

УДК 621.351(043)

3D ПРИНТИНГ, КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Т.П. Дмитриев, С. Абиш, Б.Г. Топанов, З.А. Мансуров

РГП на ПХВ «Институт проблем горения»

Богенбай батыра 172, Алматы

timur_dmitriyev@yahoo.com

Аннотация

Для настоящей работы была разработана и собрана экспериментальная установка послойного синтеза металлов и сплавов. В результате экспериментов был получен образец неоднородной структуры, определенной методом сканирующей электронной микроскопии. Анализы энергодисперсионной спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии показали существование отдельных фаз соединения CuSn (бронзы), свинца, кремния и оксидов металлов. Для подтверждения получения сплава бронзы образец был исследован на микротвердость по Виккерсу.

Ключевые слова: принтинг, бронза, кремний, оксиды металлов

Введение

Так как традиционным методом получения бронзы является литье, то предложенный метод послойного синтеза, известный также как аддитивное производство или 3D принтинг, представлен альтернативным способом получения металлов и сплавов. Известна работа [2], в которой описан методом послойного синтеза порошков меди и олова. Существуют некоторые марки бронз, легированные такими элементами как олово, никель, фосфор, свинец и т.д., которые влияют на различные физико-химические и механические свойства сплава [4]. В связи с этим, сплавы бронзы широко применимы как в ювелирном и скульптурном ремесле, так и в машиностроении [5].

Оловянные бронзы применяют с древнейших времен, и они хорошо освоены промышленностью. Кроме основного α -твердого раствора олова в меди, в сплавах присутствуют электронные соединения: β -фаза (Cu_5Sn); δ -фаза ($\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$); ϵ -фаза (Cu_3Sn) и γ -фаза – твердый раствор на базе химического соединения, природа которого не выяснена [3].

Экспериментальная часть

На базе ранее выполненных работ [1] была собрана экспериментальная установка для получения металлических сплавов, в том числе сплав CuSn. Данная установка была собрана на основе 3D принтера марки Nan-Bot 3D

Printer с микроконтроллером марки Melzi Ardentissimo (Arduino). В установке использовалась технология плавки металлических проволок плазменным источником энергии. На рисунке 1 подробно показана экспериментальная установка на базе 3D принтера.

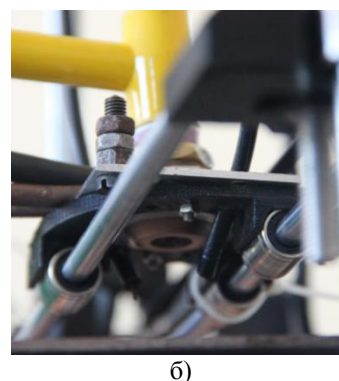
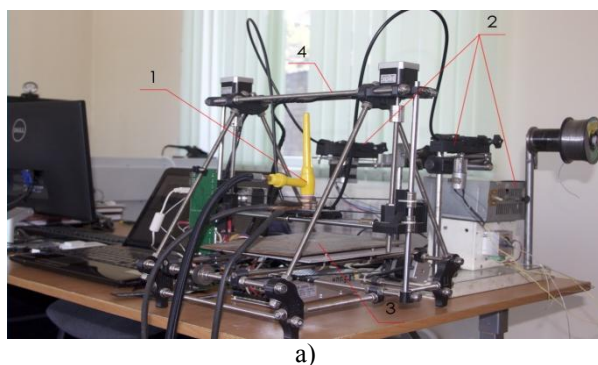
На рисунке 2 представлена принципиальная схема экспериментальной установки. Плазменная дуга в данном эксперименте использовалась зависящая, то есть положительный контакт прикладывался на вольфрамовый электрод, а отрицательный – на металлическую подложку (в данном эксперименте в роли металлической подложки служила стальная подложка толщиной в 5 мм).

В следствии чего между металлической подложки и вольфрамовым электродом который находится в плазматроне создается дуга, и при подаче газа (аргон) через сопло, газ воспламеняется создавая тепло, которое и плавит металлическую проволоку.

Для подбора оптимальной температуры расплава были проведены серии экспериментов по замеру температуры плазменной дуги. Измерение температуры производилось с помощью цифрового пирометра Multimax (рисунк 2а). Ниже в таблице 1 представлены результаты значения температуры в зависимости от силы тока и расхода газа (аргона).

Результаты и обсуждения

В результате методом послойного синтеза был получен образец, представленный на рисунке 3.



- 1 – Плазматрон с косвенной дугой и водяным охлаждением закрепленный на каретки;
 2 – Система подачи проволоки с блоком управления;
 3 – Металлическая подложка толщиной 4 мм;
 4 – 3D Принтер с компьютером;

Рис.1 –Экспериментальная установка для послойного выращивания металлических изделий с микроплазменным источником энергии - а, Плазматрон с системой подачи проволоки - б

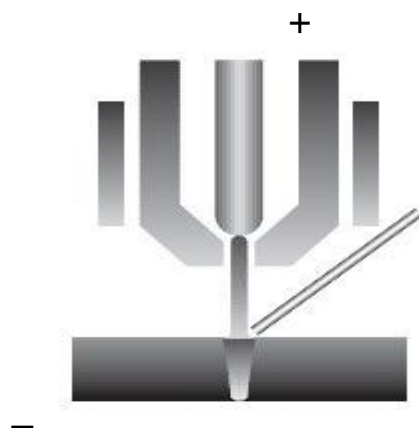


Рис. 2 – Принципиальная схема установки

Таблица 1 Зависимость температуры плазменной дуги от силы тока и расхода плазмообразующего газа

Расход газа, л/мин	Сила тока, А	10	20	35	50	65	80	95
1		1010	1085	1250	1330	1450	1530	1680
5		870	950	1180	1340	1440	1560	1640
10		890	960	1130	1300	1410	1570	1620

Эксперименты были проведены согласно рабочим параметрам процесса:

- подача проволоки Cu диаметром 0,9 мм и оловянного припоя диаметром 1 мм со скоростью 5 мм/сек;

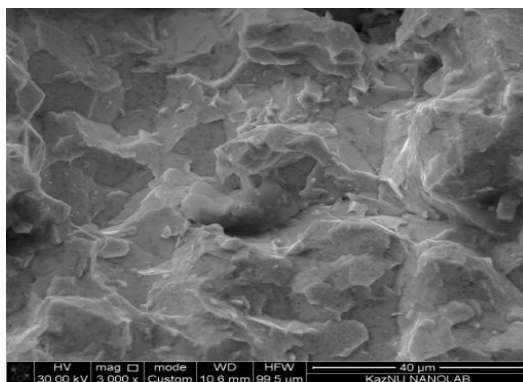
- расход газа (аргон) – 1л/мин;
 - сила тока – 30 А;
 - температура нагрева составила – 1100 °С.



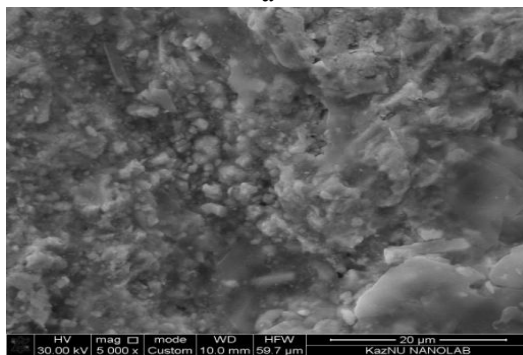
Рис. 3 – Образец бронзы, полученный в ходе экспериментов

Полученный образец был исследован на сканирующем электронном микроскопе марки Quanta 3D 200i. Были получены снимки разных областей, с разными увеличениями. Во всех областях поверхности сплава обнаруживается неоднородная структура. Как

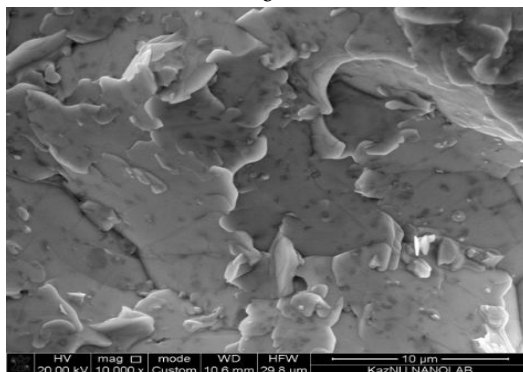
видно из рисунка 4 (б) некоторые участки образца имеют зернистую структуру, что, вероятнее всего, свидетельствует о неполном взаимодействии исходных материалов в процессе плавления.



а



б



в

Рис. 4 – SEM-снимки полученного образца

Однако фотографии (а, в) на рисунке 4 показывают области с монолитной структурой, которые в последующих исследованиях подтвердили присутствие фазы CuSn.

Энергодисперсионный анализ при 100-кратном увеличении показал поверхность всего образца, где имеются отдельные области сплава CuSn, кроме этого были обнаружены отдельные области, содержащие свинец, кремний и их оксидные соединения. Свинец в процессе сформировался как отдельная структура. Причиной появлению свинца в образце является тот факт, что оловянный припой имеет флюс (сульфид свинца). Наличие кремния объясняется процессом шлифовки поверхно-

сти образца наждачной бумаги. Оксиды же элементов имеют место в следствие окисления при плавке, так как эксперименты проводились на открытом воздухе.

Кроме этого при 500 кратном увеличении была исследована область, где сформировался сплав оловянной бронзы (Рисунок 5). Результаты анализа этой области показали, что сплав меди с оловом был успешно получен предложенным методом послойного синтеза. Данная область отличается равномерным распределением концентраций меди и олова по поверхности образца, в свою очередь свинец сконцентрирован лишь в отдельных областях.

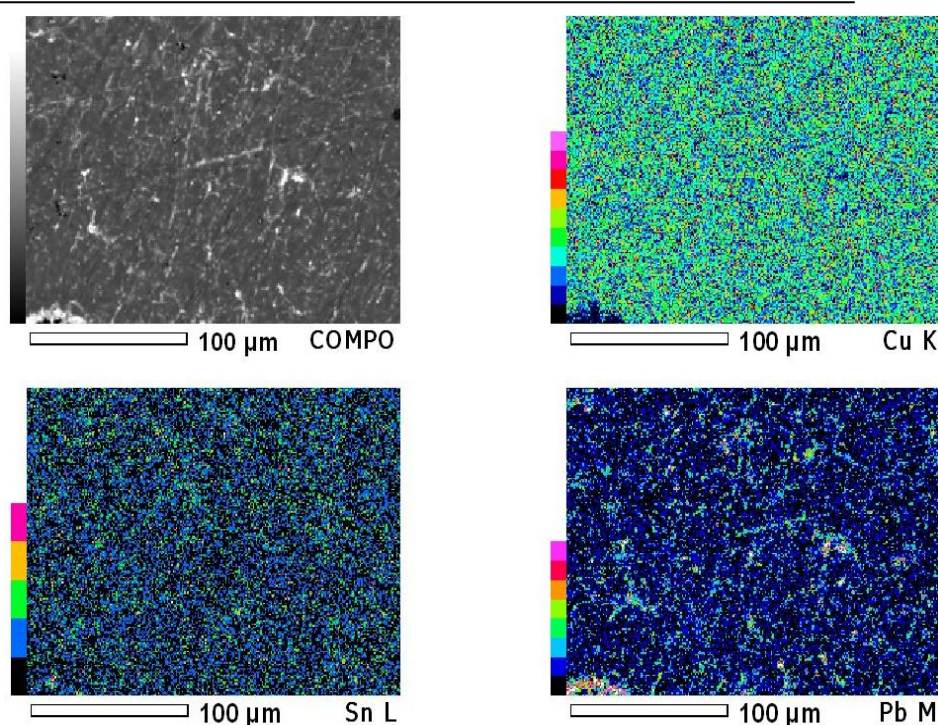


Рис. 5 – Снимки поверхности образца в области сплава CuSn

Содержание меди и олово в этой области указана в таблице 2.

Рентгенофазовый анализ был проведен на дифрактометре марки D8 ADVANCE Bruker (Производитель – Германия).

Данный анализ показал присутствие меди (34,5%), оловянной бронзы ($\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$) (26,3%), свинца (24,2%) и оксид олова (15%). На основной рентгенограмме (рисунок 6а) видно множество пиков, относящиеся к элементам и химическим соединениям. Однако на диаграмме присутствует пик сплава CuSn (рисунок 6б). Синий спектр показывает наличие сплава $\text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$. Его спектр по расположению совпадает со спектром Cu (34,5%), потому что появление пиков совпало под одним уг-

лом, и на самом деле фазы находятся вблизи, но не на одной точке.

Определение микротвердости по Виккерсу

Для измерения твердости использовался микротвердомер HV-1000В. Алмазный индентор проникал на поверхность с нагрузкой в 200 г, длительность удержания индентора составила 10 секунд. Для желтых областей (область сплава бронзы) средняя твердость составила 80 HV (Hardness Vickers). Серые области (область со свинцом и другими элементами дефекта) намного мягче и значение твердости для них 10-8 HV.

Таблица 2 Данные о концентрации меди и олово построенная программой JOEL

Elements	ms %	mol %
Cu	83.35	92.66
Sn	6.55	3.90
Pb	10.10	3.44
Total	100	100

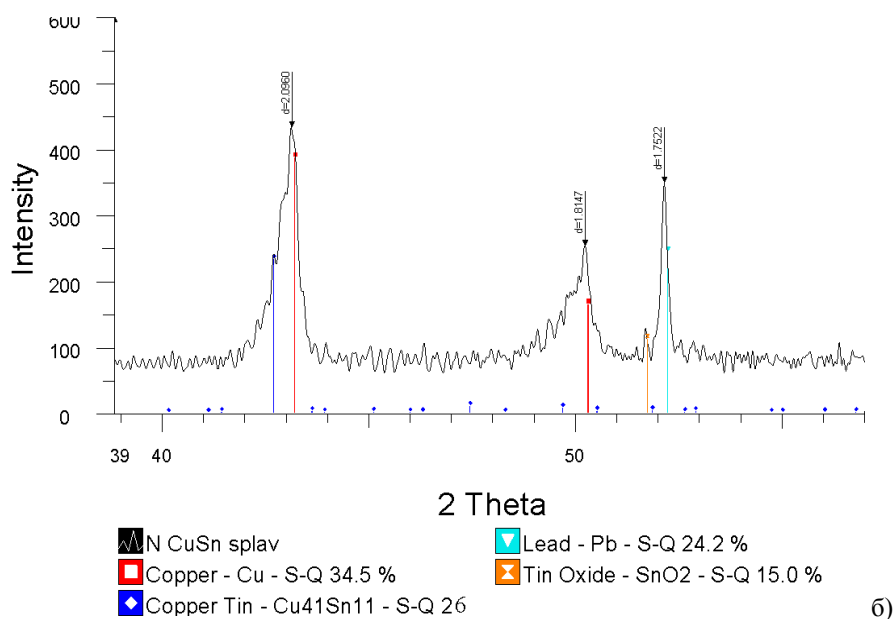
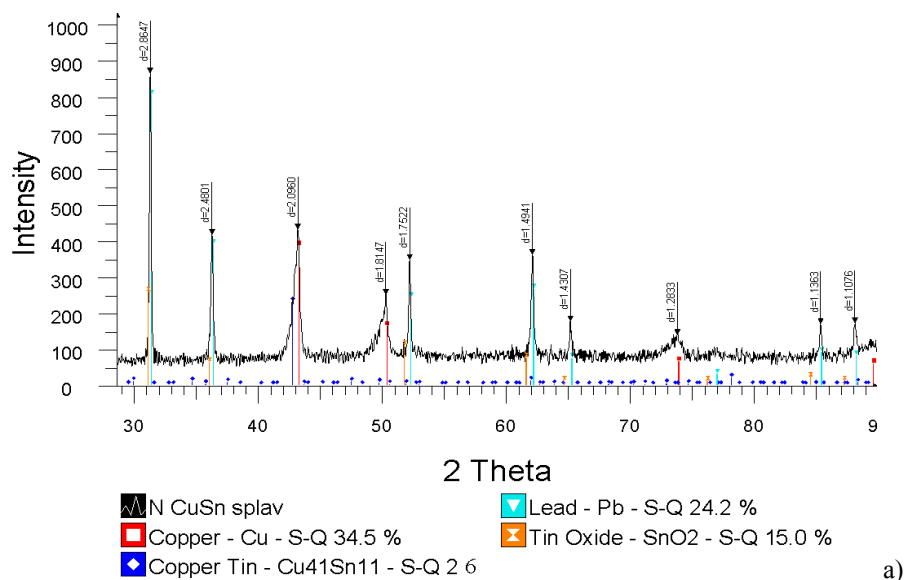


Рис. 6 – Рентгенограмма полученного образца бронзы

Таблица 3 Рентгенофазовый анализ образца сплава CuSn

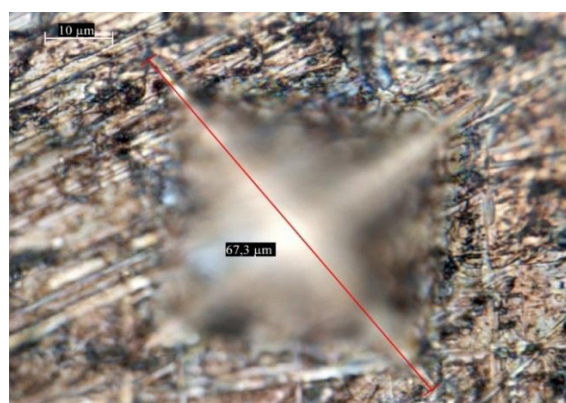
Наименование	Формула	S-Q %
Медь	Cu	34.5
Медь-Олово	Cu ₄₁ Sn ₁₁	26.3
Свинец	Pb	24.2
Оксид олова	SnO ₂	15

Таблица 4 Сплав Cu₄₁Sn₁₁ как отдельная фаза и его параметры

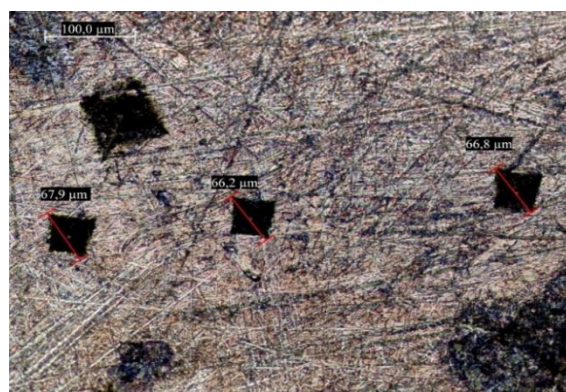
Cu ₄₁ Sn ₁₁	100.0%
Cu	66.6%
Sn	33.4%
FWHM(30):	0.443 °
Crystallite Size	183.6 Å
I/I _{cor} :	7
System:	Cubic
Space group:	F-43m (216)

Таблица 5 Параметры кубической решетки сплава CuSn

Параметр решетки	Эталон	Полученный образец
a:	17.96460	17.89895



а



б

а – увеличенный отпечаток проникновения алмазной пирамиды;
б – общий вид всех отпечатков;

Рис. 7 – Снимки, полученные после измерения на микротвердость по Виккерсу

Заключение

1. За время работы была разработана и собрана экспериментальная установка на базе 3D принтера (Han-bot 3D printer, производство Китай), система подачи проволоки с двумя типами электродвигателей. Кроме этого соб-

раны два типа плазмотронов: с прямой и косвенной дугой.

2. Проведены несколько серий экспериментов по получению сплава CuSn. В ходе экспериментов был подобран оптимальный рабочий режим плазмотрона. В результате получен образец бронзы.

3. С помощью электронной сканирующей микроскопии, энергодисперсионного анализа, рентгенофазового анализа и испытаний микротвердости был исследован полученный образец. Результаты исследований подтвердили образование оловянной бронзы с некоторыми неоднородностями в структуре, а именно присутствием отдельных областей кремния и свинца. Однако результаты микротвердости показали, что образец схож со скульптурной бронзой и имеет близкое значение твердости с литературными данными.

Литература

1. Дмитриев Т.П., Топанов Б.Г., Алиев Е.Т., Мансуров З.А., Разработка установки для применения технологии послойного синтеза (3D принтинг) металлических изделий с плазменным источником энергии, "Proceedings of the Joint International VIII Symposium

"Combustion & Plasmachemistry" and Scientific & Technical Conference "Energy Efficiency-2015"", Almaty, 16 - 18.09.2015

2. Behrokh Khoshnevis and Jing Zhang. "Selective Separation Sintering (SSS) - An Additive Manufacturing Approach for Fabrication of Ceramic and Metallic Parts with Application in Planetary Construction", AIAA SPACE 2015 Conference and Exposition, SPACE Conferences and Exposition

3. Колачев Б.А., Ливанов В.А., Благин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов.- М.: Металлургия, 1972. -480 с.

4. Осинцев О.Е., Федоров В.Н. Медь и медные сплавы. Отечественные и зарубежные марки: справочник. – М.: Машино-строение, 2004. - 336 с.

5. Фетисов Г.П., Карпман М.Г., Матюнин В.М. и др. Материаловедение и технология материалов.- М.- В.Ш., 2000.- 182с.

METALS AND ALLOYS OBTAINING BY ALTERNATIVE 3D PRINTING METHOD

T. Dmitriyev, S. Abish, B. Topanov, Z. Mansurov

Institute of Combustion Problems, 172, Bogenbay batyr, Almaty

Abstract

For the purpose of present work it has been developed and assembled an experimental setup for the layered synthesis of metals and alloys. Based on the experiments a sample with heterogeneous structure was obtained which determined by scanning electron microscopy. Results of energy dispersive spectroscopy and X-ray diffraction showed the presence of individual phases of CuSn compound (bronze), lead, silicon, and metal oxides. For the additional confirmation of bronze alloy presence in a sample, the Vickers microhardness tests were carried out.

Keywords: printing, bronze, silicon, metal oxides

3D ПРИНТИНГ МЕТАЛДАР МЕН ҚҰЙМАЛАР АЛУДЫҢ ТИІМДІ ӘДІСІ РЕТІНДЕ

Т.П. Дмитриев, С. Абиш, Б.Г. Топанов, З.А. Мансуров

Жану проблемалары институты, Алматы, Қазақстан

Аннотация

Берілген жұмыста металдар мен құймалардың қабатты синтездеудің тәжірибелік қондырғысы өңделіп жинақталды. Тәжірибе нәтижесінде, сканирлеуші электронды микроскоп арқылы біртекті емес құрылымды үлгі алынғаны дәлелденді. Энергодисперсионды спектроскопия және рентген дифрактометрдің талдаулары CuSn (қорғасын) қосылысының, қалайы, кремний және металл оксидтерінің жеке фазаларының бар екендігін көрсетті. Қорғасын құймасының алынғанын дәлелдеу үшін, үлгі Виккерс әдісімен микроқаттылыққа зерттелінді.

Түйінді сөздер: басу, қола, кремний, металл тотықтары