

УДК 533.924

Барышников Ю.С., Куракин Р.О., Твердохлебов К.В., Поняев С.А.
(ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия)

СФЕРОИЗАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ ЖИДКОГО АНОДА

Получение сферических металлических частиц, необходимых параметров от 10 мкм до 150 мкм [1] востребовано в аддитивных технологиях. Существуют и исследуются различные методы получения сферического порошка из таких частиц: плазмотроном, жидким катодом [2], центробежным распылением, методы получения представлены в различных обзорах [3]. Способы получения сферического порошка металлов является трудоемкой и дорогой технологией, и удешевление процесса производства такого порошка является актуальной задачей, которая напрямую влияет на сферы, где используется сферический металлический порошок в аддитивных технологиях: медицинское протезирование, машиностроение, электроника, ювелирное дело, судостроение, авиационная и космическая техника.

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований, полученных на установке с жидким анодом с помощью которой происходило плазменное распыление различных металлов при разных режимах. Исследования проводились в растворе воды с NaCl при подводе энергии от источника постоянного тока Mastech NY30002E. Катодом являлся металлическая проволока или стружка из различных металлов (нержавеющая сталь, железо, оцинкованное железо, титан, вольфрам, никель-хром, медь, олово) с диаметром/толщиной от 0,1 мм до 2,5 мм.

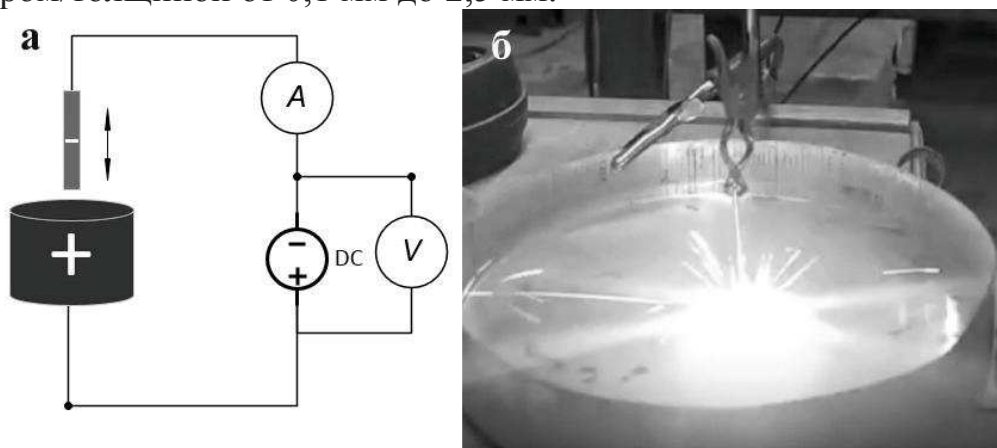


Рис 1. Схема установки и фото разряда на установке с жидким анодом: схема (а), фото (б).

Осаждение сферического порошка происходило в жидкости на фильтровальную подложку. Анализ и фотографирование порошка проводился на оптическом микроскопе (Альтами МЕТ 5 с камерой Altami USB 3150R6 1/2CMOS) с последующей обработкой изображений в программе Altami Studio 3.5, также проводилось фотографирование и анализ химического состава на сканирующем электронном микроскопе Phenom ProX.

В результате работы показано, что при плазменном испарении катода (материал: нержавеющая сталь, железо, оцинкованное железо, титан) на установке с жидким анодом при токе 0,4-1,7А напряжении 170-380В происходит образование сферических гранул порошка от 15 мкм до 250 мкм, причем большая часть фракций получаемых сферических гранул по количеству подпадают под диапазон до 150 мкм.

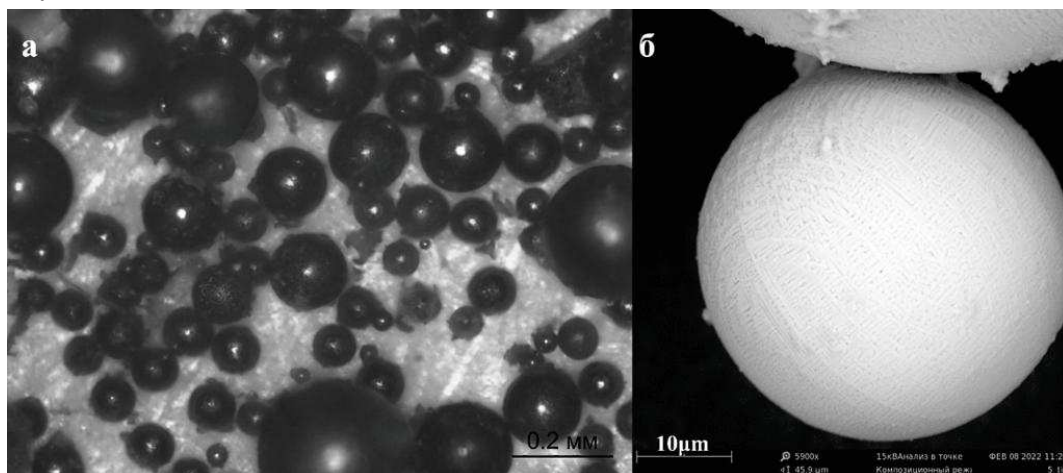


Рис 2. Фотографии частиц порошка полученного из железной проволоки диаметром 0,3 мм: фото с оптического микроскопа (а), фото с электронного микроскопа (б).

Для разных металлов зависимость получения сферического порошка от режимов экспериментов различна. К примеру, для нержавеющей стали при увеличении напряжения увеличивалось количество выхода порошка из сферических частиц. Токи при этом были одинаковы от 0,4 до 1,7А.

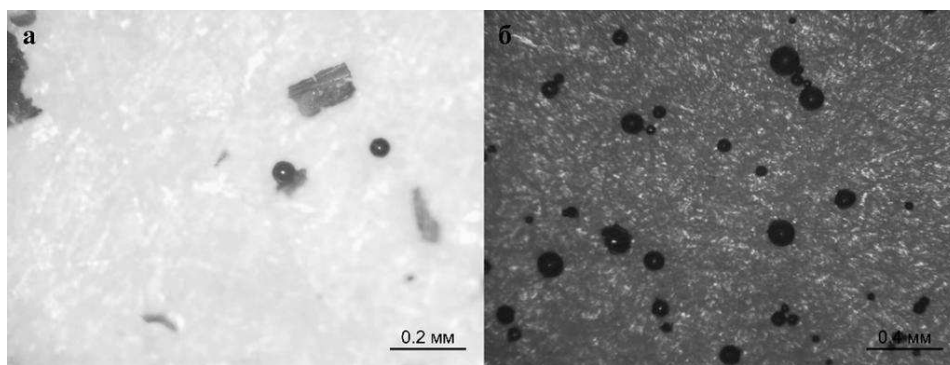


Рис 3. Фотографии частиц порошка полученных из проволоки нержавеющей стали диаметром 2 мм, при напряжении: 180-220В (а), 270-350В (б).

При токах 1-2А, напряжениях 270-350В, для проволоки меди диаметром 1 мм сферичный порошок получался редкими гранулами в смеси с порошком в виде хлопьев (рис.4), что видимо для получения полностью сферичного порошка, как с другими исследуемыми металлами, следует поискать другие режимы эксперимента.

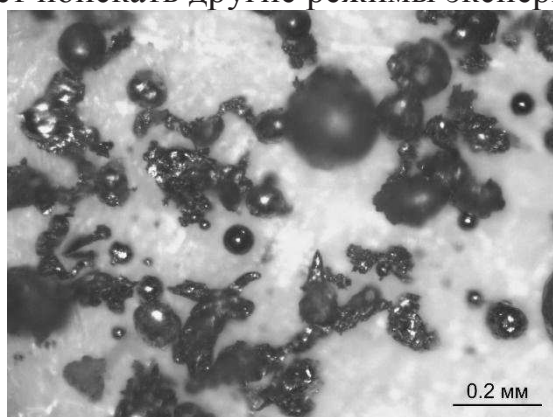


Рис 4. Фотографии частично сферичного порошка полученного из медной проволоки 1 мм при напряжении 270-350В.

Для олова и вольфрама сферичность не наблюдалась, порошок получался полностью в виде хлопьев.

С помощью сканирующего электронного микроскопа, был получен химический состав получаемого порошка.

Таблица 1 – Химический состав сферической гранулы порошка получаемого из железной проволоки диаметром 0,3мм

El. Number	El. Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
26	Fe	Железо	43.86	73.17
8	O	Кислород	56.14	26.83

Таблица 2 – Химический состав сферической гранулы порошка получаемого из стружки марки сплава титана ВТ-6 шириной 0,6-1,2мм

El. Number	El. Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Кислород	78.88	56.07
22	Ti	Титан	20.06	42.66
13	Al	Алюминий	1.06	1.27

В проводимых экспериментах получался металлический порошок, имеющий геометрические параметры необходимые для аддитивных технологий и представляется новым методом для возможного удешевления процесса его получения. В рамках работы определены режимы получения сферического порошка для некоторых металлов, зависимость количества выхода порошка от выбранных режимах. В дальнейшем планируется расширить исследовательские работы при использовании других химических составов проводящих жидких анодов, влияние их на химический состав и структуру получаемых гранул порошка, других вариантах подводимой энергии (увеличение или уменьшение электрических параметров, нежели, которые исследовались) других металлов, геометрии электродов, опробировать способы восстановления получаемых сферических порошков из оксидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vock, S., Klöden, B., Kirchner, A. et al. Powders for powder bed fusion: a review. Prog Addit Manuf 4, 383–397 (2019). <https://doi.org/10.1007/s40964-019-00078-6>
2. R. N. Kashapov et al 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1923 012025 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1923/1/012025>
3. Родионов А. И., Ефимочкин И. Ю., Буякина А. А., Летников М. Н. Сфероидизация металлических порошков (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2016 № 1 С. 60–64