

КСI. Pt использовали в качестве вспомогательного электрода и токосъемника.

Значение удельной емкости гибридного материала составило 104; 163; 245; 437; 558; 679; 848 мФ/см<sup>2</sup> при скорости развертки потенциала 200; 100; 50; 20; 10; 5; 2 мВ·с<sup>-1</sup>, соответственно, а также 306; 955; 1385; 1480 мФ/см<sup>2</sup> при плотности тока 50; 20; 10; 5 мА/см<sup>2</sup> соответственно.

### Список литературы

1. Zhou Y., Qi H., Yang J. et al. // *Energy & Environmental Science*, 2021. – V. 14. – P. 1854–1896.
2. Jiang L., Lu X. // *Mater. Chem. Front.*, 2021. – V. 5. – P. 7479–7498.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ СПЛАВА Ti-42Nb, ПОЛУЧЕННОГО В РАЗНЫХ РЕЖИМАХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ПЛАВЛЕНИЯ

Д. А. Храпов, И. Ю. Грубова, М. П. Козадаева  
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент М. А. Сурменева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, dah8@tpu.ru

Основным недостатком металлических имплантатов является высокий модуль упругости, значительно превосходящий модуль упругости кости. Большая разница этих величин приводит к резорбции костной ткани и в последствии к потере имплантата. Более того, металлические сплавы, как правило, обладают низкой биосовместимостью. Титан-ниобиевые (Ti-Nb) сплавы привлекают внимание исследователей в качестве биоматериалов для изготовления ортопедических имплантатов благодаря низкому модулю упругости. за счет наличия  $\beta$ -фазы [1], стабилизированной высоким содержанием ниобия. Близкое значение модуля упругости Ti-Nb сплава с модулем упругости кортикальной кости позволяет свести к минимуму неравномерность упругих свойств на границе контакта имплантат-кость [2]. Кроме того, такие сплавы обладают высокой биосовместимостью и прочностью [3]. Современным методом изготовления имплантатов сложной формы являются аддитивные технологии, в частности электронно-лучевое плавление (ЭЛП), в процессе которого для плавления металлического порошка используется электронный пучок. Целью данного исследования был подбор оптимальных параметров ЭЛП для получения Ti-Nb сплава с минимальной

Таким образом, была показана возможность использования разработанного гибридного материала в качестве электродного для суперконденсаторов с щелочным электролитом, при этом достигаются удельные характеристики, сопоставимые с существующими аналогами или превосходящие их.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ СП-3068.2021.1.

пористостью и оценка влияния режимов на микроструктуру и текстуру полученных образцов.

Исходным материалом для данного исследования был выбран порошок титана с содержанием ниобия равным 42 вес. % (далее Ti-42Nb) AMtrinsic производителя TANIJOBIS (Германия), полученный методом распыления. Насыпная плотность порошка составила 3,6 г/см<sup>3</sup>. Образцы этого сплава были получены на установке для послойного ЭЛП ARCAM A2 EBM (GE Additive, Швеция) в 70 различных режимах за счёт изменения силы тока, скорости пучка и энергии печати. Процесс проводился при температуре 725–750 °С в вакууме при заданной толщине слоя 100 мкм.

Лучшее сплавление показали образцы, полученные в двух режимах, имеющих следующие параметры: сила тока 4 мА, ускоряющее напряжение 60 В, ширину пучка 0,1 мм, скорость пучка 700 и 800 мм/с. Для них были проведены исследования текстуры, микроструктуры и фазового состава методом дифракции обратно рассеянных электронов (ДОЭ) с использованием автоэмиссионного сканирующего электронного микроскопа Tescan MIRA 3 LMU (TESCAN ORSAY HOLDING, Брно, Чехия).

Было установлено, что сплав, полученный при обеих скоростях движения пучка, пол-

ностью состоит из  $\beta$ -фазы Ti с небольшими включениями Nb (ОЦК) (менее 1 %). Микроструктура состоит из крупных  $\beta$ -зерен, преимущественно ориентированных в направлении  $\{001\}$ , совпадающих с направлением, перпендикулярным плоскости печати, что объясняется градиентом температуры в процессе плавления. Такая особая ориентация вызвана высокой энергией плавления и стратегией сканирования. Было получено распределение размеров зёрен. Средний размер зёрен образцов, полученных при скоростях пучка 700 и 800 мм/с составляет 71 и 74 мкм соответственно. Для обоих образцов характерны большие зёрна с эквивалентным диаметром, достигающим около 300 мкм. Для образцов, изготовленных при скорости пучка

700 мм/с, доля зерен равноосной формы, т. е. с отношением длины зерна к его ширине равным 3, составляет около 35 %, а при скорости луча 800 мм/с – почти 50 %. Таким образом, микроструктура образца в первом случае является более анизотропной.

Образцы сплава Ti-42Nb, содержащие только  $\beta$ -фазу, впервые были получены методом ЭПП. Были установлены оптимальные режимы для их производства. Исследование данного сплава будет продолжено с целью определения механических, а также коррозионных свойств.

Данное исследование было выполнено в Томском политехническом университете в рамках гранта РФФ 20-73-10223.

### Список литературы

1. Hanada S., Matsumoto H., Watanabe S. // *International Congress Series*, 2005. – № 1284. – P. 239–247.
2. Piotrowski B., Baptista A. A., Patoor E., Bravetti P., Eberhardt A., Laheurte P. // *Materials Science & Engineering C*, 2014. – № 38. – P. 151–160.
3. Miyazaki S., Kim H. Y., Hosoda H. // *Materials Science and Engineering A*, 2006. – № 438–440. – P. 18–24.

## ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ НА ГИДРОТЕРМАЛЬНУЮ СТОЙКОСТЬ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Ц. Ху, О. С. Толкачёв, Х. Си, Ц. Ли

Научный руководитель – д.ф.-м.н, профессор Э. С. Двилис

Национальный Исследовательский Томский Политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, czychzhao1@tpu.ru

Керамика Y-TZP претерпевает неблагоприятное тетрагонально-моноклинное фазовое превращение при относительно низких температурах (65–400 °C), особенно в присутствии воды или водяного пара. Деформация трансформации и напряжение могут вызвать шероховатость поверхности, вырывание зерен, макро- или микротрещины и ухудшение механических свойств [1].

Цель настоящей работы – изучение влияния добавки  $Al_2O_3$  на спекание и гидротермальную стойкость керамики на основе Y-TZP.

В качестве изучаемого материала использовали идентичные порошки Y-TZP марки TZ-3YS и TZ-3YSB-E с добавкой до 0,4 масс. %  $Al_2O_3$  компании Tosoh. Прессование образцов проводили по схеме одноосного одностороннего прессования в стальной цилиндрической пресс-форме диаметром 14 мм при давлении 75

МПа. Спекание проводили в высокотемпературной лабораторной печи LHT 08/18 (Nabertherm) при 1450 °C, в течении 1 ч, 2 ч, 3 ч, 4 ч, 5 ч, 6 ч, скорость изменения температуры 200 °C/ч.

Добавка  $Al_2O_3$  способствует интенсификации термической консолидации (таблица 1), что позволяет снизить выдержку и/или температуру для достижения заданной плотности.

При уточнении результатов РФА методом Ритвельда, установлено, что наиболее достоверные результаты обработки рентгенограмм получаются при использовании двух типов тетрагональных фаз с разной степенью тетрагональности ( $c/a$ ) [2]. На рисунке 1 представлена зависимость  $c/a$  основной фазы, содержание которой составляет около 70 %. Интенсификация уплотнения сопровождается заметным ростом  $c/a$  TZ-3YSB-E, однако по мере увеличения выдержки разница уменьшается. Данный эффект