

УДК 620.184

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ МЕДИ
МАРКИ М1 МЕТОДОМ АДДИТИВНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПРОВОЛОЧНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ**И.В. Захаревич¹, К.С. Осипович², С.Ю. Никонов²Научный руководитель: к.т.н. А.В. Чумаевский²¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4, 634055

E-mail: tch7av@gmail.com**REGULARITIES OF LARGE PRODUCTS MANUFACTURED PRODUCTS FROM C11000 COPPER
PRODUSED BY WIRE-FEED ELECTRON BEAM ADDITIVE MANUFACTURING**I.V. Zakharevich¹, K.S. Osipovich², S.Yu. Nikonov²Scientific Supervisor: Dr. A.V. Chumaevskii²¹Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050²Institute for Physics of Strength and Material Science of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,

Russia, Tomsk, 2/4 Akademicheskii ave., 634055

E-mail: tch7av@gmail.com

Abstract. *In this work the structure and properties of copper blocks on a steel substrate produced by wire-feed electron beam additive manufacturing were investigated. The results obtained suggest a complex and heterogeneous character of block formation manufactured with different parameters of scanning strategy, beam current and printing speed. The mechanical properties of the obtained products significantly depend, firstly, on the direction of applied stress relative to the structure of the samples and, secondly, on the location of the sample in the block.*

Введение. Электронно-лучевая аддитивная технология с использованием проволочного филамента в настоящее время претерпевает всё большее развитие по причине постоянно растущих потребностей промышленности в новых экономичных и ресурсосберегающих технологий получения изделий [1]. Данная технология является одной из наиболее производительных в мире и по данному показателю уверенно опережает большинство порошковых технологий 3D-печати. Основными материалами, используемыми для печати методом электронно-лучевого проволочного производства, являются медь, титан, сталь и полиметаллические материалы [2, 3]. При этом исследований, посвященных изучению закономерностей формирования структуры и механических свойств крупногабаритных образцов имеется достаточно немного и практически отсутствуют такие работы в области 3D-печати меди или медными сплавами. Дополнительные ограничения, накладываемые на процесс получения изделий из меди обусловлены прежде всего её высокой (наибольшей среди материалов, получаемых методом электронно-лучевой проволочной печатью) теплоемкостью и теплопроводностью. Это объясняет высокие значения теплового градиента при

печати и, как следствие, высокие остаточные напряжения, приводящие в ряде случаев к формированию дефектов структуры образцов.

Экспериментальная часть. Образцы изготовлены на экспериментальном оборудовании в ИФПМ СО РАН методом аддитивной электронно-лучевой технологии с подачей проволочного филамента (рис. 1). В процессе подбора параметров печати были получены образцы с реализацией различной подачи проволочного филамента: однородный «струйный» режим печати; неоднородный «струйный» режим и «капельный» режим печати. После получения образцов производили исследования структуры методом оптической металлографии и механических свойств в испытаниях на растяжение образцов, вырезанных из различных участков блоков.

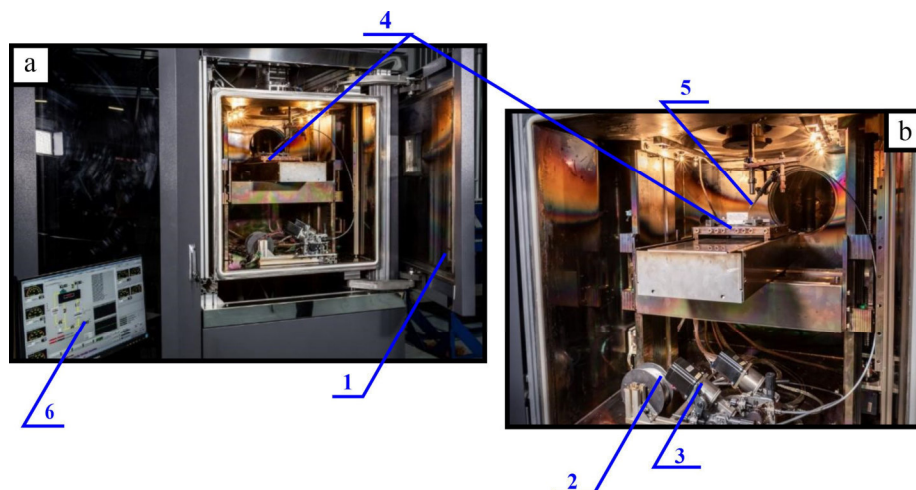


Рис. 1. Внешний вид установки (а) и внутренний вид камеры (б) для электронно-лучевой печати (1 – дверь камеры, 2 – катушки с филаментом, 3 – податчик проволоки, 4 – стол охлаждаемый, 5 – сопло, 6 – управляющая программа)

Результаты. При реализации в процессе печати «капельного» режима формирования образца происходит образование наиболее неблагоприятной структуры материала (рис. 2, а). За счет высоких скоростей кристаллизации и неполной растекаемости меди происходило образование большого количества пор и неоднородностей строения. В образцах с реализацией неоднородного «струйного» режима печати происходило образование более качественной структуры с наличием в основном только поверхностных дефектов.

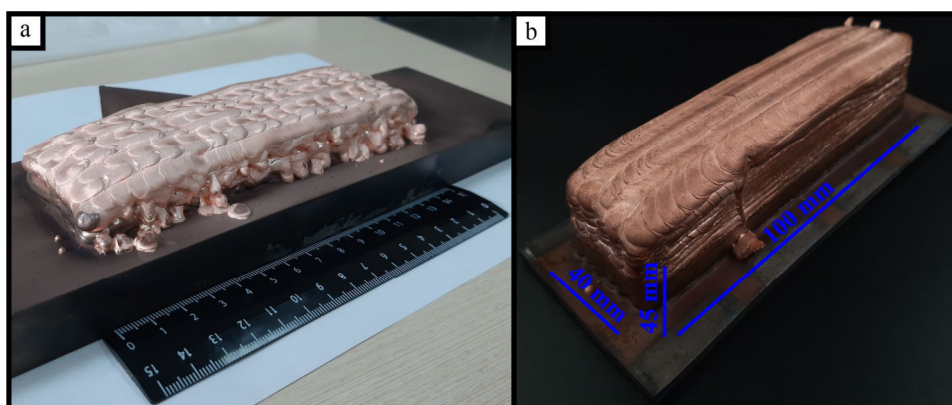


Рис. 2. Внешний вид образцов, полученных с реализацией в процессе печати капельного режима (а) и нестабильного струйного режима (б)

Если первый режим получения образцов характеризовался существенным несоответствием оптимальным значениям качественного изделия (формировались отдельные капли, вместо сплошного потока), то во втором случае параметры процесса получения образцов были близки к оптимальным. Образцы, полученные с реализацией однородного «струйного» режима подачи материала в ванну расплава, характеризуются более равномерным строением и морфологией (рис. 3). В данном случае тепловложение при печати было максимальным, тем самым формировался сплошной поток материала в процессе получения образца. Это способствует практически полное отсутствие пор в данном образце. Однако наблюдалось уменьшение ширины образца от подложки к верхней части изделия. Это связано с недостатком выбранной стратегии сканирования. При этом характеристики механических свойств, которые исследовали при растяжении образцов, соответствовали характеристикам свойств меди марки М1 в литом состоянии. Наблюдается уменьшение свойств от подложки к верхней части образца от 170 МПа до 130 МПа, соответственно.

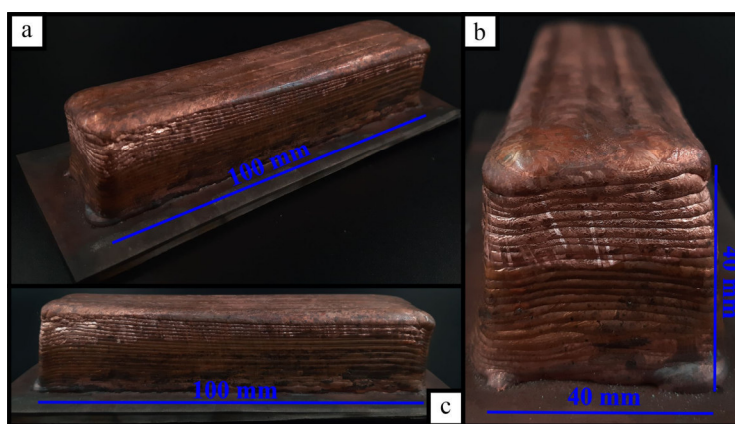


Рис. 3. Образец, полученный с реализацией «струйного» режима печати

Заключение. Проведенные исследования показывают, что процесс электронно-лучевой печати с проволочным филаментом требует для получения образцов с наименьшей дефектностью постоянства подачи материала в ванну расплава. При этом, даже в таком случае, некоторые искажения макрогеометрии образцов наблюдаются, что может быть потенциально исправлено изменением стратегии сканирования при печати.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. DebRoy T., Wei H.L., Zuback J.S. et al. Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties // Progress in Materials Science. – 2017. – V.92. – P. 112-224.
2. Osipovich K.S., Chumaevskii A.V., Eliseev A.A. et al. Astafurova Peculiarities of Structure Formation in Copper/Steel Bimetal Fabricated by Electron-Beam Additive Technology // Russian Physics Journal. – 2019. – 62. – P. 1486-1494.
3. Fortuna, S.V., Gurianov, D.A., Kalashnikov, K.N. et al. Directional Solidification of a Nickel-Based Superalloy Product Structure Fabricated on Stainless Steel Substrate by Electron Beam Additive Manufacturing // Physical Metallurgy and Materials Science. – 2021. – V. 52 (2). – P. 857-870.