

## СТРУКТУРА И ФАЗОВЫЙ СОСТАВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭКСТРУЗИОННОЙ АДДИТИВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Копытов Г.С.<sup>1\*</sup>, Криницын М.Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>НИ ТПУ, ИЯТШ, Россия, Томск

\*E-mail: gsk10@tpu.ru;

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Россия, Томск

На сегодняшний день все большую популярность приобретают аддитивные технологии. Очень распространен метод послойного наплавления – FDM-печать. Он представляет собой процесс аддитивного производства, который реализуется благодаря экструзии материалов на основе термопластичных полимеров. В FDM объект строится путем нанесения расплавленного материала по заранее установленному алгоритму, слой за слоем. В случае необходимости получить изделия из металла или керамики используют фидстоки – гранулированный материал, смесь мелкодисперсных металлических или керамических порошков с полимерным связующим. Однако различные фидстоки требуют определенных параметров печати, которые определяются эмпирическим путем. Целью данной работы является исследование структуры медных образцов, полученных методом FDM печати с применением фидстоков.

При создании фидстока использовались нанопорошки меди с небольшим содержанием оксида ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), сформированного в результате естественного окисления порошка. Порошки отличаются дисперсностью, поэтому были разделены на 3 отдельные серии.

По результатам исследования реологических свойств определено, что реологические свойства зависят от дисперсности следующим образом: чем крупнее фидсток, тем более вязким он становится.

Следующим этапом было спекание образцов. Образцы спекались в печи в форвакууме при температуре 950 °С.

Выявлено, что при спекании значительно увеличивается количество фаз оксида меди  $\text{Cu}_2\text{O}$  в связи с реакцией с кислородом. До спекания содержание оксида меди в образцах составляет: в первой серии 9,7 %, во второй серии 2,3 %, в третьей серии 1,2 %. После спекания содержание оксида меди в образцах составляет: в первой серии 21,2 %, во второй серии 10,4 %, в третьей серии 9,1 %.

Установлена зависимость способности к окислению от дисперсности порошков: более мелкий порошок должен быть более активен по отношению к кислороду.

Были проведены металлографические исследования образцов на оптическом микроскопе. На рисунках представлены структуры образцов. На этапе рентгенофазового анализа был определен фазовый состав образцов каждой серии. Полученные результаты были обработаны методом Ритвельда. Были построены дифрактограммы.

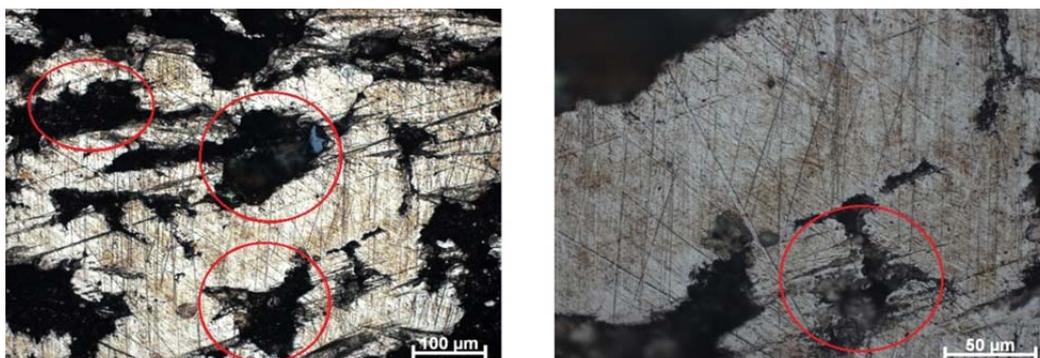


Рис. 1. Структура образцов 1 серии

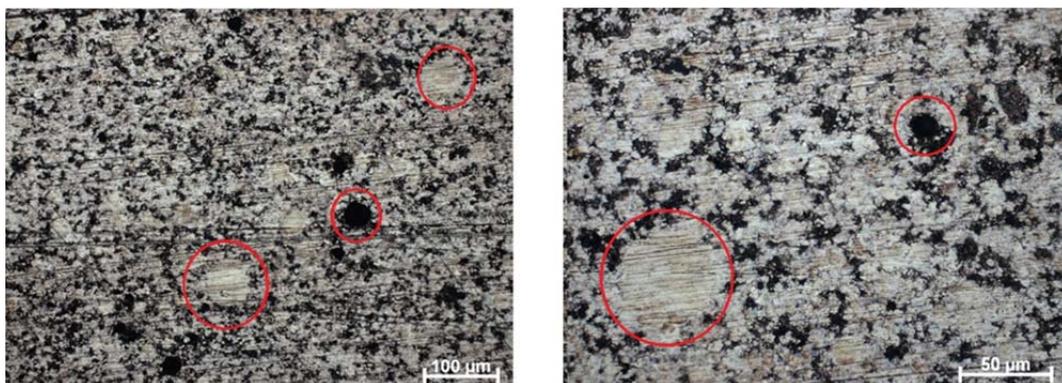


Рис. 2. Структура образцов 2 серии

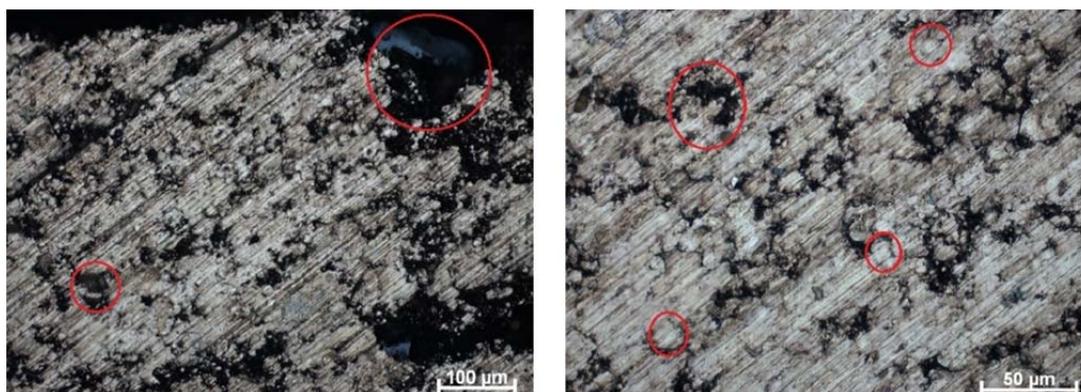


Рис. 3. Структура образцов 3 серии

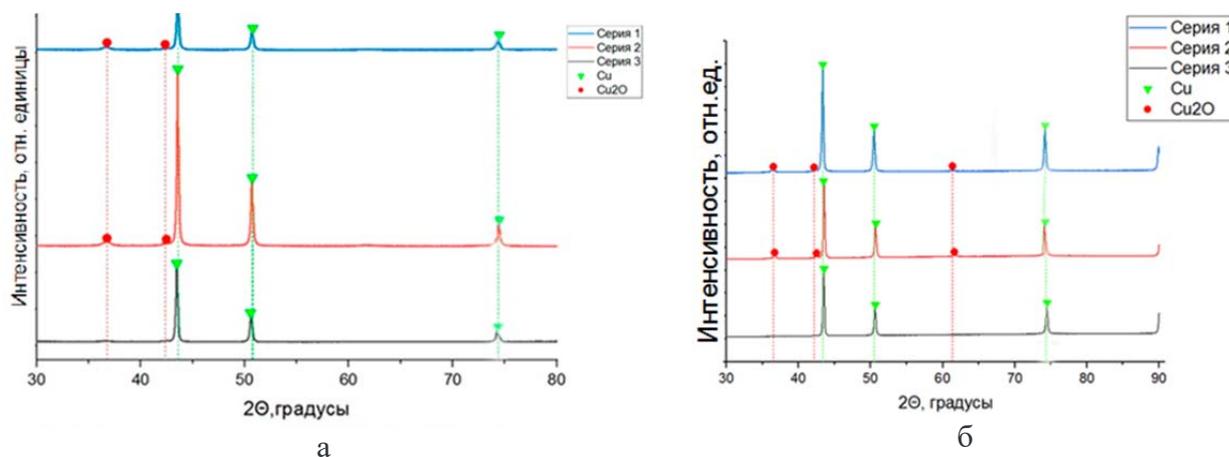


Рис. 4. Дифрактограммы образцов до (а) и после (б) спекания

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых № МК-209.2022.4.

### Список литературы

1. Yufei Chen et. al. Integration of interlayer surface enhancement technologies into metal additive manufacturing: A review // Journal of Materials Science & Technology. – 2023. – Vol. 165. – P. 94–122.
2. Van Pham D. et al. Study into the effects of the feedstock properties and stability on the catalytic hydrocracking of heavy oil // Fuel. – 2023. – Vol. 339. – P. 127427.
3. Liu C. et al. Effect of powders on aluminum nitride components fabricated by PIM // Powder Technology. – 2023. – Vol. 420. – P. 118409.