

УДК 621.762.2.048.7

Терентьев Е.С., студент
(ЮТИ ТПУ, г. Юрга)

Научный руководитель – Сапрыкина Н.А., к.т.н., доцент

Terentev, E. S., student
(YUTI TPU, Yurga)

Scientific supervisor – Saprykin N.A., Ph. D., associate Professor

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПРИ ПОСЛОЙНОМ ЛАЗЕРНОМ СПЛАВЛЕНИИ АЛЮМИНИЯ

THE CONDITIONS OF FORMATION OF QUALITY PARAMETERS IN LAYER-BY-LAYER LASER ALLOYING OF ALUMINIUM

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментальных исследований влияния технологических режимов лазерного излучения на толщину сплавленного поверхностного слоя из алюминиевого порошка ПА-4. Установлено, что толщину поверхностного слоя можно изменять с 0,74 до 1,55 мм путем изменения технологических режимов лазерной обработки.

Abstract

The article presents the results of experimental researches of influence of technological modes of laser radiation on the thickness of the alloyed surface layer of aluminum powder PA-4. It is established that the thickness of the surface layer can be changed from 0.74 to 1.55 mm by changing the technological modes of laser processing.

В современной экономике для снижения времени изготовления, экономии средств и создания конкурентоспособной продукции применяют аддитивные технологии, позволяющие создавать функциональные изделия сложной формы из металлических порошковых материалов заданной точности на основе 3D САD-модели без предварительных затрат на подготовку средств технологического оснащения [1].

При получении объемных изделий методом послойного лазерного сплавления 3D САD-модель рассекается на слои. В зону сплавления подается порция порошка, перемещением луча лазера по площади сечения на заданных режимах формируется слой, соответствующий сечению детали. Операция продолжается до полного изготовления изделия. Еще одним преимуществом метода послойного лазерного сплавления является эффективное использование порошкового материала благодаря возможности повторного использования неспеченного порошка [2].

Наряду с преимуществами, применение аддитивных технологий ограничено невысоким качеством формирования поверхностного слоя получаемых изделий, вероятностью расслоения и низкой механической прочностью, ограниченной номенклатурой порошковых материалов [3, 4].

В настоящее время для установок послойного лазерного спекания применяют сверхпрочный сплав кобальт-хром CobaltChrome MP1, металлический порошок на основе бронзы DirectMetal 20, биосовместимый титан Ti6Al4V ELI, алюминиевый сплав AlSi10Mg, нержавеющая сталь StainlessSteel 316L, мартенситно-стабилизирующая сталь MaragingSteel MS1, нержавеющая сталь StainlessSteel GP1, нержавеющая сталь StainlessSteel PH1.

Развитие технологии послойного лазерного сплавления идет по пути внедрения новых порошковых материалов, создания функционально-градиентных структур [5]. Для формирования изделия заданного качества, обладающего требуемой механической прочностью из металлических порошковых материалов необходимо учитывать факторы, влияющие на качество сплавленной поверхности и ее внутренней структуры:

- термическое воздействие (вспучивание, растрескивание поверхности, расслоение, оплавление поверхности) [6];

- технологические режимы нанесения слоя (уплотнение, скорость нанесения, смещение слоя при нанесении порошка) [7];

- технологические режимы сплавления (плотность мощности излучения, энергия в импульсе, скорость перемещения луча лазера, диаметр лазерного пятна);

- материал порошка (теплофизические и физико-химические свойства, размеры и форма порошка).

Приведенные факторы указывают на то, что создание функционального изделия возможно только в определенном диапазоне лазерного воздействия, который подбирается экспериментально для каждого порошкового материала, а на точность изделия значительное влияние оказывает толщина спеченного слоя [8].

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния технологических режимов лазерного воздействия: скорость лазерного луча V , мощность лазера P , шаг сканирования S на толщину сплавленного слоя из алюминиевого порошка ПА-4 методом послойного лазерного сплавления.

Алюминиевый порошок широко используется в машиностроении, так как он имеет хорошие физические свойства. Алюминиевый порошок ПА-4 имеет температура плавления 660°C . Химический состав: активный алюминий не менее 98% из железо - 0.35% кремния 0.4% меди - 0.02%.

Эксперименты реализованы на установке послойного лазерного сплавления оригинальной конструкции, которая позволяет регулировать все технологические процессы сплавления. Установка представляет собой

технологический лазерный комплекс формирования поверхностей изделий сложной пространственной формы, состоящей из иттербиевого волоконного лазера ЛК – 100 – В (длина волны 1.07 мкм), сканатора, персонального компьютера, системы ЧПУ и оригинального программного обеспечения. Перемещение по координатам X, Y, Z обеспечивается шаговыми двигателями [9].

Так как изделие создается методом послойного лазерного сплавления необходимо знать толщину сплавленного единичного слоя при рассечении САД-модели на слои. Необходимо знать ее и при реализации процесса изготовления изделия. Если сплавленный слой имеет недостаточную толщину, возникают сложности с нанесением следующего слоя порошка из-за разрушения предыдущего. Увеличение толщины слоя наносимого порошка приводит к расслоению изделия после сплавления. Толщина слоя оказывает влияние и на качество боковой поверхности имеющей ступенчатый вид. Высота каждой ступеньки примерно равна толщине спеченного слоя. Режимы сплавления необходимо назначать таким образом, чтобы изделие получилось требуемых размеров в пределах допуска заданного качества. В патенте на изобретение 2262741 РФ [10] предложен метод высокой точности разбиения виртуальной объемной модели будущего изделия на слои, толщиной меньше поля допуска на номинальный профиль поверхности модели, при этом номинальный профиль поверхности модели проходит через среднюю линию поперечных слоев, и получают фактический профиль. Толщина слоя назначается в диапазоне

$$Z_{\min} \leq Z \leq Z_{\max}, \quad (1)$$

где Z_{\min} и Z_{\max} – минимальная и максимальная толщина слоя, соответственно, которую можно получить на технологическом оборудовании.

Определение рациональных режимов сплавления в одном слое позволит создавать объемные изделия сложной геометрической формы.

В ходе эксперимента сначала получены однослойные спеченные образцы 20 мм длиной, 10 мм в ширину. Траектория перемещения луча лазера показана на рисунке 1.

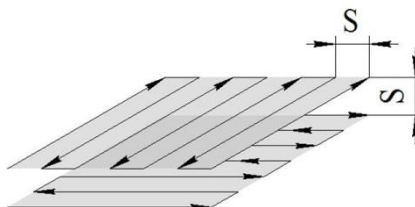


Рисунок 1. Траектория перемещения луча лазера

Для нахождения приемлемых режимов сплавления на первом этапе проведены предварительные поисковые эксперименты. Образцы, обладающие механической прочностью, из порошка ПА-4 получались на

следующих режимах: $P = (10-20)$ Вт и $V = (1000-3000)$ мм / мин, $S = (0.1-0.2)$ мм. Анализ геометрического состояния поверхности проведен на микроскопе LEXT OLS 4100 (OLYMPUS).

На рисунке 2 показано влияние мощности лазерного излучения на качество спеченного поверхностного слоя. Изменения мощности от 10 до 20 Вт при постоянной скорости $V = 1000$ мм / мин, температура сплавления $t = 26$ °С и шагом сканирования $S = 0,2$ мм приводит к увеличению толщины сплавленного слоя с 0,765 до 1,55 мм. На рисунке 2, б наблюдаем увеличение размера коагулированных частиц, объясняемое увеличением плотности энергии.



Снижение мощности до 10 Вт, как показано на рисунке 2, приводит к снижению механической прочности образцов. При назначении мощности 20 Вт, $V = 3000$ мм / мин, $t = 26$ °С, $S = 0,2$ мм спеченные образцы имеют толщину 1,33 мм, рисунок 3, б.



Проведенные исследования позволяют сделать вывод о значительном влиянии мощности на качество сплавленного поверхностного слоя. Также значительным является влияние скорости перемещения луча лазера на качество поверхностного слоя. Увеличение скорости приводит к уменьшению толщины спеченного слоя, в некоторых случаях она недостаточна для формирования поверхности. Не так значительно влияет на качество спеченного поверхностного слоя шаг сканирования. При спекании алюминиевого порошка увеличение шага сканирования приводит к уменьшению толщины спеченного слоя.

На рисунке 4 показан объемный образец, состоящий из десяти слоев. Толщина приращенных слоев 200 мкм, сплавление осуществлялось в защитной среде аргона.



Figure 12. Внешний вид объемного образца (x2). Режимы сплавления $V=1000$ мм/мин, $t=26$ °C, $S=0,1$ мм, $P=60$ Вт толщина приращенных слоев 200 мкм, защитная среда аргон

Поверхность образца волнистая и наблюдаются сплошные борозды, в основном, вдоль перемещения луча лазера. Характерный размер коагулированных из расплава капель составляет 1-1.5 мм, что на порядок превышает исходный размер порошкового материала. Это свидетельствует о том, что мощности лазера достаточно для процесса коагуляции отдельных частиц расплава в более крупные образования. Развитая внутренняя пористость положительно влияет на сцепление слоёв между собой.

Показана возможность применения алюминиевого порошка отечественного производства в технологиях быстрого прототипирования. Найден диапазон технологических режимов лазерного воздействия. Представлена возможность изменения толщины сплавленного поверхностного слоя в значительных пределах за счет изменения технологических режимов лазерного излучения. Изменение скорости от 1000 до 3000 мм/мин приводит к увеличению толщины слоя на 16 % при $P=20$ Вт, $S=0.2$ мм, $t=26$ °C. Увеличение мощности с 10 до 20 Вт приводит к увеличению толщины спеченного слоя на 200 %, при $V=1000$ мм/мин, $S=0.2$ мм, $t=26$ °C. Шаг сканирования оказывает незначительное влияние на толщину спеченного поверхностного слоя. Увеличение S с 0.1 до 0.2 мм при $P=10$ Вт, $V=1000$ мм/мин, $t=26$ °C увеличивает толщину спеченного слоя на 3 %. Толщина единичного слоя необходима для определения количества слоёв при рассечении САД-модели.

Список литературы

1. Polmear IJ. Light alloys: metallurgy of the light metals. 3rd ed. London: Arnold; 1995.
2. Seyda V, Kaufmann N, Emmelmann C. Investigation of aging processes of Ti-6Al-4V powder material in laser melting. In: Physics procedia of the 7th international conference & exhibition on photonic technologies LANE, vol. 39, Fürth, Germany; 2012. p. 425-31
3. Niu HJ, Chang ITH. Selective laser sintering of gas atomized M2 high speed steel powder. J Mater Sci 2000;35:31-8.

4. Asgharzadeh H, Simchi A. Effect of sintering atmosphere and carbon content on the densification and microstructure of laser-sintered M2 high-speed steel powder. *Mater Sci Eng A* 2005;403(1–2):290–8.
5. Saprykina N A, Saprykin A A, Improvement of surface layer formation technology for articles produced by layer-by-layer laser sintering, *Applied Mechanics and Materials* 379 2013 56-59
6. Saprykina N A, Saprykin A A, Engineering Support for Improving Quality of Layer-by-layer Laser Sintering, *The 7th International Forum on Strategic Technology IFOST2012* 2012 p 129- 132
7. Saprykina N A, Saprykin A A, Matrunchik M S, Formation of Surface Layer of Cobalt Chrome Molybdenum Powder Products with Differentiation of Laser Sintering Modes, *Applied Mechanics and Materials* 682 2014 p 294-298
8. Babakova E V, Gradoboev A V, Saprykin A A, Ibragimov E A, Yakovlev V I, Sobachkin A V, Comparison of Activation Technologies Powder ECP-1 for the Synthesis of Products Using SLS *Applied Mechanics and Materials* 756 2015 p 220-224
9. Saprykin A A, Saprykina N A, Dudikhin D V, Emelyanenko S M, Influence of layer-by-layer laser sintering modes on the thickness of sintered layer of cobalt-chromium-molybdenum powder, *Advanced materials research* 1040 2014 p 805-808
10. Saprykin A A, Petrushin S I, Saprykina N A, The patent of the Russian Federation № 2268493. 2006.