

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. Jeyarandiarajan. – 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.

В процессе поиска оптимальных режимов сплавления методом селективного лазерного плавления (СЛП) порошковых сплавов и однокомпонентных порошковых композиций в качестве критериев оптимальности принимают: пористость, шероховатость поверхности, правильность заданной геометрии образцов, получение сплава заданного химического состава, полноту растворения компонентов порошка и т.п. [1–3].

Для поисковых экспериментов по определению оптимальных режимов СЛП наиболее приемлемым критерием является пористость образцов, так как для ее определения не требуется трудоемких работ и специализированного оборудования. Помимо критерия оптимальности необходимо понимать, какие факторы оказывают наибольшее влияние на процесс СЛП. В работах [4–6] авторы отмечают, что наибольшее влияние оказывают мощность лазерного излучения и скорость сканирования, однако не менее существенный вклад вносит и подготовка порошкового материала.

Целью данной работы является оценка влияния размера частиц порошка, скорости сканирования на пористость формируемых образцов при СЛП. В качестве порошкового материала готовилась смесь из однокомпонентных порошков Al, Si и Mg в массовом соотношении 91/8/1 % соответственно. При этом размер частиц порошков Si и Mg составил < 20 мкм, порошок Al имел фракционный состав от < 20 до > 100 мкм. Распределение фракционного состава алюминиевого порошка представлено на рис. 1.

Из полученных образцов изготавливались шлифы на глубине от верхнего слоя порядка 0,4 мм. По оптическим изображениям поверхности шлифа определялась пористость. Для исключения неравномерности распределения пористости по площади образца, изображения делались по девяти точкам поверхности шлифа, затем пористость определялась как средняя по результатам всех изображений. Схема съемки и результаты изображения поверхности шлифов для нескольких образцов представлены на рис. 2.

По результатам экспериментов видно, что фракционный состав основного компонента порошковой смеси оказывает существенное влияние на пористость в образцах. Из графиков на рис. 3. видно, что предварительная выборка фракции алюминия в диапазоне 20–64 мкм позволяет уменьшить пористость более чем в три раза на всех режимах СЛП.

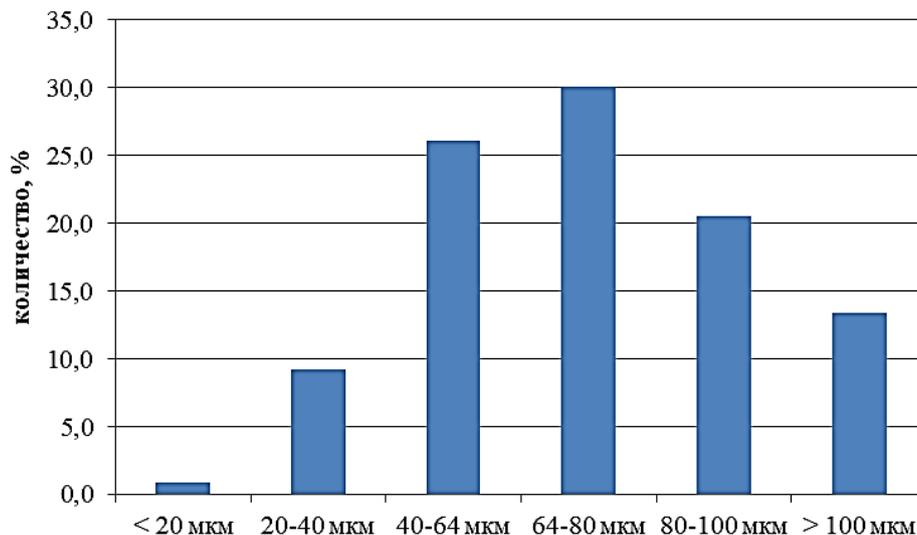


Рис. 1. Распределение фракционного состава алюминиевого порошка

При анализе влияния скорости сканирования наблюдается некоторая закономерность изменения пористости для обоих случаев порошков. Так в диапазоне скоростей от 225 до 275 мм/с наблюдается значительное уменьшение пористости. При дальнейшем увеличении скорости сканирования пористость вновь возрастает. Этот эффект также проявляется еще на стадии СЛП – образцы при скоростях 300 мм/с вспучиваются и частично отрываются от подложки. Вероятнее всего данный эффект связан с недостаточным энерговыделением лазерного излучения и плохим сплавлением слоев как к подложке так и между собой.

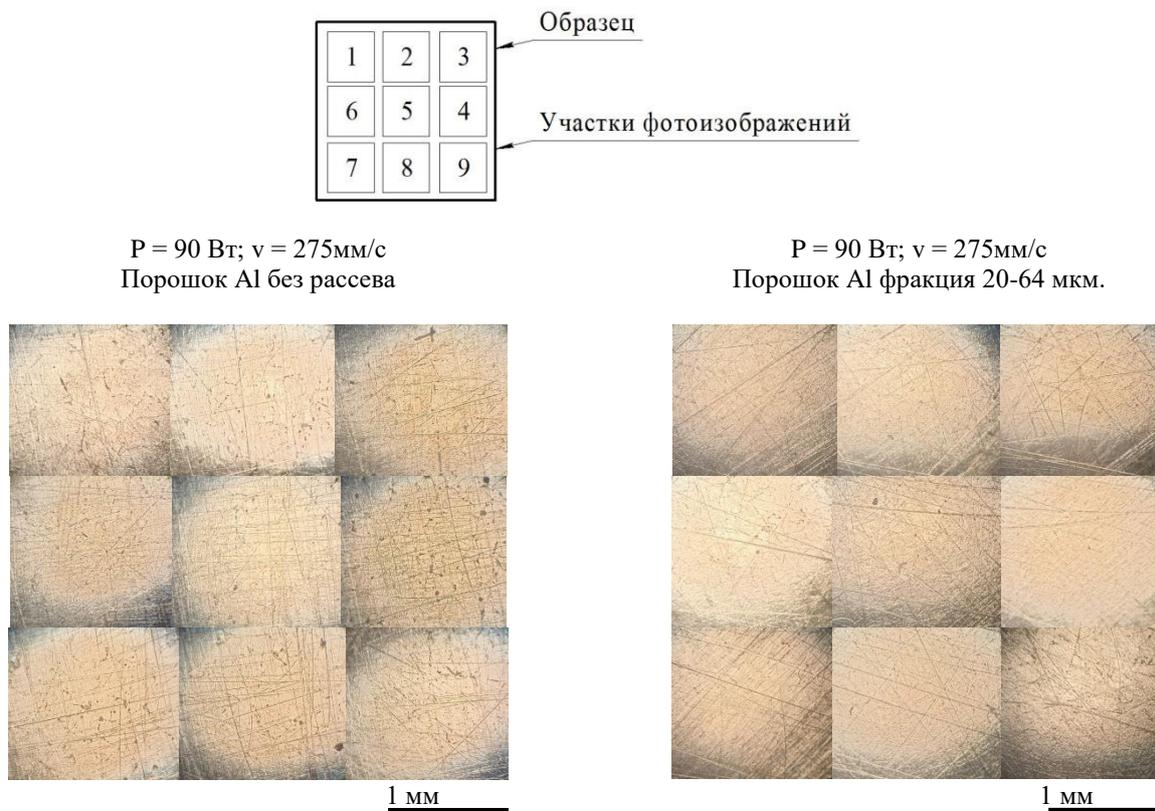


Рис. 2. Схема съемки и результаты изображения поверхности шлифов для нескольких образцов

Проведены измерения пористости всех образцов, результаты которых представлены на рис. 3.

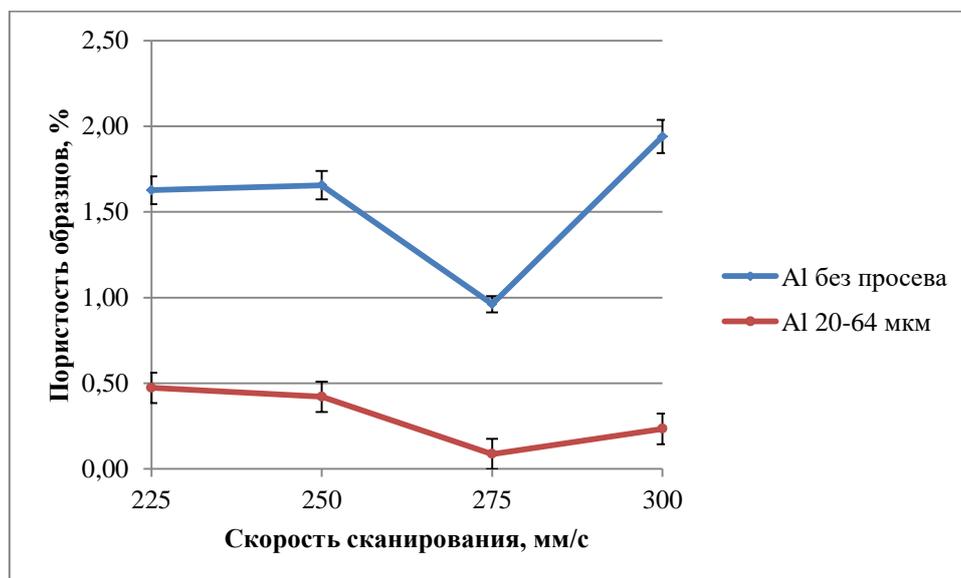


Рис. 3. Изменение пористости образцов от скорости сканирования

В результате проведенного экспериментального исследования отмечены следующие рекомендации по режиму СЛП порошковой смеси системы Al-Si-Mg:

- обязательный предварительный рассев основного компонента порошковой смеси алюминия в диапазоне фракций 20-64 мкм;
- смешивание порошков в шаровой мельнице только в защитной среде аргона;
- мощность непрерывного лазерного излучения должна составлять не менее 90 Вт;
- скорость сканирования поверхности лазерным лучом должна быть в диапазоне 275 мм/с.

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

Список использованных источников:

1. Printability of alloys for additive manufacturing / T. Mukherjee, J.S. Zuback, A. De, T. DebRoy // Nature Sci Rep. – 2016. – 6. – P. 19717.
2. Additive manufacturing of cobalt-based dental alloys: analysis of microstructure and physicomechanical properties / L. Hitzler, F. Alifui-Segbaya, P. Williams [et al.] // Adv Mater Sci Eng. – 2018. – P. 8213023.
3. Влияние режимов селективного лазерного плавления порошков кобальта, хрома и молибдена на пористость образцов. / Н.А. Сапрыкина, А.А. Сапрыкин, Ю.П. Шаркеев [и др.] // Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов XII Международной научно-практической конференции. – Томск : Изд-во ТПУ, 2021. – С. 6–9.
4. Advances in Laser Additive Manufacturing of Ti-Nb Alloys: From Nanostructured Powders to Bulk Objects / M.A. Khimich, K.A. Prosolov, T.A. Mishurova [et al.] // Nanomaterials. – 2021. – Vol. 11. – iss. 5. – 1159. – 26 P.
5. Влияние режимов селективного лазерного воздействия на пористость образцов из порошков кобальта, хрома и молибдена, полученных методом селективного лазерного плавления / Н.А. Сапрыкина, А.А. Сапрыкин, Ю.П. Шаркеев [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 8 (105). – С. 22–28.
6. Conditions for Quality Dimensions in Direct Laser Melting of Copper / N.A. Saprykina, A.A. Saprykin, E.A. Ibragimov, A.A. Saprykin // Key Engineering Materials Scientific Journalю – Zurich: Trans Tech Publication. – 2020. – Vol. 839 : Materials Science, Mechanical Engineering and Energy: Problems and Prospects for Development, MSMEЕ. – 2019. – P. 7–13.

### **СПЛАВ Al-40Sn, ПОЛУЧЕННЫЙ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ**

*А.Л. Скоренцев<sup>а</sup>, к.т.н., н.с., Н.М. Русин, к.т.н., с.н.с., К.О. Акимов, к.т.н., м.н.с.*

*Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения*

*Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)*

*634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4; тел. (3822)-28-69-62*

*E-mail: <sup>а</sup>skoralexan@mail.ru*

**Аннотация:** Исследовано влияние мощности излучения лазера на структуру и микротвёрдость сплава Al-40Sn, синтезированного методом селективного лазерного сплавления (СЛС) смеси элементарных порошков. Установлено, что с ростом мощности лазера (Р) до 110 Вт пористость синтезированных образцов сохраняется на уровне 6 %, и резко снижается при Р = 130 Вт. При дальнейшем увеличении Р пористость возрастает за счёт выделения водорода в результате восстановления гидроксидов. Микротвёрдость сплава поддерживается на уровне 33 МПа и практически не зависит от мощности лазера. Структура сплава мелкодисперсная, и включения олова не образуют непрерывные прослойки, какие наблюдаются в литом сплаве. Делается вывод о целесообразности дальнейшей разработки технологии СЛС с целью получения антифрикционного материала на основе алюминия.

**Ключевые слова:** алюминиевый сплав, селективное лазерное сплавление, аддитивные технологии.

**Abstract:** The influence of the laser radiation power on the structure and microhardness of the Al-40Sn alloy synthesized by the method of selective laser melting (SLM) of a mixture of elemental powders has been studied. It has been established that with an increase in the laser power to 110 W, the porosity of the synthesized samples remains at the level of 6 %, and sharply decreases at P = 130 W. With a further increase in P, the porosity increases due to the release of hydrogen as a result of the reduction of hydroxides. The microhardness of the alloy is maintained at 33 MPa and does not depend on the laser power.