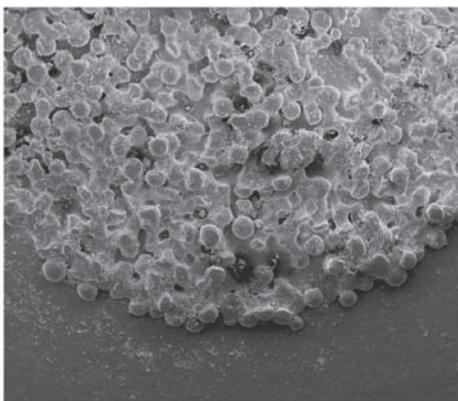
Таблица 3. Технические характеристики УПЛС

| Характеристики | Значение |
|---|------------|
| Длина волны лазерного излучения, мкм | 1,06 |
| Длительность импульса лазерного излучения, мс | 0,5 – 3,0 |
| Диапазон регулировки частоты следования импульсов лазерного излучения, Гц | 1 – 50 |
| Диапазон регулировки энергии импульсов лазерного излучения, Дж | 0,3 – 3,0 |
| Максимальные перемещения координатной системы (X, Y, Z), мм | 200x200x50 |
| Скорость перемещения координатной системы, мм/мин | 1–2000 |
| Точность позиционирования, мкм | 20 |
| Защитный газ | Аргон |

Результаты и анализ исследования процесса СЛП. После СЛП экспериментальные образцы имели вид, приведенный на рис. 2.

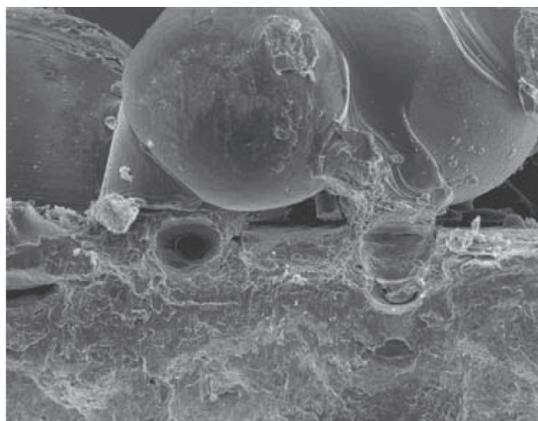
В результате воздействия лазерного излучения на порошок и титановую подложку происходит преобразование оптического светового потока в тепловой поток, который разогревает контактную поверхность частиц порошка и подложки до появления жидкометаллической фазы, способствующей образованию металлических контактов между частицами порошка и основы. На рис. 3 показана фрактограмма хрупкого излома экспериментального образца, которая иллюстрирует состояние межчастичных контактов, устанавливающих связь между порошком и подложкой. После СЛП изменение формы частиц порошка не обнаружено.

Металлографические исследования экспериментальных образцов показали, что микроструктура частиц порошка после припекания (рис. 4) претерпевает изменения по сравнению с микроструктурой частиц исходного порошка (рис. 5).



2 мм

Рис. 2. Топограмма припеченного слоя порошка



200 мкм

Рис. 3. Фрактограмма хрупкого излома экспериментального образца

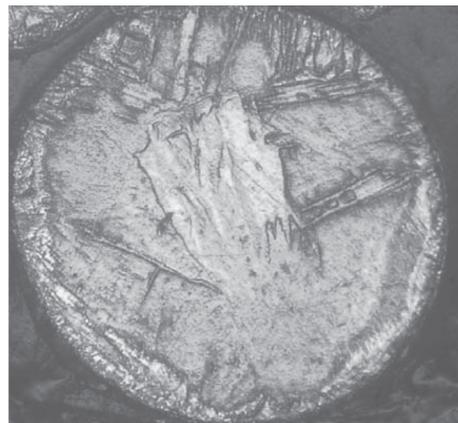


Рис. 4. Микроструктура частицы порошка после припекания

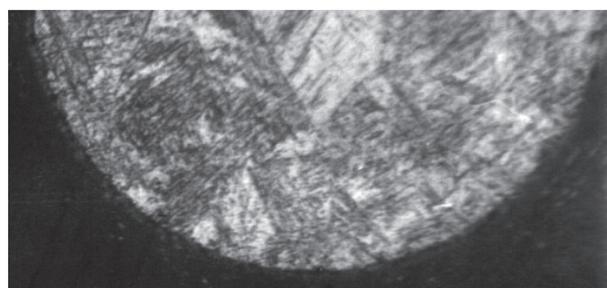


Рис. 5. Микроструктура частицы исходного порошка

Внутри припеченных частиц порошка балл зерна примерно соответствует баллу зерна исходного порошка. Однако на поверхности частиц порошка, которая подвергалась лазерному воздействию, произошло измельчение зерна, что подтверждает предположение о жидкофазном механизме контактообразования при СЛП вследствие поверхностного оплавления частиц порошка и подложки.

Выводы

1. Приведены технические характеристики установки селективного лазерного спекания. Указаны режим селективного припекания твердотельным (YAG: Nd³⁺) импульсным лазером сферических порошков титана фракции (- 0,4 + 0,2) мм к титановой основе.

2. Показано, что результатом селективного припекания являются покрытия с проницаемой поровой структурой.

3. Путем металлографических исследований установлено, что в основе получения этих покрытий лежит механизм жидкофазного формирования металлических контактов, появление которых обусловлено поверхностным оплавлением частиц порошка в результате преобразования импульсного потока оптического излучения лазера в тепловой поток.

Литература

1. Shaker M., Al-Hassani S. T. S., Davies T. J. Discharge powder compaction // Powder met. 1979. Vol. 11. N 3. P. 120–124.
2. Ilyshchenko A. Ph., Savich V. V., Belyavin K. E., Minko D. V. Technology of powder metallurgy and spraying protective coatings for implants production // Proc. III Symposium on Orthopaedic and Prosthetic Engineering IOP 2001. Bialystok. 2001. P. 57–65.
3. Дорошкевич Е. А., Шелег В. К., Радченко А. А., Витязь П. А. и др. 40 лет порошковой металлургии в Республике Беларусь // Мн.: БГНПК НАН Беларуси, 2000.
4. Александров Н. М., Аржанцев П. З. Переломы челюстей. Л.: Медицина, 1986.
5. Hanninen J. Direct metal laser sintering // Advance materials & processes. 2002. P. 33–35.
6. Godavarty A., Agarwal A., Narendra B. Neural networks in studies on oxidation behavior of laser surface engineered composite boride coatings // Applied surface science. 2000. Vol. 161. P. 131–138.
7. Cheng F. T., Kwork C. T., Man H. C. Laser surfacing of S31603 stainless with engineering ceramics for cavitation erosion resistance // Surface and coatings technology. 2001. Vol. 139. P. 14–24.
8. Рыкалин Н. Н., Углов А. А. Лазерно-плазменная обработка металлов при высоких давлениях газов // Квантовая электроника. 1981. Т. 8. № 6. С. 1193–1201.
9. Астапчик С. А., Голубев В. С., Маклаков А. Г., Ваганов В. В. Изготовление режущего инструмента с помощью лазерной сварки // Сварщик в Беларуси. 2003. № 1(1). С. 8–11.
10. Девойно О. Г. Технология формирования износостойких поверхностей лазерным легированием. Мн.: УП «Технопринт», 2001.
11. Толочко Н. К., Мозжаров С. Е., Соболенко Н. В., Ядройцев И. А. и др. Лазерное селективное послойное спекание порошков: проблемы и перспективы // Порошковая металлургия. 1995. № 3/4. С. 32–37.
12. Tolochko N. K., Yadroitsev I. A., Mozzarov S. E., Michailov V. B. Selective laser sintering // Proc. PM 98 World Congress, Granada, Spain. 1998. N 5. P. 407–412.
13. Барьяш В. В. Основные принципы использования проницаемых компрессионных пластин для остеосинтеза травматических переломов нижней челюсти // Актуальные проблемы биологии и медицины. Мн., 1996. С. 362–363.
14. Шапошников Ю. Г. Эндопротезирование в травматологии и ортопедии. М., 1993.
15. Чудаков О. П., Барьяш В. В. Показания и противопоказания к чрезочаговому остеосинтезу компрессионными пластинами из пористого титана при травматических переломах нижней челюсти // Актуальные проблемы биологии и медицины. Мн., 1996. С. 487–488.
16. Кипарисов С. С., Либерсон Г. А. Порошковая металлургия. М., 1971.
17. Белявин К. Е., Минько Д. В., Быков Р. П., Кузнецик О. О. Исследование влияния мощности импульсно-периодического лазерного излучения на устойчивость жидкометаллических контактов между частицами порошка при селективном лазерном спекании // Порошковая металлургия. 2006. Вып. 29.
18. Белявин К. Е., Минько Д. В., Быков Р. П., Кузнецик О. О. Моделирование процесса наплавки при импульсно-периодическом лазерном воздействии на порошок титана // Сварка и родственные технологии. 2006. Вып. 8.
19. Астапчик С. А. Фазовые и структурные превращения в сталях и сплавах при лазерном нагреве // Весці АН БССР. Сер. фіз-тэхн. навук. 1982. № 4. С. 3–35.
20. Белявин К. Е., Мазюк В. В., Минько Д. В., Шелег В. К. Теория и практика электроимпульсного спекания пористых порошковых материалов. Мн.: ООО «Ремико», 1997.
21. Минько Д. В., Кузнецик О. О., Чивель Ю. А., Павленко В. К. Установка порошковой лазерной стереолитографии: Пат. РФ № 2299787.