

УДК 621.7.044:621.762.55

Ш.С. Нозирзода

Sh.S. Nosirzoda

Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского
Томского политехнического университета

Yurga Institute of Technology of National Research
Tomsk Polytechnic University Affiliate

**ПОСЛОЙНЫЙ СИНТЕЗ ИЗДЕЛИЙ-ПРОТОТИПОВ
МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО
СПЕКАНИЯ ПОРОШКОВ**

**LAYERWISE SYNTHESIS TECHNOLOGY
OF THE PRODUCTS PROTOTYPE BY SELECTIVE
LASER POWDERS SINTERING**

Рассмотрены методы послойного синтеза изделий-прототипов. Дано описание экспериментальных установок. Показана возможность увеличения производительности и снижения энергоемкости процесса за счет сокращения числа слоев и армирования изделий. Предложены математические зависимости влияния технологических режимов спекания на толщину и шероховатость спеченного поверхностного слоя.

Ключевые слова: послойный синтез, производительность процесса, качество поверхностного слоя, экспериментальная установка, селективное лазерное спекание.

Layering synthesis methods of the article-prototypes are considered. Experimental facilities description is given. Efficiency increase possibility and process power intensity lowering through the use of the layers number and articles reinforcement shortening is shown. Mathematical dependences of the sintering technological modes influence on the thickness and roughness of the sintered surface layer are proposed.

Keywords: layering synthesis, process efficiency, surface layer quality, experimental facility, selective laser sintering.

В последние годы методы послойного синтеза изделий-прототипов сформировали принципиально новое направление в технологии машиностроения, полиграфии, медицине (имплантаты), ювелирном деле, архитектурном моделировании и других сферах деятельности, где необходимо изготовить опытные, единичные, эксклюзивные и уникальные образцы изделий. Коренное отличие этих методов заключается в том, что готовая деталь получается не путем снятия слоя материала с заготовки, как это принято в традиционных способах обработки, а за счет послойного наращивания материала с одновременным получением заданной формы и размеров изделия [1]. При этом главная особенность

этих способов заключается в обязательном применении трехмерного компьютерного проектирования изделия как исходного этапа технологии послойного синтеза. За такими процессами, органично сочетающимися в себе информационные и промышленные технологии, стоит, на наш взгляд, будущее развитие производства изделий.

К настоящему времени известно большое количество технологий быстрого прототипирования (rapid prototyping), которые отличаются друг от друга применяемым материалом и способом формообразования изделия. Из них основными являются стереолитография, послойная укладка расплавленной полимерной нити, изготовление объектов с использованием технологии ламинирования и селективное лазерное спекание (СЛС) порошковых материалов [1, 2]. Наибольшие перспективы имеет технология СЛС, обладающая широким выбором порошковых материалов (от пластика до металлов и сплавов) и возможностью синтеза новых, в том числе композиционных, материалов.

В процессе СЛС применяются лазерный луч и пошагово опускаемая платформа. Спекаемый порошок подается из питателя и с помощью специального ролика тонким слоем распределяется по поверхности платформы. Луч лазера вначале обводит контур слоя будущего изделия, а затем сканирует всю поверхность внутри этого контура. В результате теплового воздействия лазерного излучения частицы порошка оплавляются и потом затвердевают, образуя твердую массу определенной толщины, форма и размеры которой соответствует слою 3D-модели изделия-прототипа. Генерация всего изделия происходит снизу вверх, слой за слоем. При этом оно постоянно погружено в ванну из исходного порошка, являющегося поддерживающей опорой.

Одним из важнейших факторов, определяющих эффективность методов послойного синтеза изделий, является производительность процесса, которая исследована в работе [3]. Согласно [3] время изготовления прототипа состоит из трех частей:

- 1) времени подготовки данных для исполнительного механизма $T_{\text{ПД}}$;
- 2) времени синтеза прототипа;
- 3) времени дополнительной обработки готового изделия $T_{\text{ДО}}$.

Тогда расчет циклической производительности процесса послойного синтеза можно провести по формуле

$$Q = \frac{1}{T_{\text{ПД}} + \sum_{i=1}^n (t_{pi} + t_{xi}) + T_{\text{ДО}}}, \quad (1)$$

где t_{pi} и t_{xi} – время рабочих и холостых ходов при изготовлении единичного слоя соответственно; n – число слоев в прототипе; Q измеряется в шт./мин.

Применительно к технологии СЛС формула (1) примет вид

$$Q = \frac{1}{T_{\text{пд}} + \left(\frac{4\Phi\sqrt{1-P^2}}{\pi dhV} \right) + \sum_{i=1}^n t_{xi} + T_{\text{до}}}, \quad (2)$$

где Φ – объем модели; h – толщина спекаемого слоя; d – диаметр лазерного пятна; V – скорость сканирования; P – коэффициент технологичности формы модели [3].

Расчеты по формуле (1) показали, что для повышения производительности необходимо стремиться к сокращению числа слоев, в том числе за счет увеличения толщины единичного слоя.

Эксперименты по определению влияния технологических параметров СЛС и свойств порошкового материала на толщину спекаемого слоя проводились на экспериментальном стенде, состоящем из модернизированной лазерной установки «КВАНТ-15», трехкоординатного стола и персонального компьютера со специализированным программным обеспечением [3]. Спеканию подвергались следующие порошки: медный ПМС-1, из конструкционной стали ПЖ-6, из смеси этих порошков с тонером от лазерного принтера в соотношении 1:1. В результате данных исследований установлено, что основным фактором, влияющим на толщину спеченного слоя, является плотность мощности лазерного излучения E ($\text{Вт}/\text{м}^2$), которая регулируется путем изменения напряжения на накопительных конденсаторах лазерной установки. Так, для скорости перемещения луча 25 мм/мин, диаметре лазерного пятна 0,5 мм и частоты следования импульсов 1, 2, 5 Гц эту зависимость можно выразить степенной эмпирической формулой $Z = CE^x$ (мм), величины C и x в которой приведены в таблице [3].

Значение констант C и x эмпирической зависимости $z = CE^x$

| Порошок | Частота, Гц | C | x |
|---------------------|-------------|---------------------|--------|
| ПМС-1 | 1 | $2 \cdot 10^{-6}$ | 1,1002 |
| | 2 | $5 \cdot 10^{-5}$ | 0,9328 |
| | 5 | $0,2 \cdot 10^{-3}$ | 0,8709 |
| Смесь ПМС-1 + тонер | 1 | $1 \cdot 10^{-4}$ | 1,4342 |
| | 2 | $2 \cdot 10^{-8}$ | 1,4923 |
| | 5 | $8 \cdot 10^{-5}$ | 0,9063 |
| Смесь ПЖ-6 + тонер | 1 | $2 \cdot 10^{-4}$ | 0,7500 |
| | 2 | $8 \cdot 10^{-7}$ | 1,2768 |
| | 5 | $1 \cdot 10^{-32}$ | 7,3162 |

Анализ значений, приведенных в таблице, показывает, что имеется возможность изменения толщины спекаемого слоя в значительных пределах за счет изменения технологических режимов лазерной обработки.

Изучение процесса СЛС было продолжено в работе [4], где, кроме толщины спекаемого слоя, исследовалась также получаемая шероховатость поверхности. Эксперименты проводились на технологическом лазерном комплексе, состоящем из иттербиевого волоконного лазера ЛК-100-В, трехкоординатного стола, системы ЧПУ и оригинального программного обеспечения. Спекались порошок ПМС-1 и кобальтхроммолибденовый порошок DSK-F75, который применяется для изготовления имплантатов в восстановительной медицине и для изделий, работающих при высокой температуре. Варьируемые параметры – мощность излучения P (Вт), диаметр фокусировки луча лазера d_n (мм), скорость перемещения луча лазера V (мм/мин), шаг сканирования S (мм), температура подогрева порошковой композиции T ($^{\circ}\text{C}$), защитная среда (аргон, азот) и механоактивация порошка.

С помощью методов планирования экспериментов получены следующие эмпирические зависимости толщины спеченного слоя от технологических режимов [4]:

- для DSK-F75:

$$Z = 1,9 + 0,04P - 0,027V + 0,0000057V^2 + 0,000001T^2 + 0,0029T - 120S^2 - S - 0,000294PT + 0,25VS; \quad (3)$$

- для ПМС-1:

$$Z = 0,7441 + 0,0224P - 0,00017V + 0,00054T. \quad (4)$$

Анализ зависимостей (3) и (4) позволил установить рациональные области технологических режимов для кобальтхроммолибденового порошка: $P = 10\text{--}20$ Вт, $V = 100\text{--}300$ мм/мин, $S = 0,1\text{--}0,15$ мм, $T = 26\text{--}200$ $^{\circ}\text{C}$; для медного порошка: $P = 14\text{--}30$ Вт, $V = 200\text{--}3000$ мм/мин, $S = 0,1\text{--}0,3$ мм, $T = 26\text{--}200$ $^{\circ}\text{C}$.

Важную роль как для сцепления смежных слоев прототипа, так и для качества наружной поверхности изделия играет шероховатость спеченной поверхности. Вследствие сравнительно высокого уровня шероховатости она измерялась на инструментальном микроскопе ИМЦ 100×50А на поперечных шлифах единичного спеченного слоя по специальной методике [4]. В результате были получены зависимости параметра R_z шероховатости спеченного слоя от технологических параметров СЛС следующего вида:

- для DSK-F75:

$$R_z = 395 + 53P + 0,9V - T - 2400S - 0,15PV - 0,3PT; \quad (5)$$

- для ПМС-1:

$$Rz = 356 + 15P - 0,1V - 0,0575T + 425S. \quad (6)$$

Анализ зависимостей (5) и (6) показывает, что основными параметрами, влияющими на шероховатость спеченной поверхности, являются мощность излучения, скорость перемещения луча лазера и шаг сканирования. Выявлено улучшение качества поверхностного слоя при спекании в среде аргона и спекании порошка, предварительно подвергнутого механической активации. Одним из направлений повышения производительности и снижения энергоемкости процесса СЛС является послойный лазерный синтез армированных объемных изделий [5]. Сущность этого способа (патент на изобретение № 2468920 РФ) заключается в том, что внутренний объем прототипа получают обработкой резанием, а поверхностный – путем послойного синтеза из полимерсодержащей суспензии.

В качестве технологической среды применялась смесь глицерина ПК-94 и порошка полистирола ПСЭ-1, которая обладает ярко выраженной седиментацией (расслоением). Разработанный способ позволяет повысить производительность и снизить энергоемкость изготовления изделий до 50 % в зависимости от формы прототипа [5].

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что селективное лазерное спекание получило новое технологическое направление в формообразовании изделий со своими особенностями и закономерностями, которые необходимо учитывать при реализации данного процесса.

Список литературы

1. Петрушин С.И., Сапрыкин А.А., Сапрыкина Н.А. Технология послойного синтеза изделий-прототипов: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2009. – 101 с.
2. On the problem of wear resistant coatings separation from tools and machine elements / S.I. Petrushin, R.K. Gubaidulina, S.V. Grubiy, A.V. Likholat // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 91. – P. 1–7.
3. Сапрыкин А.А. Повышение производительности процесса селективного лазерного спекания при изготовлении прототипов: дис. ... канд. техн. наук. – Томск, 2006. – 158 с.
4. Сапрыкина Н.А. Совершенствование технологии формирования поверхностного слоя изделий, полученных послойным лазерным спеканием: дис. ... канд. техн. наук. – Тюмень, 2013. – 164 с.
5. Вальтер А.В. Разработка и исследование процесса послойного лазерного синтеза армированных объемных изделий: дис. ... канд. техн. наук. – Иркутск, 2011. – 174 с.

Получено 04.12.2015

Нозирзода Шодмон Салохидин – студент, кафедра «Технология машиностроения», Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Научный руководитель – **Сергей Иванович Петрушин** – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения», Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета, e-mail: psi@tpu.ru.

Научный руководитель – **Роза Хамидовна Губайдулина** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения», Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского Томского политехнического университета, e-mail: victory_28@mail.ru.