

2. Матренин С.В. Процессы порошковой металлургии: методические указания / С.В. Матренин. – Томск: ТПУ, 2021. – 32 с.

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЭНЕРГОВЛОЖЕНИЯ ПРИ СЛС НА СТРУКТУРУ И ЗАВИСЯЩИЕ ОТ НЕЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИНТЕЗИРОВАННОГО СПЛАВА AL–15Sn–5Pb

В.Е. Лихарев^{1,2 а}, инженер-исследователь, А.Л. Скоренцев^{1,2}, к.т.н.,
Научный руководитель: Русин Н.М.¹, к.т.н., с.н.с.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634055, Томская обл., г. Томск, пр. Академический, 2/4

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: ^аvel6@tpu.ru

Аннотация: Исследована структура и определены механические свойства сплава Al–15Sn–5Pb, полученного методом СЛС из смеси элементарных порошков при различной скорости сканирования луча и фиксированной мощности 70 Вт. Установлено, что при данной плотности энергии часть алюминия остаётся не расплавленной, но её доля убывает с уменьшением скорости сканирования. В результате однородность структуры улучшается, пористость сплава снижается, а его пластичность и прочность значительно возрастают.

Ключевые слова: селективное лазерное сплавление, алюминиевый сплав, структура, механические свойства.

Abstract: The structure and mechanical properties of Al–15Sn–5Pb alloy produced by SLM method from a mixture of elemental powders at different beam scanning speeds and a fixed power of 70 W were studied. It was found that at a given energy density, part of the aluminum remains unmolten, but its share decreases with decreasing scanning speed. As a result, the homogeneity of the structure improves, the porosity of the alloy decreases, and its ductility and strength increase significantly.

Keywords: selective laser melting, aluminum alloy, structure, mechanical properties.

Введение. Сплавы Al-Sn применяются в качестве антифрикционных материалов в узлах трения различных машин и механизмов [1]. Давление их схватывания со сталью возрастает с ростом концентрации олова как твердой смазки и достигает максимального значения при содержании Sn около 20 об. %, а износостойкость сплавов при этом улучшается [2]. Олово при обычных условиях не упрочняется, поэтому несущая способность алюминиевых сплавов с высоким его содержанием падает. Повысить ее можно за счёт твёрдорастворного или дисперсионного упрочнения Al матрицы [3]. Однако при этом часть легирующих элементов неизбежно растворяется в олове, ухудшая его пластичность и смазочные свойства, а наличие твердых частиц на поверхности трения неизбежно приводит к повышенному износу дорогостоящего контртела.

Альтернативным методом упрочнения сплавов является формирование в них мелкодисперсной структуры, например, с помощью селективного лазерного сплавления (СЛС), отличающегося высокой скоростью нагрева и охлаждения наплавляемого материала [4]. Метод позволяет получать мелкозернистые изделия практически любой формы, в том числе и подшипники скольжения, причём часть используемого олова при этом можно попытаться заменить менее дефицитным свинцом, также обладающим высокими антифрикционными свойствами [5].

Целью настоящей работы является исследование влияния скорости сканирования лазера при СЛС на особенности формирования структуры и зависящие от нее механические свойства сплава Al–15Sn–5Pb, синтезированного из смеси элементарных порошков.

Материалы и методика эксперимента. Для получения исследуемого сплава Al-15Sn-5Pb об. % (Al-29Sn-15Pb масс. %) использовалась смесь коммерческих порошков алюминия марки АСД-1, олова ПО 1 и свинца ПС 1, из которых была отсеея необходимая для печати фракция частиц с диаметром 25-50 мкм. СЛС осуществляли на 3D-принтере марки ONSINT AM150 в атмосфере проточного аргона высокой чистоты. Толщина наносимого ракем слоя порошковой смеси составляла 30 мкм. Мощность лазерного излучения $P = 70$ Вт. Диаметр пятна лазера $\varnothing = 75 \pm 5$ мкм, а межтрековое расстояние $s = 90$ мкм. Скорость сканирования луча v составляла 800, 1000 и 1200 мм/с, а стратегия сканирования – линейная, с поворотом на 67° . Полученные прямоугольные образцы имели размеры 10x10x10 мм.

Для исследования структуры материала образцы разрезали вдоль оси их наращивания, далее плоскость разреза подвергалась шлифованию на наждачной бумаге, а затем полировалась на сукне с алмазной суспензией.

Данные о фазовом составе образцов были получены с помощью дифрактометра ДРОН-8Н с использованием $\text{Cu K}\alpha$ излучения ($\lambda=1.5406 \text{ \AA}$) при углах отражения 2θ от 10 до 110° . Для исследования структуры и определения элементного состава образцов использовали растровый микроскоп LEO EVO 50 (Carl Zeiss, Germany) со встроенным микроанализатором. Состав определялся путем усреднения результатов микроанализа с больших по площади участков поверхности образца. Пористость (Π) образцов рассчитывали по формуле:

$\Pi = (\rho_t - \rho) / \rho_t$, где ρ_t – теоретическая плотность, рассчитанная по результатам измерения концентрации элементов, а ρ – плотность образца, определённая по методу Архимеда (ГОСТ 20018-74). Механические испытания материала осуществляли методом сжатия на универсальной испытательной машине Instron-1185 со скоростью осадки образцов – $0,5 \text{ мм/мин}$. Торцы сжимаемых образцов смазывали графитом. Для каждого режима СЛС испытывалось не менее трех образцов.

Для оценки величины плотности энергии, с которой облучался нанесённый порошковый слой, была использована формула $E = P/vst$, где P – мощность лазера, Вт; v – скорость сканирования, мм/с; s – расстояние между осями треков, мм; t – толщина слоя, мм.

Результаты и их обсуждение. Анализ элементного состава образцов показал, что под воздействием лазерного излучения он сильно отличается от состава исходной порошковой смеси, поскольку часть элементов, особенно тяжелых Pb и Sn, терялась (табл. 1). С ростом v потери возрастали. Кроме того, было обнаружено, что при высокой скорости сканирования луча $v = 1,2 \text{ м/с}$ и малой плотности энергии $E = 21,6 \text{ Дж/мм}^3$ значительную часть синтезированного сплава составляют нерасплавленные частички алюминия (рис. 1а). Они окружены тонкими прослойками олова и свинца, но на границах фаз содержится много пор. По мере снижения v плотность подводимой к материалу энергии возрастает, и в результате количество нерасплавленных частиц сокращается, а доля областей с перемешиванием алюминия и олова растёт. При охлаждении эти области распадаются с образованием эвтектической смеси кристаллов Al и Sn. Свинец располагается по границам областей в виде включений, с ростом E которых становится больше, и они трансформируются в тонкие прослойки. Согласно результатам рентгенофазового анализа, параметры решёток Al и Sn не меняются, а параметр решетки свинца в полученных сплавах меньше его эталонного значения ($4.9506 \text{ \AA}$) (табл. 1). Это свидетельствует о растворении некоторой части олова в свинце и согласуется с диаграммой состояния Sn-Pb.

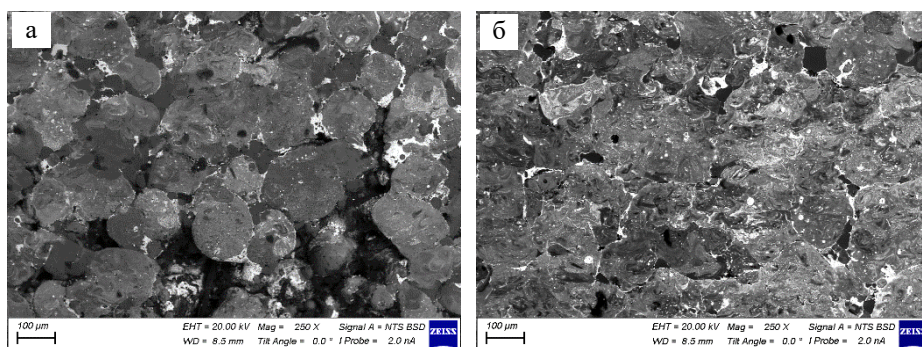


Рис. 1. Структура сплава Al-15Sn-5Pb, полученного методом СЛС
при скорости сканирования лазера 1200 (а) и 800 (б) мм/с. Мощность лазера – 70 Вт.

Несмотря на увеличение объёма жидкой фазы с ростом E , пористость исследуемого сплава снижается при этом незначительно и остается большой. По этой причине механические свойства синтезированного сплава остаются низкими, несмотря на их улучшение с ростом энергозатрат (табл. 1). Прочность и пластичность образцов сплава Al-15Sn-5Pb уступают аналогичным характеристикам спечённых сплавов системы Al-Sn.

Таблица 1

Влияние скорости сканирования при СЛС на структурные характеристики и механические свойства сплава Al-15Sn-5Pb

Скорость сканирования, мм/с	Плотность энергии E , Дж/мм ³	Состав после СЛС, масс. %	П, %	Параметр решетки свинца, Å	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Деформация до разрушения $\epsilon(\sigma_b)$, %
800	32,4	Al-27Sn-13,4Pb	20,2	4,9315	42	65	11
1000	25,9	Al-25,5Sn-10,7Pb	22,8	4,9321	32	49	9
1200	21,6	Al-24,4Sn-9,8Pb	24,5	4,9319	18	21	3,5

Закключение. Из полученных результатов следует, что для получения методом СЛС сплава Al-15Sn-5Pb с высокими механическими характеристиками плотность падающей энергии необходимо повысить с тем, чтобы добиться более однородного распределения компонентов и снижения пористости синтезируемых образцов.

Работа выполнена в рамках реализации проекта РНФ № 24-79-10099.

Список использованных источников:

1. Буше Н.А. Подшипники из алюминиевых сплавов / Н.А. Буше, В.А. Двоскина, К.М. Раков. – М. : Транспорт, 1974. – 256 с.
2. Rusin N.M. Effect of equal channel angular pressing on mechanical and tribological properties of sintered Al-Sn composites / N.M. Rusin, A.L. Skorentsev, E.A. Kolubaev // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2020. – 29. – P. 1955–1963.
3. Properties of new cast antifrictional aluminum alloys / A.E. Mironov, I.S. Gershman, E.G. Kotova [and et.] // Russian Engineering Research. – 2017. – V. 37. – P. 37–39.
4. Confalonieri C. Al-Sn miscibility gap alloy produced by power bed laser melting for application as phase change material / C. Confalonieri, E. Gariboldi // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – V. 881. – 160596.
5. Pathak J.P. Tribological behaviour of conventional Al-Sn and equivalent Al-Pb alloys under lubrication / J.P. Pathak, S. Mohan // Bulletin of Materials Science. – 2003. – V. 26. – P. 315–320.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛО-КЕРАМИЧЕСКИХ И КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ МАХ-ФАЗЫ Ti₃SiC₂

Г.С. Копытов^а, студент гр. ОБ11,

Научный руководитель: Криницын М.Г., к.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: "gsk10@tpu.ru"

Аннотация: В работе представлены результаты исследования образцов, полученных из смесей МАХ-фаз Ti₃AlC₂ с другими порошками (карбид титана, карбид кремния, медь), полученных с использованием экструзионной аддитивной технологии. Изучены реологические свойства материала и сделаны выводы о зависимости текучести материала от количества МАХ-фазы в составе.

Ключевые слова: SiC, TiC, экструзионная аддитивная технология, структура материала, исследование свойств, МАХ-фаза, Ti₃SiC₂, технология PIM, FDM-печать.

Abstract: The paper presents the results of a study of samples obtained from mixtures of MAX phases Ti₃AlC₂ with other powders (titanium carbide, silicon carbide, copper) obtained using extrusion additive technology. The rheological properties of the material were studied and conclusions are made about the dependence of the material fluidity on the amount of MAX phase in the composition.

Keywords: SiC, TiC, extrusion additive technology, material structure, property study, MAX phase, Ti₃SiC₂, PIM technology, FDM printing.

Введение

В современном мире все чаще можно услышать об аддитивных технологиях. Такая популярность небезосновательна: аддитивное производство перспективно, имеет большой потенциал и множество путей развития.