

**УДК 621.791.725**

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ В ИЗДЕЛИЯХ,  
ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ИЗ  
МЕДНЫХ СПЛАВОВ**

Алексей Павлович Симонов<sup>(1)</sup>, Алексей Анатольевич Дренин<sup>(2)</sup>, Антон Олегович Денежкин<sup>(3)</sup>

*Студент 5 курса<sup>(1)</sup>, магистр 2 года<sup>(2)</sup>, аспирант<sup>(3)</sup>,  
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Д.С. Колчанов,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в  
машиностроении»*

Контроль структуры зерна является важной задачей для производства металлических изделий методом селективного лазерного плавления (СЛП).

Оптимизация структуры зерна и его размера позволит улучшить механические свойства производимых изделий. В данной работе исследовано влияние режимов выращивания на структуру зерен в образцах из медного сплава, полученного селективным лазерным плавлением. Режимы и условия выращивания определяют градиент температуры, скорость затвердевания, что, как показано в работе, влияет на структуру зерна. Варьируя основные параметры выращивания можно добиться желаемой структуры зерна в изделии.

Эксперименты выполнены на отечественной установке СЛП-110. Исследовался материал жаропрочной бронзы Пр-БрХ. Было получено 9 образцов, выращенных на скоростях от 100 мм/сек до 1000 мм/сек с шагом 100 мм/сек с постоянной мощностью.

Множественные циклы плавления-затвердевания во время процесса выращивания изделия приводят к возникновению сложных микроструктур и изменениям пространственных характеристик зерен в материале. Типичная морфология затвердевших зерен, которая широко наблюдается и в других материалах, полученных различными методами аддитивного производства - это крупная двойниковая структура, вытянутая по направлению построения изделия сквозь слои в результате эпитаксиального роста [1-4]. Кроме того, часто наблюдаются мелкие равноосные зерна вблизи поверхности ванны расплава [4,5]. Согласно теориям затвердевания сплавов, из-за концентрационного переохлаждения морфология раздела твердое/жидкое может быть плоской, ячеистой или дендритной, в зависимости от состояния затвердевания и состава материала [6]. Концентрационное переохлаждение происходит с перераспределением растворенного вещества, что приводит к тому, что жидкость на фронте затвердевания становится холоднее температуры ликвидуса.

В медных образцах в пределах ванны расплава наблюдается дендритная первичная структура. Изменения направления хода луча от слоя к слою сводит анизотропию свойств по осям, поперечным направлению построения детали, к минимуму. По границе двойниковой структуры и границе слоя происходит выделение хрома. Двойниковая структура определяет различие свойств по оси выращивания, и её размеры определяются режимами выращивания. На низких скоростях лазерного луча скорость охлаждения ниже. В этом случае наблюдаются двойниковая структура относительно большего размера. Между собой вторичные зерна имеют схожие размеры. Увеличение скорости лазерного луча приводит к увеличению скорости охлаждения. Наблюдается измельчение как первичных дендритов, так и измельчение, и

сужение двойниковой структуры (См. Рис. 1.). Такая структура будет иметь более высокие прочностные характеристики.

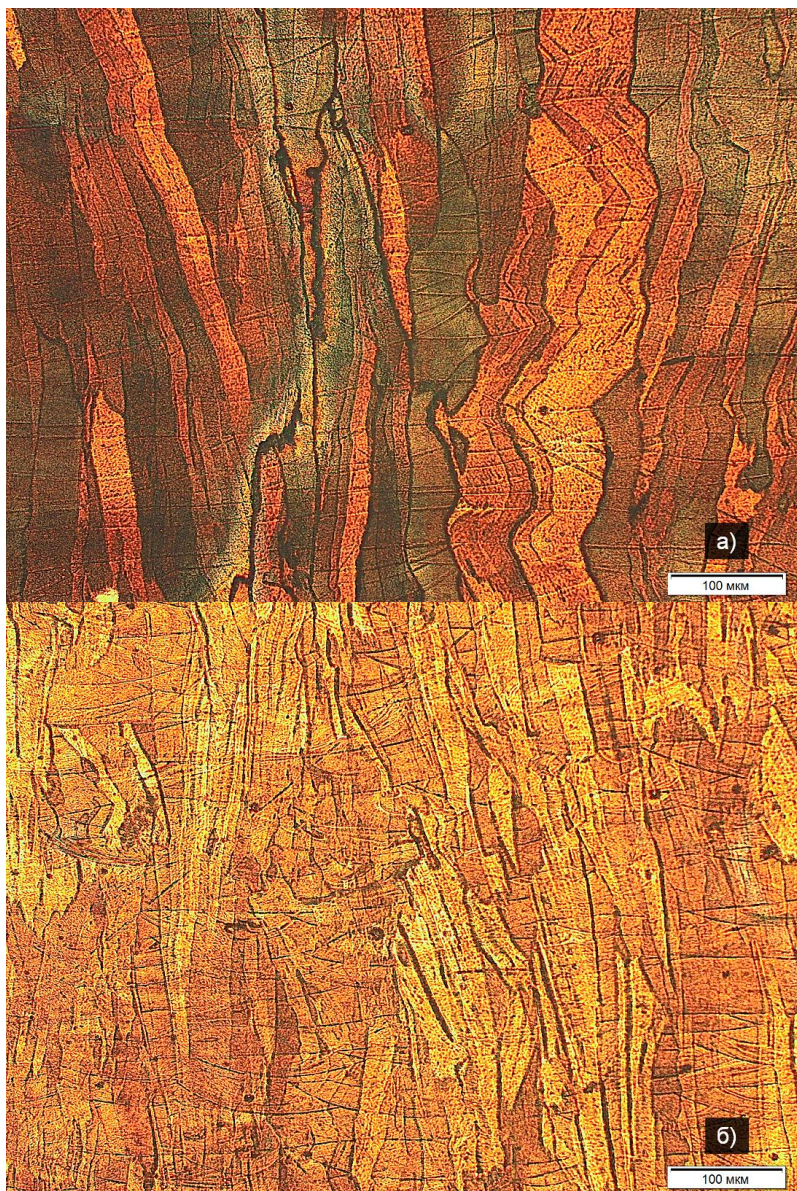


Рис. 1. Фотографии шлифов: а) скорость сканирования 400 мм/с, средняя ширина двойниковой структуры 25 мкм; б) скорость сканирования 900 мм/с, средняя ширина двойниковой структуры 17 мкм

Таким образом, режим выращивания позволяет управлять структурой и механическими свойствами выращиваемых изделий.

### Литература

1. Wu, X.; Liang, J.; Mei, J.; Mitchell, C.; Goodwin, P.S.; Voice, W. Microstructures of laser-deposited Ti-6Al-4V. // Mater. Des. – 2004, – №25, – P. 137–144.
2. Al-Bermani, S.S.; Blackmore, M.L.; Zhang, W.; Todd, I. The origin of microstructural diversity, texture, and mechanical properties in electron beam melted Ti-6Al-4V. // Metall. Mater. Trans. – 2010, – №41, – P. 3422–3434.
3. Ma, M.; Wang, Z.; Zeng, X. A comparison on metallurgical behaviors of 316L stainless steel by selective laser melting and laser cladding deposition. // Mater. Sci. Eng. – 2017, – №685, 265–273.

4. *Helmer, H.; Bauereiß, A.; Singer, R.F.; Körner, C.* Grain structure evolution in Inconel 718 during selective electron beam melting. // *Mater. Sci. Eng.* – 2016, – №668, – P. 180–187.
5. *Zhu, Y.; Liu, D.; Tian, X.; Tang, H.; Wang, H.* Characterization of microstructure and mechanical properties of laser melting deposited Ti-6.5Al-3.5Mo-1.5Zr-0.3Si titanium alloy. // *Mater. Des.* – 2014, – №56, – P. 445–453.
6. *Kou, S.* *Welding Metallurgy, 2nd ed.* // John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA. – 2003; Volume 822.