

Список использованных источников:

1. Армарего И.Дж.А. Обработка металлов резанием / И.Дж.А. Армарего, Р.Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
2. Зорев Н.Н. Наука о резании металлов / Н.Н. Зорев. – М.: Машиностроение 1967. – 483 с.
3. Маслеников И.А. Исследование напряженного состояния зоны стружкообразования с помощью программного комплекса ANSYS Workbench / И.А. Маслеников, Ю.А. Соколов, В.Н. Копаев // Металлообработка – 2012. – № 5–6. – С. 71–72.
4. Мокрицкий Б.Я. Моделирование процессов резания с применением программы ANSYS / Б.Я. Мокрицкий // Вестник машиностроения – 2018. – № 4. – С. 69–72.
5. Петрушин С.И. Введение в теорию несвободного резания материалов: учебное пособие / С.И. Петрушин. – Томск: Изд. ТПУ, 1999. – 97 с.
6. Петрушин С.И. Основы формообразования резанием лезвийными инструментами: учебное пособие / С.И. Петрушин. – Томск: Изд. ТГУ, 2003. – 172 с.
7. Розенберг А.М. Элементы теории процесса резания металлов / А.М. Розенберг, А.Н. Еремин – М.:Свердловск: Машгиз, 1956. – 319 с.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ НА СВОЙСТВА СПЛАВА СИСТЕМЫ Al-Si-Mg

*А.А. Сапрыкин², к.т.н., доц., Н.А. Сапрыкина³, к.т.н., доц., Т.С. Гусева¹, ассистент
Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mails: tsh2@tpu.ru¹, sapraa@tpu.ru², saprikina@tpu.ru³*

Аннотация: Сплавы на основе алюминия обладают высокой удельной прочностью, низкой плотностью, пластичностью, хорошей коррозионной стойкостью. В данной работе приведен обзор литературы, направленный на анализ влияния режимов селективного лазерного плавления на свойства сплава системы Al-Si-Mg.

Ключевые слова: Селективное лазерное плавление, алюминий, порошок, режимы, скорость сканирования, шаг сканирования, мощность лазера, плотность, твердость.

Abstract: Aluminum-based alloys have high specific strength, low density, plasticity, good corrosion resistance. This paper presents a literature review aimed at analyzing the effect of different modes of selective laser melting on the properties of aluminum-based alloy of Al-Si-Mg system.

Keyword: Selective laser melting, aluminum, powder, modes, scanning speed, scanning step, laser power, density, hardness.

Различные детали из сплава на основе алюминия изготавливаются традиционными производственными процессами, такими, как литье, ковка и т. д. Тем не менее, эти традиционные процессы приводят к получению изделий с крупнозернистой структурой и сопутствующими низкими механическими свойствами. Помимо этого, использование оснастки для изготовления отливок из сплава на основе алюминия по традиционным технологическим схемам приводит к увеличению стоимости производства и времени выполнения заказа. Производственные предприятия стремятся как можно скорее поставить свою продукцию на рынок. Для таких предприятий внедрение технологии селективного лазерного плавления (СЛП) в производственный процесс является перспективным. Это связано с тем, что СЛП позволяет изготавливать изделия сложной формы без использования специальных инструментов и оснастки, а также сокращается цикл проектирования и производства изделия. В целом аддитивные технологии произвели революцию в традиционных производственных процессах, обеспечивая весьма значительную экономию затрат и времени [1].

Технология СЛП позволяет создавать трехмерные изделия путем воздействия энергии лазера на тонкий слой порошка. Путем сканирования лучом лазера площади поперечного сечения требуемой формы, частицы порошка расплавляются и соединяются в тонкую пластину. Нанося очередной слой порошка поверх ранее полученного слоя и повторяя процесс сканирования, создаются последующие слои приплавлением до тех пор, пока не будет сформирована деталь требуемой геометрии, описанной в исходной трехмерной твердотельной САД-модели [2]. Не сплавленный порошок, выходящий за зону геометрии детали, применяется повторно. Л.К. Ардила, Ф. Гарсиандия и др. [3] и В. Сейда и др. [4] также отметили еще одно важное преимущество СЛП – возможность повторного использования материала. Они установили, что после применения порошка от 12 до 14 раз не происходит существенных изменений в свойствах порошка и полученных деталей.

К другим экологическим показателям процесса СЛП относятся снижение выбросов, поскольку требуется меньшее количество сырья, возможность проектирования облегченных конструкций. С учетом весьма быстрого развития и улучшения технологических возможностей метод СЛП является технологией будущего.

Одним из распространенных алюминиевых сплавом в СЛП является сплав системы Al-Si-Mg, близкий к эвтектическому составу. Он обладает хорошими литейными свойствами, связанными с небольшим изменением объема при затвердевании во время СЛП, делая его пригодным для производства изделий сложной формы и малой толщины изделия с улучшенными механическими свойствами. Процесс изготовления детали влияет на механические свойства, поэтому правильно подобранные режимы способствуют получению изделий с весьма высокими механическими свойствами. В своей работе М. Энтони Ксавиор и его соавторы [5] доказали, что скорость сканирования в процессе СЛП имеет большое значение для определения окончательных микроструктурных и прочностных свойств готового изделия. В качестве исходного материала взяли предварительно подготовленный порошок Al-Si-Mg, применили S-образную стратегию сканирования при шаге сканирования 150 мкм, мощность лазера составила 100 Вт, диаметр лазерного пятна поддерживали на уровне 100 мкм, скорость сканирования 200 мм/с, 500 мм/с и 600 мм/с. Образец, полученный СЛП при скорости сканирования 200 мм/с имел самую высокую относительную плотность 94,7 % без микропор и макропор. При уменьшении удельной энергии за счет увеличения скорости сканирования до 500 мм/с на поверхности появлялись заметные поры и микротрещины, а относительная плотность снизилась до 91,8 %. СЛП при скорости сканирования 600 мм/с привело к получению образца с более низкой относительной плотностью 93,8 % и поверхностью с заметными микропорами, поверхностными микротрещинами и «замочными скважинами», с заметными дефектами на границах ванны расплава. У образца, полученного со скоростью сканирования 200 мм/с, зафиксировано значение микротвердости $122 \pm 4,4$ HV, тогда как у образца, изготовленного со скоростью сканирования 500 мм/с значение микротвердости $135 \pm 4,7$ HV. При скорости сканирования 500 мм/с подводимая энергия значительно снижается, что приводит к более высокой скорости охлаждения, в результате чего достигается меньший диаметр зерна, что хорошо согласуется с механизмом упрочнения за счет измельчения зерен. А у Несмы Т. Абулхаир, Лана Маскери и др. [6] плотность готового образца составила 125 ± 1 HV. Образцы были изготовлены при мощности лазера 200 Вт, скорости лазерного сканирования около 570 мм/с, шага сканирования 130 мкм, толщины слоя 25 мкм и стратегии сканирования в шахматном порядке.

Цянь Ян, Бо Сун и др. [7] провели процесс СЛП с использованием мощности лазера 300 Вт и скорости сканирования 1200 мм/с в защитной атмосфере аргона (Ar). Толщина слоя 30 мкм, шаг сканирования 140 мкм. Подложку предварительно нагревали до 100 °С, чтобы уменьшить внутреннее напряжение и деформацию в процессе быстрого охлаждения. Плотность образца в данном случае, измеренная методом Архимеда, достигла $2,64$ г/см³. В работе Яосян Гэна, Цин Вана и др. [8] образцы были получены на следующих режимах: диаметр лазерного луча и шаг сканирования 100 мкм, толщина слоя составляла 30 мкм. Направление сканирования изменялось на 67° от слоя к слою. Мощность лазера устанавливалась на 200 Вт и 300 Вт. Скорость сканирования варьировали в диапазоне 800–1600 мм/с. Наибольшая плотность – $2,687$ г/см³ была получена у образца, изготовленного при скорости сканирования 1200 мм/с, мощности лазера 200 Вт.

У Муниш Кумар Гупта и др. [9] в качестве исходного материала использовался сплав Al-Si-10Mg. Форма используемых частиц была почти сферической с размером частиц в диапазоне 10-60 мкм, средним значением 30-35 мкм. Во время процесса сплавления рабочая камера заполнялась чистым аргоном. Для изготовления образцов использовалась стратегия сканирования «островного типа» и «зигзагообразная» с шагом сканирования 200 мкм.

Для изготовления образцов в данной работе использовался поворот направления сканирования на 0°, 45° и 90°. Другие параметры, мощность лазера 200 Вт, скорость сканирования 1000 мм/с и толщина слоя 30 мкм, оставались постоянными на протяжении всего процесса изготовления. При угле поворота слоев 0° плотность составила $3,45$ г/см³, микротвердость – 102 HV, при угле поворота слоя 45°: плотность – $2,09$ г/см³, микротвердость – 110 HV, при 90°: плотность – $2,19$ г/см³, а микротвердость составила 122 HV.

Анализируя литературу, можно сделать вывод, что оптимальные режимы и основные технологические параметры селективного лазерного плавления играют весьма важную роль в создании изделия. Они влияют на качество сплавления и наличие дефектов в выращенных образцах. Для сплава на основе алюминия системы Al-Si-Mg режимы еще окончательно не установлены. Оптимальные параметры селективного лазерного плавления, с точки зрения повышенных механических свойств, требуют дальнейшего поиска.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22–29–01491, <https://rscf.ru/project/22–29–01491>

Список использованных источников:

1. Olakanmi E.O. A review on selective laser sintering/melting (SLS/SLM) of aluminium alloy powders: Processing, microstructure, and properties / E.O. Olakanmi, R.F. Cochrane, K.W. Dalgarno. – Текст: электронный // Progress in Materials Science. – 2015. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079642515000389> (дата обращения 24.04.2023).
2. Nandhakumar R. A process parameters review on selective laser melting-based additive manufacturing of single and multi-material: Microstructure, physical properties, tribological, and surface roughness / R. Nandhakumar, K. Venkatesan. – Текст: электронный // Materialstoday Communications. – 2022 – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352492823002283> (дата обращения 24.04.2023).
3. Effect of IN718 Recycled Powder Reuse on Properties of Parts Manufactured by Means of Selective Laser Melting / L.C. Ardila, F. Garcíandia, J.B. González-Díaz [et al.]. – Текст: электронный // Physics Procedia. – 2014. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389214002971> (дата обращения 24.04.2023).
4. Investigation of Aging Processes of Ti-6Al-4 V Powder Material in Laser Melting / V. Seyda, N. Kaufmann, C. Emmelmann. – Текст: электронный // Physics Procedia. – 2012. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389212025849> (дата обращения 24.04.2023).
5. Selective laser melting of Al–Si–10Mg alloy: microstructural studies and mechanical properties / P. Ashwath, M. Anthony Xavier, Andre Batako, P. Jeyapandiarajan. – Текст: электронный // Journal of Materials Research and Technology. – 2022. – URL : <https://ezproxy.lib.tpu.ru:2059/science/article/pii/S221478532202819X> (дата обращения 24.04.2023).
6. The microstructure and mechanical properties of selectively laser melted AlSi10Mg: The effect of a conventional T6-like heat treatment / Nesma T. Aboulkhair, Ian Maskery, Chris Tuck [et al.]. – Текст: электронный // Journal of Materials Science and Engineering. – 2016. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921509316304890> (дата обращения 24.04.2023).
7. Qian Yan Comparative study of performance comparison of AlSi10Mg alloy prepared by selective laser melting and casting / Qian Yan, Bo Song, Yusheng Shi. – Текст: электронный // Journal of Materials Science and Technology. – 2020. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1005030219304244> (дата обращения 24.04.2023).
8. Microstructural evolution and strengthening mechanism of high-strength AlSi8.1Mg1.4 alloy produced by selective laser melting / Yaoxiang Geng, Qing Wang, Yingmin Wang [et al.]. – Текст: электронный // Materials Design. – 2022. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127522002957> (дата обращения 24.04.2023).
9. Impact of layer rotation on micro-structure, grain size, surface integrity and mechanical behaviour of SLM Al-Si-10Mg alloy / Munish Kumar Gupta, Anil Kumar Singla, Hansong Ji [et al.]. – Текст: электронный // Journal of Materials Research and Technology. – 2020. – URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785420314915> (дата обращения 24.04.2023).

ВЛИЯНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА КОМПОНЕНТОВ ПОРОШКОВОЙ КОМПОЗИЦИИ СИСТЕМЫ Al-Si-Mg НА ПОРИСТОСТЬ ОБРАЗЦОВ ПРИ СЛП

Е.А. Ибрагимов, к.т.н., ст. преподаватель, Н.А. Сапрыкина, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин, к.т.н., доц.

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета,

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: egor83rus@tpu.ru

Аннотация: В работе экспериментальным путем показано влияние размера частиц основного компонента порошковой композиции на плотность формируемого сплава системы Al-Si-Mg в процессе селективного лазерного плавления. Приведены рекомендации по режимам СЛП для формирования плотной структуры формируемого изделия.

Ключевые слова: Селективное лазерное плавление, пористость, технологический режим, порошок.

Abstract: The paper experimentally shows the influence of the particle size of the main component of the powder composition on the density of the formed alloy of the Al-Si-Mg system in the process of selective laser melting. Recommendations on SLM regimes for forming a dense structure of the product being formed are given.

Keyword: Selective laser melting, porosity, technological regime, powder.