

**ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ В ВИДЕ КРУПНЫХ БЛОКОВ ИЗ
ГЦК-МЕТАЛЛОВ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ АДДИТИВНОЙ ПРОВОЛОЧНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ**

Е.О. Княжев¹, А.О. Панфилов¹, Т.А. Калашникова¹

Научный руководитель: к.т.н. А.В. Чумаевский²

¹Национальный 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: zhenya4825@gmail.com

**FEATURES OF STRUCTURE FORMATION OF SAMPLES IN THE FORM OF LARGE BLOCKS
FROM FCC METALS AT ELECTRON BEAM ADDITIVE WIRE TECHNOLOGY**

E.O. Knyazhev¹, A.O. Panfilov¹, T.A. Kalashnikova¹

Scientific Supervisor: Dr. A.V. Chumaevskii²

¹Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

²Institute of Strength Physics and Materials Science, Russia, Tomsk, Akademicheskii ave. 2/4, 634055

E-mail: zhenya4825@gmail.com

***Abstract.** This paper presents a study of the structure of samples made by electron beam 3D printing from copper M1 and aluminum alloy AlMg5. The presence of a dendritic structure typical of this method was revealed, as well as the presence of pores, cracks and other defects that occurred during printing.*

Введение. Аддитивные технологии позволяют создавать изделия необычной и сложной формы с возможностью экономии материала, требуемого для создания деталей, или с сокращением времени производства изделий путем минимизации последующих механических обработок. Металлические изделия не являются исключением, в данном направлении ведутся работы, например, по печати изделий из титана [1-3], кобальта [4], сталей [5, 6]. Важной составляющей создания аддитивных материалов является выбор параметров процесса получения, так как они влияют на качество получаемой продукции. Но, подбор режима изготовления может не повлиять на улучшения качеств полученных материалов, так как отдельные дефекты при печати могут быть устранимы не полностью, или неустраняемы вовсе. Исправить данную проблему можно путем обработки материалов, например, методом фрикционной перемешивающей обработки. Этот способ позволяет избавиться от пор и трещин, при этом структура и свойства материала зависят от направления обработки и находятся на уровне прочностных свойств листового проката [7]. Целью настоящей работы является анализ исправимых и неисправимых дефектов в образцах в виде крупных блоков, изготовленных методом электронно-лучевой 3D-печати М1 и АМг5.

Материалы и методы исследования. Методом электронно-лучевой аддитивной проволоочной технологии были получены образцы на лабораторной экспериментальной установке (рис. 1, а). Для 3D-печати образцов были выбраны медная проволока марки М1 диаметром 1 мм, которая наносилась на

медную подложку (М1) толщиной 5 мм, и проволока из сплава алюминия марки АМг5 диаметром 1,2 мм, наплавляемая на подложку из аналогичного сплава толщиной 8 мм.

Печать проводили в вакуумной камере на подложке, закрепленной на подвижном водоохлаждаемом столе. Электронный луч направлялся на подложку, формируя ванну расплава, в которой плавится исходный материал проволоки. Таким образом было выращено два крупных блока: алюминиевые аддитивные слои были нанесены на алюминиевую подложку; медные аддитивные слои – на медной подложке.

Для металлографических исследований макроструктуры были вырезаны образцы, представляющие из себя поперечные сечения блоков, с помощью электроэрозионного станка ДК7750 (рис.1-б). Перед микроструктурным анализом проводили шлифовку образцов и полировку на алмазной пасте. Для выявления структуры осуществляли химическое травление образцов. Металлографические исследования структуры образцов проводили с помощью конфокального микроскопа OLYMPUS LEXT OLS4100.

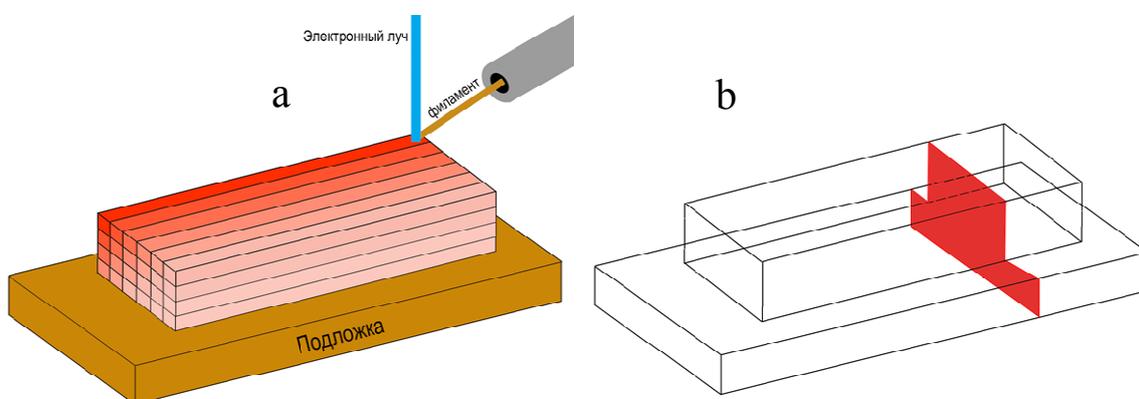


Рис. 1. Схема электронно-лучевой 3D-печати (а) и схема вырезки металлографических шлифов из крупного блока (б)

Результаты и их обсуждение. На рисунке 2, а приведено металлографическое изображение медного образца в поперечном сечении. Структура образца имеет выраженное крупнокристаллическое строение, обусловлено направленным ростом дендритов в процессе послойного нанесения. Рост дендритов наблюдается от подложки к верхней части образца в центре, с наклоном зерен под углом к подложке по краям блоков. В нижней части напечатанного материала характерно наличие мелкокристаллической зеренной структуры, образующейся до выравнивания температурного градиента. Также можно обратить внимание на большое количество дефектов: пор и расслоений различных размеров в самом образце, и на границе между образцом и подложкой.

Структура алюминиевого образца отличается от медного. (рис. 2, б). На рисунке представлен образец, с существенным отклонением параметров процесса печати от оптимальных значений. Вся структура медного образца пронизана зернами, образованными ростом дендритов при печати, в то время как в алюминиевом образце структура проявляется больше в разделении на отдельные слои, образованные при печати. В образце так же присутствуют поры, которые в отличие от медных имеют большие размеры. Для образца характерно нарушение при печати, обуславливающее незаполнение объема образца, обусловленное нерастекаемостью материала в виду нарушения параметров процесса, в результате чего в средней части блока наблюдается рост отдельных вертикальных «стенок».

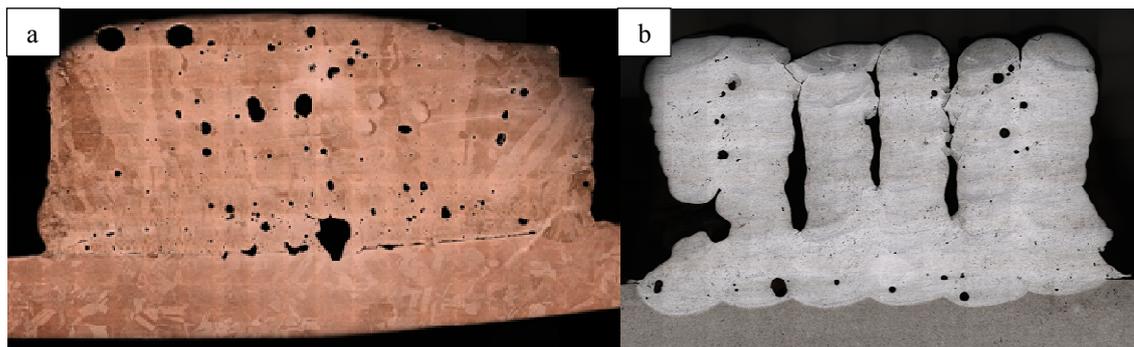


Рис. 2. Структура поперечного сечения крупного блока из меди М1 (а) и алюминия АМ25 (б), полученного электронно-лучевым методом

Заключение. Проведенные исследования показывают, что в образцах, получаемых при формировании изделий методом проволочной аддитивной электронно-лучевой технологии происходит формирование дефектов различного структурно-масштабного уровня. При этом, образования дефектов одного типа, например, крупных несплошностей в алюминиевых сплавах, возможно избежать путем регулирования параметров процесса печати. Образование дефектов в виде пор в структуре меди или алюминиевого сплава полностью избежать практически невозможно, что делает перспективным применение постобработок, например, фрикционной перемешивающей обработки, для удаления пор после печати.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект III.23.2.11.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калашников К.Н., Чумаевский А.В., Калашникова Т.А. Влияние технологических режимов получения образцов из титанового сплава методом электронно-лучевого аддитивного производства на их структуру и механические свойства // Международная конференция "Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций": тезисы докладов. – Томск, 2019. – 495 с.
2. Wang X., Chou K. Effect of support structures on Ti-6Al-4V overhang parts fabricated by powder bed fusion electron beam additive manufacturing // Journal of Materials Processing Technology – 2018. – V. 257. – P. 65-78.
3. Sahoo S., Chou K. Phase-field simulation of microstructure evolution of Ti-6Al-4V in electron beam additive manufacturing process // Additive Manufacturing. – 2016. – V. 9. – P. 14-24.
4. Almanza E., Perez M.J., Rodriguez N.A., Murr L.E. Corrosion resistance of Ti-6Al-4V and ASTM F75 alloys processed by electron beam melting // Journal of Materials Research and Technology. – 2017. – V. 6, Issue 3. – P. 251-257.
5. Wanjara P., Brocju M., Jahazi M. Electron beam freeform of stainless steel using solid wire feed // Materials and Design. – 2007. – № 28. – pp. 2278-2286.
6. Koptyug A. et all Compositionally-tailored steel-based materials manufactured by electron beam melting using blended pre-alloyed powders // Materials Science and Engineering: A. – 2020. – V. 771. – 11 p.
7. Калашникова Т.А и др. Закономерности формирования материалов с композитной структурой с использованием аддитивной электронно-лучевой технологии, сварки трением с перемешиванием и фрикционной перемешивающей обработки // Обработка металлов. – 2019. – Т.21, №4. – С. 94-112.