

Сяо Яньсинь (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Панина Александра Анатольевна, к.ф.-м.н.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-6Al-4V, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДАМИ 3D-ПЕЧАТИ И ПРОКАТА

Введение

С каждым днем аддитивные технологии становятся все более популярными. Главное преимущество 3D-печати перед литейным производством в том, что аддитивные технологии позволят изготавливать детали любой, даже самой сложной конфигурации, затрачивая на это значительно меньше материала. Особенно важны такие возможности в космическом и авиастроении, поскольку, используемый в ракетных реактивных двигателях и узлах летательных аппаратов, титан очень плохо поддается обработке и стандартными методами из них сложно изготовить детали сложной геометрической формы [1]. Открывающиеся перспективы использования изделий, изготовленных методами аддитивной технологии, требуют детального изучения структуры и свойств таких материалов.

Настоящая работа посвящена сравнению фазового состава и механических свойств образцов титана Ti-6Al-4V, полученных методами проката и 3D-печати.

Материалы и методика исследований

В качестве материала исследований был выбран титановый сплав Ti-6Al-4V (5.95 Al, 4.37 V, 0.02 Si, 89.66 вес. % Ti) в виде листов проката и проволоки диаметром 1.6 мм. Из листов проката были вырезаны образцы с размерами рабочей части 1×5×40 мм для последующих испытаний на растяжение. Проволока из титанового сплава использовалась для изготовления образцов методами аддитивных технологий.

Плавление проволоки Ti-6Al-4V диаметром 1.6 мм осуществляли путем метода EBM с помощью плазменного источника энергии в вакуумной камере при давлении 1.3×10^{-3} Па и ускоряющем напряжении 30 кВ (электронно-лучевая установка 6E400). Схема 3D печати представлена на рисунке 1. В качестве подложки использовалась титановая пластина размером 150 мм×150 мм×10 мм, имеющая водяное охлаждение. Расстояние между источником электронного пучка и подложкой составляло 630 мм. Сила тока пучка уменьшалась в процессе печати от 24 до 17 мА. Проволока подавалась под углом 35 град. к поверхности подложки со скоростью 2 м/мин. На подложку было наплавлено 100 слоев

длиной 850 мм, шириной 5 мм и толщиной 0.7 мм (Рисунок 2). Процесс 3D-печати проводился как с водяным охлаждением подложки, так и без охлаждения.

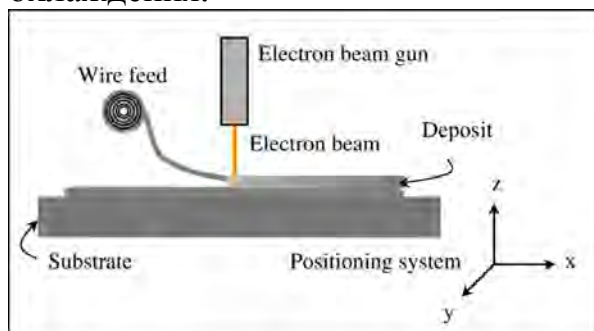


Рис. 1. Схема 3D-печати образцов [2]

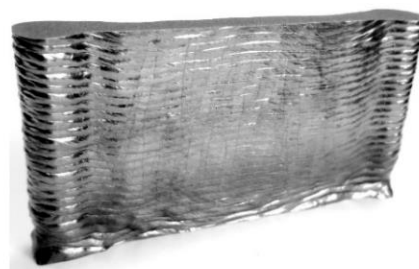


Рис. 2. Изображение образца титанового сплава Ti-6Al-4V, нанесенного методом электронно-лучевой наплавки

Изучение фазового состава исследуемых образцов проводили использованием дифрактометра Shimadzu – 7000, программных продуктов-Search Match, Powder Cell и базы данных PDF-4 2019. Рентгеноструктурные исследования проводились с CuK α -излучением (длина волны 1,5418 Å) в обычной симметричной геометрии Брэгга-Брентано от 25 до 90° со скоростью сканирования 1,2°/мин.

Изучение микротвердости образцов титанового сплава проводили использованием микротвердомера «ПМТ-3М» с использованием нагрузки 100 г в течение 10 с.

Механические свойства титанового сплава Ti-6Al-4V оценивали путем испытаний на одноосное квазистатическое растяжение, которое проводили на воздухе при комнатной температуре с использованием испытательной машины INSTRON 5582, работающей со скоростью загрузки 0,3 мм/мин. В механических испытаниях использовались образцы гантелей, вырезанные в плоскости XY (перпендикулярно направлению сборки) методом электроэрозионной обработки. Измерительная секция образцов имела высоту 1 мм, ширину 5 мм и длину 40 мм. Чтобы избежать влияния чистоты поверхности на механические свойства образцов, образцы предварительно механически полировали.

Результаты и обсуждение

Дифракция рентгеновских лучей в фокусирующей геометрии Брэгга-Брентано дает нам возможность выявить различия в микроструктуре и фазовом составе образцов титанового сплава, подвергнутых прокату, и полученных методом EBF3. На рисунке 3 представлены дифрактограммы прокатанного и напечатанного образцов. Установлено, что во всех случаях основная фаза представлена гексагональным плотноупако-

ванными α -титаном, и лишь небольшую часть составляет объемно-центрированный кубический β -титан. Как видно из рисунка 3 в прокатанных образцах титанового сплава формируется отдельный пик, указывающий на наличие β -фазы. Проведенный количественный анализ позволил оценить содержание β фазы, объем которой составил 6,8 %. В случае прокатанных образцов отдельный пик не формируется, однако доказательством наличия фазы β -Ti является асимметричное уширение пика XRD при $2\theta = 40^\circ$, принадлежащего прокатанному образцу β -Ti (110) (Рисунок 3). Эта конкретная форма пика может рассматриваться как суперпозиция нескольких пиков для α -Ti (1011) и β -Ti (110). Последнее свидетельствует об уменьшении содержания β -фазы, что подтверждается проведенным количественным анализом. Так, в образцах после 3D-печати содержание β -фазы составляло 5,5%.

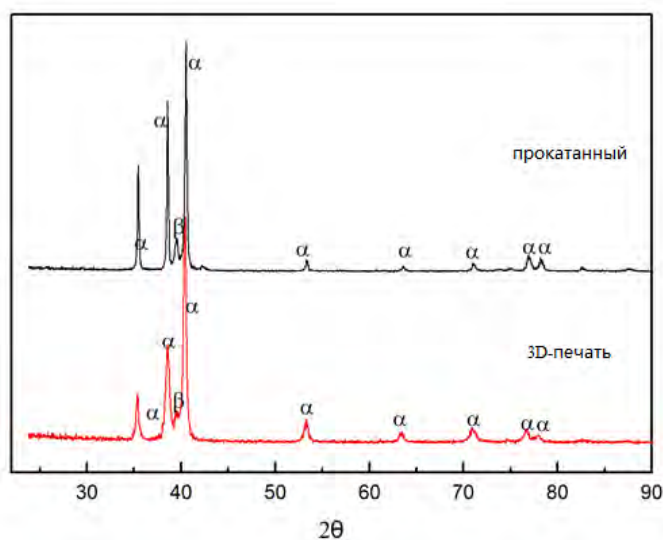


Рис 3. Рентгенограмма прокатанного и напечатанного образцов титанового сплава Ti-6Al-4V

Как видно из рисунка 4, кривые нагружения для прокатанного и напечатанного образцов имеют схожий вид. При этом предел прочности прокатанного образца составляет 900 МПа, а его пластичность достигает 11%. Методом ЕВF3 с использованием проволоки удалось достигнуть близких значений прочности и пластичности, так прочность напечатанных образцов всего на 50 МПа меньше, чем прочность прокатанного образца, в то время как их пластичность различается на 2% (Рисунок 4). Однако несмотря на то, что прочность напечатанных образцов несколько ниже, чем прокатанных исследование микротвердости показало, что микротвердость напечатанных образцов несколько превышает значения микротвердости для прокатанных образцов и составляет 3,5 ГПа, что (3,18 ГПа).

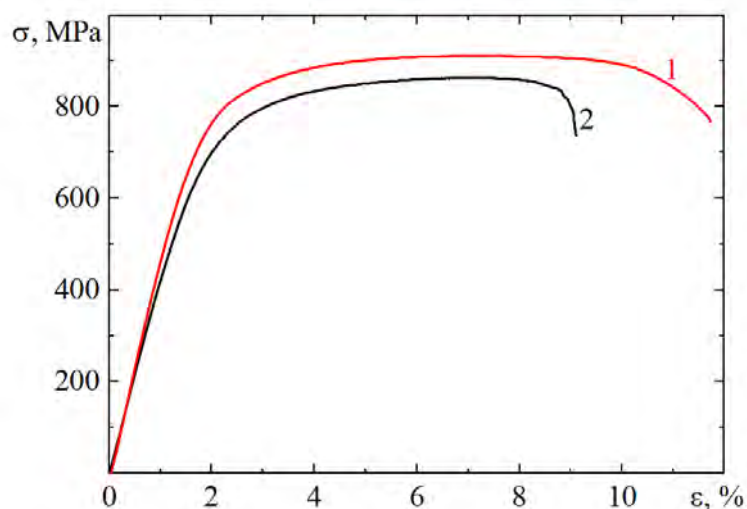


Рис. 4. Кривая нагружения образца титанового сплава Ti-6Al-4V, 1-образец титанового сплава, подвергнутый прокату, 2-напечатанный образец

Заключение

В работе изучили фазовые составы образцов титанового сплава Ti-6Al-4V, полученных путем проката либо EBF3-печати, а также сравнили их механические свойства. Использование EBF3-печати позволяет сформировать титановые изделия с прочностными свойствами близкими к прокатанному состоянию. При этом более высокие значения микротвердости напечатанных образцов свидетельствуют о лучших характеристиках их износостойкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Илларионов, А. Г. Технологические и эксплуатационные свойства титановых сплавов. – М.: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 137 с.
2. W. J. Seufzer, K. M. Taminger. Control Methods for the Electron Beam Free Form Fabrication Process. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/241890883_Electron_beam_freeform_fabrication_A_rapid_metal_deposition_process