

УДК.621.373.826

ВЫРАЩИВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Анна Владимировна Колчанова

*Аспирант 2 года,**кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: А.Г. Григорьянц,**доктор технических наук, профессор кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»*

Технология селективного лазерного плавления (СЛП) позволяет осуществить быстрое формирование сложных по форме изделий, значительно уменьшить процедуру механической обработки, сократить цикл производства и уменьшить цены и риски при разработке новых изделий [1,2]. Общая схема процесса показана на рис. 1. На подложку рабочей камеры наносится тонкий слой порошкового материала посредством ролика или ракеля из бункера с порошком. Слой переплавляется лазерным излучением в заданных участках согласно управляющей программе. Далее рабочая подложка опускается на высоту слоя, подложка бункера с порошком – поднимается. Наносится новый слой и процесс повторяется до полного формирования изделия.

В настоящее время технология СЛП широко охватывает самые различные отрасли производства [3-7]. В последние годы прочность и твердость традиционных сталей не могут удовлетворить некоторые требования для деталей, несущих большую нагрузку и требующих высокую износостойкость. Металло-матричные композиты (ММК) имеют много преимуществ, сочетая свойства матрицы и армирующих элементов: теплопроводность, электропроводность, износостойкость, небольшой коэффициент теплового расширения, хорошее демпфирование. Они широко используются в авиации, космической промышленности, атомной энергетике и других областях [8]. В настоящее время большое количество смежных исследований показало, что механические свойства сталей и сплавов могут быть улучшены путем добавления керамических частиц [9-11].

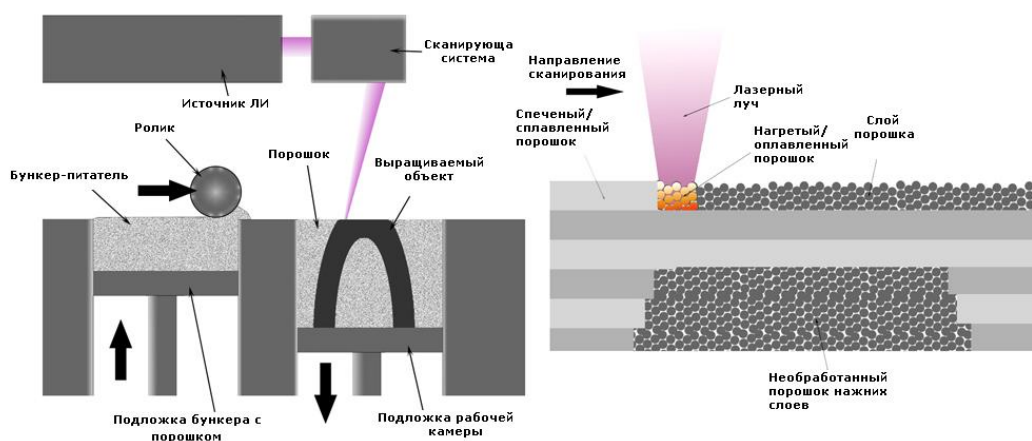


Рис. 1. Схема процесса селективного лазерного плавления

Композиционный материал с металлической матрицей на основе алюминия чаще всего армируют TiC, [12,13] Al₂O₃, [14], [15] SiC, или Mg₂AlO₄ [16] для достижения положительного влияния на механические свойства. Армирующие элементы должны быть, как правило, очень мелкими в нано диапазонах. В работах [12,13] исследовано влияния лазерной энергии на распределение армирующих элементов, динамику дисперсии TiC в гипотетической матрице AlSi10Mg. Как видно, СЛП с низкой энергией излучение - 250 Дж/м ослабляет конвекцию Марангони, и, следовательно, твердые частицы TiC оседают в нижней части ванны расплав и соединяются под действием силы. В результате, увеличение энергии лазера может улучшить подачу и распределение TiC для получения однородного распределения карбидов. Однако чрезмерно высокая энергия лазера может привести к огрубению частиц и ухудшению микроструктуры и механических свойств [12]. В результате таких трудностей обычно наблюдается довольно неоднородная микроструктура после изготовления композитов; например, неоднородное распределение вторичных фаз в обработанном лазером Al-7Si-0,3 Mg-10% SiC [17]. В отношении композитов на основе титана исследовано влияние нанокристаллического TiC на микроструктурные и износостойкие свойства изделий, изготовленных методом СЛП. Они обнаружили, что изготовленные детали очень чувствительны к исходному содержанию наночастиц TiC (например, около 12,5 мас.% TiC) и используемым параметрам выращивания (т. е. плотность лазерной энергии влияет как на плотность, так и на микроструктуру). В конечном счете, такие композитные структуры могут привести к повышению твердости и износостойкости в результате подходящего сочетания содержания TiC и параметров обработки. В другой работе российских исследователей [18] градиентный борид-армированный Ti из предварительно смешанных порошков титана и диборида титана был получен с использованием СЛП. Несмотря на возможность разложения борида, может быть достигнута градуированная композитная структура.

Помимо Al и Ti, в качестве матрицы в литературе рассмотрены нержавеющая сталь, которую армируют частицами микро-размера и нано-размера как TiC [19] и SiC [20] для увеличения твердость или улучшения биосовместимости [21]. Inconel 625 армируют частицами TiB₂ в процессе СЛП, увеличивая твердость [22]. В отдельных случаях добавление очень специфических армирующих элементов может привести к улучшению прочность на растяжение. Например, улучшение прочности при растяжении может быть достигнуто после добавления многостенных углеродных нанотрубок в Inconel 625 процессе СЛП [23]. В некоторых других случаях крупные частицы связываются вместе с металлической матрицей с более низкой температурой плавления. Это сделано при выращивании методом СЛП из сплава Cu-W, в котором медь с более низкой температурой плавления связывает частицы W для электрических и термических применений.

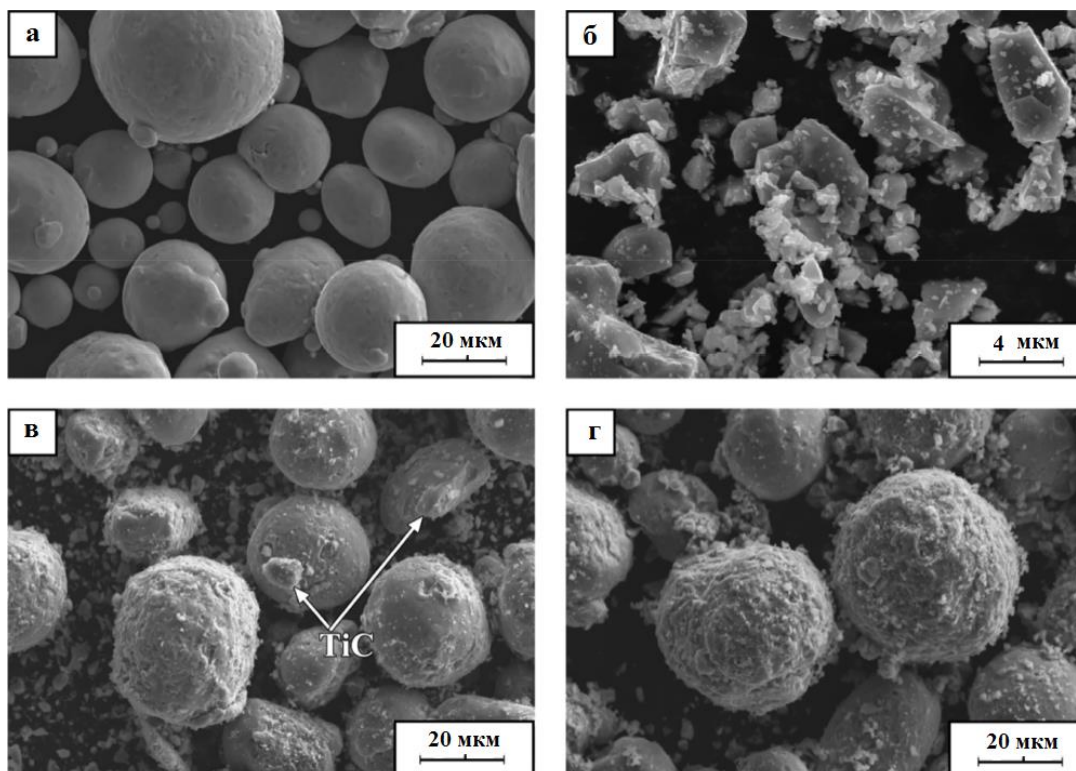


Рис. 2 Внешний вид порошков (а) чистая сталь 316L, (б) чистый TiC, (в) 316L с 2% по весу TiC, (г) 316L с 4% по весу TiC [26].

Композиция Fe-TiC проанализирована в работах Новиченко [24], где использован метод прямого лазерного выращивания. Его работы показали принципиальную возможность получения данной композиции лазерным аддитивным методом, что при определенных условиях приводит к улучшению механических свойств и снижению веса изделий. Благодаря низкой плотности, высокой твердости и хорошей термической стабильности, износостойкости и коррозионной стойкости композиционного материала на основе стали и карбида титана могут быть значительно улучшены.

В работе [25] исследована микротвердость композита на основе нержавеющей стали 316L внедрением TiC. рассмотрены 2 композиции с массовой долей армирующего элемента TiC – 2% и 4%. В случае 2% содержания карбида, твердость увеличивалась на 13% в сравнении с чистой сталью. Однако увеличение содержания карбида до 4% увеличивала твердость лишь на 8%. Похожая картина наблюдается при исследовании износостойкости и коррозионной стойкости. 2% композиция показала лучшие результаты, чем 4% (снижение коэффициента трения в 3 раза и увеличение на 7,5% соответственно).

Выводы

Получаемые при селективном лазерном плавлении композиционные материалы обладают уникальными свойствами. Совмещение современной перспективной аддитивной лазерной технологии с созданием композиционных материалов позволяет расширить круг решаемых задач в самых разных областях науки и техники, в частности авиакосмической.

Литература

- 1) Лазерные аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие/ А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров, Р.С. Третьяков –М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2018. – 280 с.
- 2) Селективное лазерное плавление металлических порошков, выращивание тонкостенных и сетчатых структур / Григорьянц А.Г.[и др.] Технология Машиностроения. 2015. 10. С. 6-11.
- 3) Zhao, Z.; Bai, P.; Guan, R.; Murugadoss, V.; Liu, H.; Wang, X.; Guo, Z. Microstructural evolution and mechanical strengthening mechanism of Mg-3Sn-1Mn-1La alloy after heat treatments. *Mater. Sci. Eng. A* 2018, 734, 200–209.
- 4) Liu, H.; Sun, F.; Sun, H. Analysis of microstructure and mechanical properties of ultrafine grained low carbon steel. *J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed.* 2016, 31, 1099–1104.
- 5) Liu, B.; Bai, P. Selective Laser Melting Process of Fe-Ni Metal Powder. *Rare Met. Mater. Eng.* 2011, 40, 241–244.
- 6) Hou, H.; Li, Y.; Xu, X. Non-equilibrium effects on solid transition of solidification microstructure of deeply undercooled alloys. *Mater. Sci. Technol.* 2017, 34, 1–6.
- 7) Xu, H.; Deng, X.; Zhang, X.; Zhang, K.; Liu, Y.; Li, S. Relationship between heat treatment and corrosion behavior of Mg-15Y alloy. *J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed.* 2015, 30, 796–803.
- 8) Zhao, Z.; Li, L.; Bai, P.; Jin, Y.; Wu, L.; Li, J.; Guan, R. The heat treatment influence on the microstructure and hardness of TC4 titanium alloy manufactured by SLM technology. *Materials* 2018, 11, 13181–131812.
- 9) Lin, S.; Xiong, W.; Wang, S. Effect of reinforcing particles content on properties of TiC/316L composites. *Mater. Sci. Eng. A* 2013, 18, 373–378.
- 10) AlMangour, B.; Grzesiak, D.; Yang, J. Nanocrystalline TiC-reinforced H13 steel matrix nanocomposites fabricated by selective laser melting. *Mater. Des.* 2016, 96, 150–161.
- 11) AlMangour, B.; Grzesiak, D.; Yang, J.M. Rapid fabrication of bulk-form TiB₂/316L stainless steel nanocomposites with novel reinforcement architecture and improved performance by selective laser melting. *J. Alloy Compd.* 2016, 680, 480–493.
- 12) Yuan, P., Gu, D., Dai, D., Particulate migration behavior and its mechanism during selective laser melting of TiC reinforced Al matrix nanocomposites, *Materials & Design*, Volume 82, 5 October 2015, Pages 46-55
- 13) Gu, D., Wang, H., Dai, D., Yuan, P., Meiners, W., Poprawe, R., Rapid fabrication of Al-based bulk-form nanocomposites with novel reinforcement and enhanced performance by selective laser melting, *Scripta Materialia* Volume 96, February 2015, p. 25-28
- 14) Han, Q., Setchi, R., Evans, S. L., Synthesis and characterisation of advanced ball-milled Al-Al₂O₃ nanocomposites for selective laser melting, *Powder Technology* Volume 297, September 2016, p. 183-192.
- 15) Zhao, X., Song, B., Fan, W., Zhang, Y., Shi, Y., J., Selective laser melting of carbon/AlSi10Mg composites: Microstructure, mechanical and electrical properties, *Journal of Alloys and Compounds* Volume 665, 25 April 2016, p. 271-281.

- 16) a) Manfredi, F D. S, Calignano, F F. S, Krishnan, F M. S, Canali, F R. S, Ambrosio, F E. P. S, Biamino, F S. S, Ugues, F D. S, Pavese, F M. S, Fino, F P. S, in *Light Metal Alloys Applications C* (Ed: W. A. Monteiro), InTech, Rijeka 2014, Ch. 01;
- b) Manfredi, F D. S, Canali, F R. S, Krishnan, F M. S, Ambrosio, F E. P. S, Calignano, F F. S, Pavese, F M. S, Miranti, F L. S, Belardinelli, F S. S, Biamino, F S. S, Fino, F P. S, in *The International Conference on Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping (VRAP) C* (Ed: P. Bártolo et al), Taylor & Francis Group, London, UK 2013, 249.
- 17) Simchi, A., Godlinski, D., Effect of SiC particles on the laser sintering of Al-7Si-0.3Mg alloy, *Scripta Materialia* Volume 59, Issue 2, July 2008, p. 199-202.
- 18) Shishkovsky, I., Kakovkina, N., Sherbakov, V., Graded layered titanium composite structures with TiB₂ inclusions fabricated by selective laser melting, *Composite Structures* Volume 169, 1 June 2017, p. 90-96.
- 19) AlMangour, B., Grzesiak, D., Jenn, M., Selective laser melting of TiC reinforced 316L stainless steel matrix nanocomposites: Influence of starting TiC particle size and volume content, *Materials & Design* Volume 104, 15 August 2016, p. 141-151.
- 20) Song, B., Dong, S., Coddet, P., Zhou, G., Ouyang, S., Liao, H., Coddet, C., J., Microstructure and tensile behavior of hybrid nano-micro SiC reinforced iron matrix composites produced by selective laser melting, *Journal of Alloys and Compounds* Volume 579, 5 December 2013, p. 415-421
- 21) Hao, L., Dadbakhsh, S., Seaman, O., Felstead, M., J. Selective laser melting of a stainless steel and hydroxyapatite composite for load-bearing implant development, *Journal of Materials Processing Technology* Volume 209, Issue 17, 19 August 2009, p. 5793-5801.
- 22) Zhang, B., Bi, G., Nai, S., Sun, C.-N., Wei, J., Microhardness and microstructure evolution of TiB₂ reinforced Inconel 625/TiB₂ composite produced by selective laser melting, *Optics & Laser Technology* Volume 80, June 2016, p. 186-195.
- 23) Wang, P., Zhang, B., Tan, C. C., Raghavan, S., Lim, Y.-F., Sun, C.-N., Wei, J., Chi, D., Microstructural characteristics and mechanical properties of carbon nanotube reinforced Inconel 625 parts fabricated by selective laser melting, *Materials & Design* Volume 112, 15 December 2016, p. 290-299.
- 24) Новиченко Д. Ю., Григорьянц А. Г., Смуров И. Ю., Изготовление композиционного материала с металлической матрицей прямым лазерным нанесением, *Технология машиностроения*, 2011 .- № 11 .- С. 14 – 18
- 25) Microstructure and Mechanical Properties of TiC-Reinforced 316L Stainless Steel Composites Fabricated Using Selective Laser Melting. Zhanyong Zhao, et. al. *Metals* 2019, 9(2), 267C.