УДК 620.193.4

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ТИТАНОВОГО СПЛАВА, ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОМ СПЛАВЛЕНИИ ПРОВОЛОКИ ВТ6СВ

Цзэли Хань, Г.В. Лямина, Шуай Ли

Научный руководитель: профессор, д.т.н. В.А. Клименов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: hanzelizy@gmail.com

CORROSION RESISTANCE OF A TITANIUM ALLOY PROCESSED BY ELECTRON BEAM FUSION OF VT6SV WIRE

Zeli Han, G.V. Lyamina, Shuai Li

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.A. Klimenov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: hanzelizy@gmail.com

Abstract. *In the present study, the corrosion resistance of VT6sv obtained on an electron-beam additive manufacturing facility were studied. It is shown that the corrosion potentials and currents are comparable with the parameters obtained by other authors.*

Введение. Биомедицинские материалы изготавливаются из природных или искусственных материалов и часто используются в качестве имплантатов в организме человека для замены утраченных или больных биологических структур в организме человека [1]. С ростом проблем старения населения пожилые люди могут страдать от таких заболеваний, как, например, артрит, поэтому потребность в искусственных имплантатах для замены дисфункциональных твердых тканей значительно возрастает [2]. В связи с этим, в последние десятилетия все большее внимание уделяется биомедицинским материалам. В зависимости от конкретного применения они могут использоваться в различных частях тела человека. Использование биомедицинских искусственных имплантатов, вживляемых хирургическим путем для восстановления функции пораженных болезнью твердых тканей, является оптимальным решением для пациентов. Срок службы имплантата должен быть как можно дольше, чтобы уменьшить количество замен имплантатов. Так как среда организма является сильным электролитом [3], одной из ключевых характеристик имплантов является коррозионная устойчивость. Титановые сплавы обладают хорошей коррозионной стойкостью в большинстве сред, хорошей биосовместимостью, высокой прочностью, низким модулем упругости и меньшим удельным весом, чем нержавеющая сталь [1, 4, 5].

Целью данной работы является оценка коррозионной стойкости образцов титанового сплава ВТ6св, полученных по технологии 3D -печати, в биологическом растворе.

Экспериментальная часть. Образцы получены на лабораторной установке электронно-лучевого аддитивного производства, разработанной в ИФПМ СО РАН. Процесс формирования образца из сплава ВТ6св в виде проволоки диаметром 1,6 мм происходил в вакууме при давлении 10^{-3}–10^{-2} Па [6]. Химический состав исследуемых сплавов ВТ6св представлен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав титановых сплавов

Материал	**Ti**	**Al**	**V**	**Si**	**Fe**	**O**	**H**	**N**	**C**	Сумма прочих примесей
ВТ6св*	Основа	3,5-4,5	2,5–3,5	≤0,10	≤0,15	≤0,12	≤0,003	≤0,04	≤0,50	0,30

* ГОСТ 27265-87

Коррозионные диаграммы получали на потенциостате CorrTest CS310 с трехэлектродной ячейкой. В качестве электролита использовали раствор Рингера. В качестве рабочего электрода использовали образца из сплава ВТ6св в виде пластин (S = 2.5 см^2); в качестве вспомогательного электрода и электрода сравнения – насыщенные хлоридсеребряные электроды. Регистрацию поляризационных кривых проводили от -0.8 до 0,8 В, скорость развертки потенциала 10 мВ/с.

Результаты. Внешний вид образцов размером 110×8×60 мм^3 после печати представлен на рис. 1. После фрезерование они имеют шероховатость поверхности *Ra* примерно 3,2 мкм. Для дальнейших испытаний полировку и шлифовку образцов не применяли.

Рис. 1. Внешний вид образцов после печати

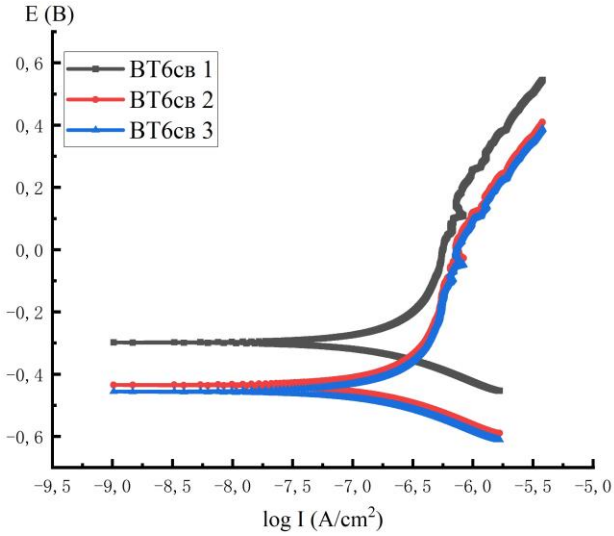

Рис. 2. Коррозионные диаграммы ВТ6св в растворе Рингера

На рис. 2 представлены вольтамперные кривые сплава, полученные для трех образцов. Видно, по значениям потенциалов, что между ними наблюдается разброс порядка 0,1 В. Это вполне допустимое значение для поверхностей без предварительной обработки. При этом тафелевский наклон для катодного процесса, отвечающего разрядке электролита, мало меняется для параллельных измерений и составляет 246, 259 и 230 мВ, соответственно.

Основные параметры коррозии, рассчитанные из коррозионных диаграмм, представлены в таблице 2.

Видно, что сплав демонстрирует малые токи коррозии в биологической среде. Однако для корректной оценки полученных материалов представляло интерес сравнить наши данные с результатами, полученными другими авторами. К тому же известно, что при замене традиционных технологий на 3D-печать коррозионная устойчивость материалов снижается. Для сравнения мы использовали данные для сплавов близких по химическому составу.

Таблица 2

Параметры коррозии ВТ6св в растворе Рингера и Ti6Al4V в растворе Хенкса

Образец	$I_{кор}$, мкА/см^2	$I_{кор\ ср}$, мкА/см^2	Скорость коррозии, мм/а	Средняя скорость коррозии, мм/а	-$E_{кор}$, мВ	-$E_{кор\ ср}$, мВ
ВТ6св 1	0,408	0,375±0,029	0,0084	0,00773±0,00058	298	369±67
ВТ6св 2	0,357		0,0074		377	
ВТ6св 3	0,360		0,0074		431	
Ti6Al4V [5]	-	0,434	0,0037	-	379	-
Ti6Al4V [7]	-	0,16	-	0,0013	-	-

Авторы работы [5] изучали сплав Ti6Al4V, полученный электронно-лучевой плавкой порошков, в солевом растворе Хенкса. Данный материал имеет немного большее значение тока коррозии и соизмеримы значения потенциалов коррозии. В работе [7] авторы получили значения токов коррозии ниже в два раза, хотя эти величины соизмеримы. Однако стоит отметить, что в нашем случае мы не применяли шлифовку и полировку поверхности, которая закономерно приводит к увеличению коррозионной устойчивости.

Заключение. В данной работе были изучены коррозионные свойства ВТ6св, полученные на установке электронно-лучевого аддитивного производства. Показано, что потенциалы и токи коррозии соизмеримы с параметрами, полученными другими авторами. Таким образом наши материалы имеют большие перспективы для дальнейшей разработки и применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abdel-Hady Gepreel M, Niinomi M. Biocompatibility of Ti-alloys for long-term implantation // Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials – 2013. –V. 20 – P. 407-415.
2. Navarro M, Michiardi A, Castaño O and Planell J.A Biomaterials in orthopaedics // Journal of the Royal Society Interface. – 2008. – P. 51137-1158.
3. Матчин А.А., Клевцов Г.В., Валиев Р.З., Семенова И.П., Клевцова Н.А., Кашапов М.Р. Классен Н.А., Михайлова. И.А. Наноструктурированные титановые материалы для стоматологии и челюстно-лицевой хирургии // Оренбургский медицинский вестник. – 2013. – Т. 1., №3. – С.29-32.
4. Zhang L., Chen L. A Review on Biomedical Titanium Alloys: Recent Progress and Prospect // Advanced Engineering Materials. – 2019. – Vol. 21, No.4. – P. 1801215.
5. Almanza E., Pérez M.J., Rodríguez N.A., Murr L.E. Corrosion resistance of Ti-6Al-4V and ASTM F75 alloys processed by electron beam melting // Journal of Materials Research and Technology. – 2017. – Vol. 6., No.3. – P. 251-257.
6. Клименов В.А., Колубаев У.А., Клопотов А.А., Чумаевский А.В., Рубцов В.В., Хань Ц., Батранин А.А., Стрелкова И.Л., Химич М.А., Никонов С.Ю. Применение методов физико-механических исследований и методов неразрушающего контроля при разработке аддитивных технологий с использованием титановых сплавов // Физическая мезомеханика материалов. Физические принципы формирования многоуровневой структуры и механизмы нелинейного поведения: Тез. докл. Междунар. конф. – Томск, 2022. – С. 430-431.
7. Choubey A., Basu B., Balasubramaniam R. Electrochemical behavior of intermetallic Ti3Al-based alloys in simulated human body fluid environment // Intermetallics. – 2004. – Vol. 12., No.6. – P. 679-682.