

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОВОЛОЧНО-ДУГОВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БРОНЗЫ.

А.С. Непомнящий^{1,2}

В.М. Семенчук²

¹*Томский политехнический университет*

²*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН*

E-mail: asn39@tpu.ru

Технология проволочно-дугового аддитивного производства в настоящее время является перспективным аналогом традиционным методам изготовления изделий сложной формы [1]. Преимуществами данной технологии является получение изделий заданной формы с необходимыми свойствами, высокая автоматизация и производительность процесса, высокая эффективность использования ресурсов [2]. В настоящее время существуют технологии, которые позволяют снизить ввод тепла в изделие, такие как cold arc (EWM), cold metal transfer «СМТ» (Fronius). Процесс сварки «ColdArc» снижает значение пикового тока короткого замыкания за счет динамического управления сварочным током, формируя процесс наплавки с низким тепловыделением и очень малым разбрызгиванием электродного металла. Сварка «СМТ» включает в себя систему подачи проволоки с цифровым управлением для обеспечения контролируемого процесса нанесения материала с низким тепловыделением. Данные технологии могут успешно применяться и при проволочно-дуговой печати.

Алюминиево-марганцевая бронза применяется для изделий, от которых требуются высокие антикоррозийные, трибологические свойства. Большинство изделий, изготавливаемых из алюминиево-марганцевой бронзы, такие как гребные винты, поршневые цилиндры, шестерни имеют сложную геометрическую форму и применение проволочно-дугового аддитивного производства может снизить затраты на изготовление готовой продукции [3]. Алюминиево-марганцевые бронзы имеют небольшой интервал кристаллизации, что ведет к повышенной усадке порядка 1,9-2,7%, из-за этого такие бронзы склонны к трещинообразованию и поглощению газов [4].

В настоящем исследовании 3D-печать алюминиево-марганцевой бронзы осуществляли на 6-осевом промышленном роботе FANUC Robot ARC Mate 100iD со сварочной горелкой и инверторном источнике питания EWM Titan XQ R 400 Pulse с технологией «coldArc». Для 3D-печати была выбрана проволока CuAl9Mn2 диаметром 1.2 мм, которую наплавляли в среде защитного газа (Ar-100%) на прямоугольную подложку толщиной 5 мм из нержавеющей стали марки SS 321. 3D-печать проводилась на трех различных режимах 1. «ColdArc», 2. «ColdArc superpulse», 3. «GMAW».

На рисунке 1 представлена макро и микроструктура образца БрАМц9-2.

Материал образцов бронзы представлен в основном в виде дендритных ячеек различного размера. Вблизи подложки у трех образцов микроструктура состоит из более равноосных зерен алюминиево-марганцевой бронзы по сравнению со структурой с более крупными дендритными ячейками в центральной и верхней части образцов (рисунок 1), что связано с наименьшим тепловложением в наплавленный слой и интенсивным отводом тепла в подложку. Тенденция сохраняется для образцов, вырезанных в продольном сечении.

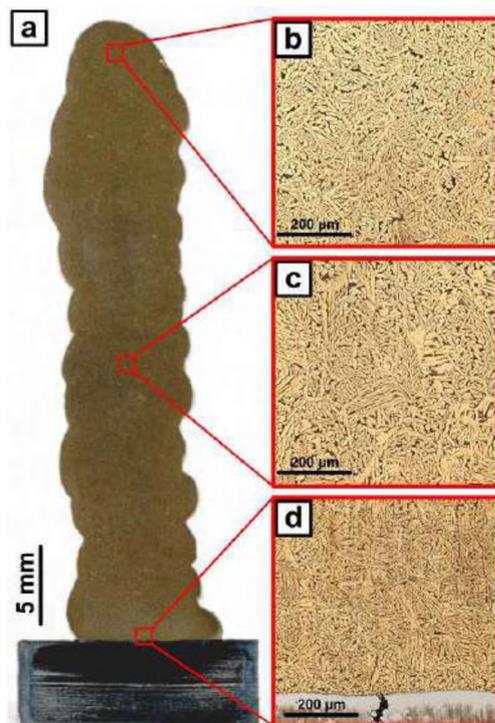


Рисунок 1 – Макро- и микроструктура алюминиевой бронзы CuAl9Mn2 в перпендикулярном сечении напечатанного изделия.

Установлено, что технология EWM-«coldArc» с минимальным тепловложением позволяет достичь оптимального формирования наносимых слоев. Однако, данная технология незначительно снижает механические свойства изделия в сравнении с традиционным методом наплавки GMAW, что подтверждается микротвердостью и результатами механических испытаний. Было выявлено, что высокая мощность при минимальной площади отвода тепла приводит к изменению геометрии в начале и конце стенки. Предел прочности горячекатаного изделия (440 МПа) на 25% ниже предела прочности изделия, полученного методом WAAM (591 МПа).

Список литературы:

1. S. W. Williams, F. Martina, A. C. Addison, J. Ding, G. Pardal & P. Colegrove. Wire + Arc Additive Manufacturing // *Materials Science and Technology* 2016 Vol 32 N 7 p. 641-647. DOI: 10.1179/1743284715Y.0000000073
2. T. Artaza, A. Alberdi, M. Murua, J. Gorrotxategi, J. Frías, G. Puertas, M. A. Melchor, D. Mugica, A. Suárez Design and integration of WAAM technology and in situ monitoring system in a gantry machine // *Procedia Manufacturing* Volume 13, 2017, Pages 778-785
3. Donghong Ding, Zengxi Pan, Stephen van Duin, Huijun Li and Chen Shen Fabricating Superior NiAl Bronze Components through Wire Arc Additive Manufacturing, *Materials (Basel)* 9 (8) (2016), <https://doi.org/10.3390/ma9080652>
4. Горбатенко В.П. *Материаловедение: Учебник для технологических и механических специальностей высших учебных заведений* / В.П. Горбатенко, Т.В. Новоселова. – Невинномысск: ЭльДирект, 2018. – 324 с.