

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГОВЛОЖЕНИЯ НА ПОРИСТОСТЬ СПЛАВА AL40SN, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ

Гатаулина М.Р.¹, магистрант, гр.4АМ2К

Акимов К.О.², к.т.н., н.с.

Скоренцев А.Л.^{1,2}, к.т.н., н.с.

Русин Н.М.², к.т.н., с.н.с.

¹НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

E-mail: mrg6@tpu.ru

*²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634055, г. Томск, пр. Академический 2/4*

Алюминий и сплавы на его основе являются одними из самых популярных материалов используемых для получения деталей различными методами порошковой металлургии. Благодаря их низкой плотности, хорошей коррозионной стойкости и простоте обработки они имеют ряд применений в различных отраслях промышленности [1]. Хотя изделия из алюминиевых сплавов, изготовленные традиционными способами, широко используются, существуют трудности в создании изделий сложной геометрии, например ячеистых структур деталей аэрокосмического назначения, удовлетворяющих требованию высокой прочности при малом весе. Последнее требует использования технологии производства деталей с высокой точностью размеров и формой, близкой к идеальной.

Одной из таких технологий является селективное лазерное сплавление (СЛС). Несомненным преимуществом данного метода является экономичное изготовление индивидуальных деталей сложной геометрии в быстром цикле от проектирования до производства. На сегодняшний день с помощью СЛС активно изготавливают детали из широкого спектра материалов, среди которых алюминиевые сплавы. Значительное число работ проведено на силуминах: алюминиевых сплавах, легированных кремнием. Однако не меньший интерес предоставляют сплавы алюминия с оловом, в частности состава Al40Sn. Данный сплав успешно используется в качестве антифрикционного материала для подшипников скольжения, в которых добавки олова выполняют функцию твёрдой смазки при граничном и сухом трении [2]. Получение данного сплава классическими методами, например литья, значительно ограничено формированием непрерывной оловянной сетки, которая значительно снижает механические свойства сплава. В связи с этим присутствует необходимость дополнительной обработки сплава с применением больших деформации с целью разорвать сплошную оловянную прослойку, или сверхбыстрой закалки для формирования ультрадисперсной структуры. Механизм последней схож с процессами, наблюдаемыми в ходе СЛС, когда материал нагревается до критических точек плавления или испарения с последующим быстрым охлаждением потоками инертного газа. В результате чего возможно сформировать нано- и микрзернистую структуру в сплаве, обеспечивающую высокие механические свойства. Несмотря на все преимущества СЛС возникают значительные трудности в формировании бездефектной структуры, которое зависит от большого числа факторов [3]. Среди ключевых факторов, влияющих на формирование структуры, можно выделить мощность и скорость сканирования лазера, которые являются одними из основных параметров, определяющих величину энергозатрат при СЛС. Отсюда целью данной работы было выявление оптимальных значений энергозатрат, позволяющих сформировать структуру сплава Al40Sn методом СЛС с минимальным количеством структурных дефектов.

В работе использовали смесь порошков алюминия марки АСД-1 и олова марки ПО1, взятых в весовом соотношении 60/40. Смешивание порошков производили в конусном смесителе в течение четырех часов. Из полученной смеси на СЛС 3D-принтере ONSINT AM150 в атмосфере аргона высокой чистоты были сформированы образцы размерами 10x10x10 мм. Толщина нанесённого за один проход слоя (h) составляла 0,03 мм. Страте-

гия сканирования выбрана однонаправленной. Межтрековое расстояние (Hatch, s) составляло 0,09 мм. Энерговложение (E), определяемое плотностью энергии лазера (ПЭЛ) (P) и скоростью сканирования (v), рассчитывалось как: $E = P/vsh$ и варьировалось в пределах 27 Дж/мм³ до 60 Дж/мм³. Оценку открытой пористости проводили методом гидростатического взвешивания (ГОСТ 20018-74). Для оценки внутренней пористости образцы разрезали по горизонтали и вертикали. Плоскости образцов полировали на наждачной бумаге с убывающим размером абразивных частиц, затем на сукне с нанесённой алмазной пастой, содержащей твердые частицы менее 1 мкм. Исследование структуры шлифов проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа LEO EVO 50 (Zeiss, Германия), представленного ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН. Оценку внутренней пористости проводили с помощью программы ImageJ.

Анализ открытой пористости методом гидростатического взвешивания (рис. 1) показал, что при значении ПЭЛ 27 Дж/мм³ наблюдается наибольшее значение пористости 8 %. Дальнейшее увеличение показателя ПЭЛ приводит к уменьшению пористости до 6 % в диапазоне от 35 Дж/мм³ до 45 Дж/мм³ с увеличением до 8 % при 60 Дж/мм³. Причиной высокой пористости при малой ПЭЛ может являться больше число зон нерасплавленного исходного материала. В свою очередь при большой ПЭЛ могут возникать длинные каналы, возникновение которых может быть объяснено активным выделением газа в результате разложения оксида алюминия при температуре выше 2000 °С. Последнее подтверждается результатом анализа изображений, полученных с помощью сканирующего электронного микроскопа. В структуре сплава, полученного при ПЭЛ 27 Дж/мм³ наблюдаются большие скопления зон нерасплавленного материала (рис. 2а, выделены красными овалами). В свою очередь на поверхности структуры, полученной при повышенной ПЭЛ, наблюдаются длинные трещины (рис. 2б, отмечены красными линиями), распространяющиеся почти по всей высоте образца, и большое число сферических дефектов (пор), причиной которых является выделение газов из исходного порошкового материала. Причиной возникновения длинных трещин в данном случае являются значительные остаточные термические напряжения, возникающие в результате быстрого плавления и кристаллизации при СЛС [3]. Зависимость внутренней пористости (рис. 1) имеет схожий характер с таковой открытой пористости. Однако её значения в ~3 меньше по сравнению с открытой пористостью, что указывает на сосредоточение дефектов структуры в приграничных областях. Однако при значении ПЭЛ 60 Дж/мм³ значения пористости, полученные разными методами, различаются незначительно. Последнее указывает на распространение дефектов вглубь образца, что может значительно ухудшить его механические свойства.

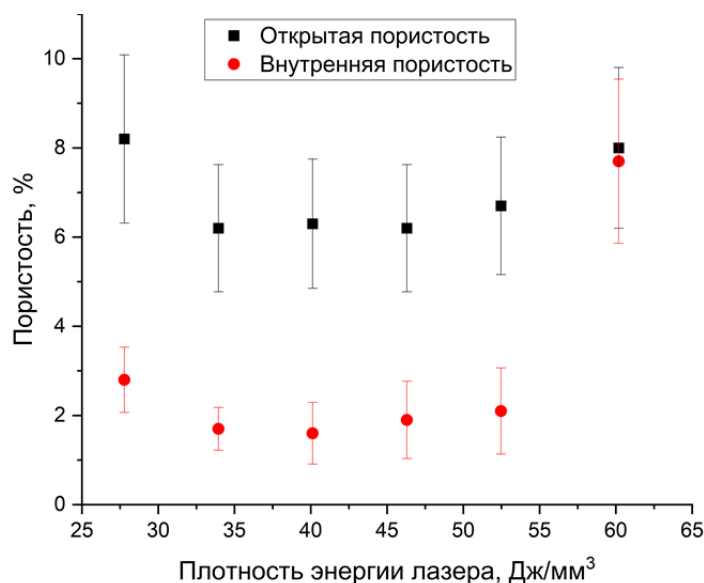


Рис. 1. Зависимость пористости сплава Al40Sn, полученного методом СЛС, от плотности энергии лазера

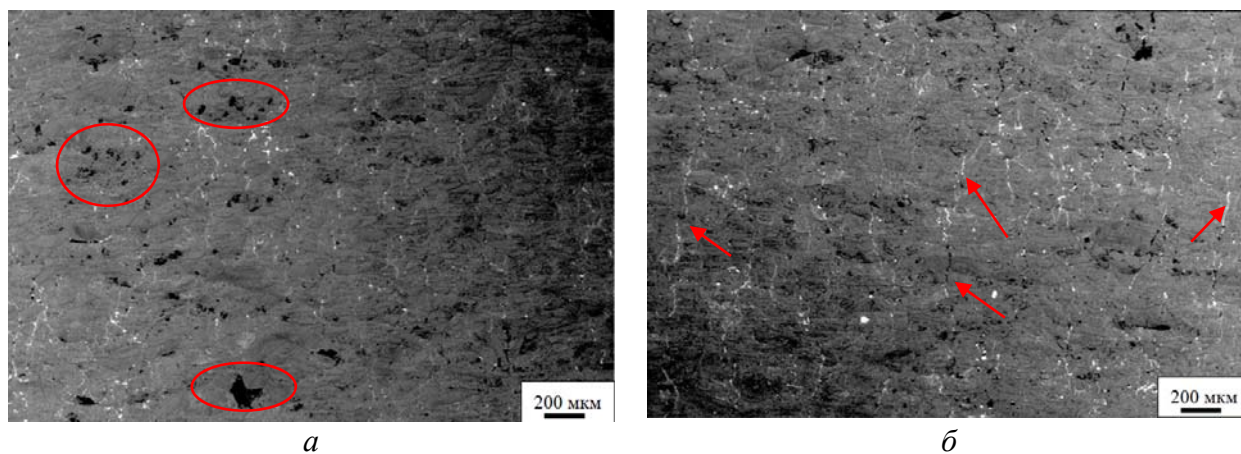


Рис. 2. Снимки внутренней поверхности структуры сплава $Al40Sn$, полученного методом СЛС при плотности энергии лазера: а – 27 Дж/мм^3 , б – 60 Дж/мм^3

Таким образом установлено, что для получения сплава $Al40Sn$ из исходной порошковой смеси порошков алюминия и олова с меньшим количеством структурных дефектов необходимо проводить процесс СЛС при плотности энергии лазера в диапазоне от 35 Дж/мм^3 до 45 Дж/мм^3 .

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, темы FWRW-2021-0006 и FWRW-2021-0003.

Список литературы

1. Zhang J., Song B., Wei Q., Bourell D., Shi Y. A review of selective laser melting of aluminum alloys: Processing, microstructure, property and developing trends // Journal of Materials Science & Technology. – 2019. – Vol. 35, Iss. 2. – PP. 270–284. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2018.09.004>.
2. Буше Н.А. Подшипники из алюминиевых сплавов / Н.А. Буше, В.А. Двоскина, К.М. Раков. – М.: Транспорт, 1974. – 256 с.
3. Zhang B., Li Y., Bai, Q. Defect Formation Mechanisms in Selective Laser Melting: A Review // Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2017. – Vol. 30. – PP. 515–527. <https://doi.org/10.1007/s10033-017-0121-5>.