

Список литературы

1. Bischoff R., Prassler E., Huggenberger U. KUKA youBot – A Mobile Manipulator for Research and Education // Proc. of the IEEE International Conference on Robotic and Automation. – 2011.
2. Adamov B. I, Saipulaev G. R. Research on the Dynamics of an Omnidirectional Platform Taking into Account Real Design of Mecanum Wheels (as Exemplified by KUKA youBot) // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. – 2020. – Vol. 16. – N. 2. – P. 291–307. – DOI: /10.20537/nd200205
3. Kalasariya M., Patel V., Thakkar A. Comparative Study of Iterative Inverse Kinematics Methods for Serial Manipulator // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2018. – Vol 7. – P. 1-5.
4. Di Napoli G., Filippeschi A., Tanzini M., Avizzano C.A. A novel control strategy for youBot arm // ECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. – 2016. – P. 482-487.
5. Sharma S., Kraetzchmar G. K., Scheurer C., Bischoff R. Unified Closed Form Inverse Kinematics for the KUKA youBot// ROBOTIK 2012; 7th German Conference on Robotics. – 2012. – P. 1-6.

Пань Мэнхуа (Китай), Чжан Цинжун (Китай), Ли Хаонань (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Клименов Василий Александрович, д. т. н, профессор

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ СПЛАВА Cu-13Al-3Fe С ГРАДИЕНТНОЙ СТРУКТУРОЙ В РАСТВОРЕ 3,5 % NaCl

Аннотация: В данной работе рассмотрена коррозионная стойкость сплава Cu-13Al-3Fe с градиентной структурой в растворе 3,5 % NaCl. Описан метод потери веса и метод потенциодинамической поляризационной кривой для проверки коррозионной стойкости сплавов. Результаты, полученные двумя методами, были согласованы. Сделан вывод о том, что коррозионная стойкость сплава, полученного методом электронно-лучевой плавки, обусловлена пассивирующей пленкой, образующейся на его поверхности.

Ключевые слова: коррозионная стойкость, 3,5 % NaCl, сплав Cu-13Al-3Fe, градиентная структура.

Введение

Сплавы на основе Cu-Al привлекают большое внимание исследователей, так как отличаются хорошей электропроводностью, теплопроводностью и коррозионной стойкостью. В частности, сплавы Cu-13Al-3Fe продемонстрировали

большой потенциал применения в аэрокосмической, судостроительной и других областях благодаря своему уникальному фазовому составу и превосходным механическим свойствам [1]. Однако традиционные процессы литья могут привести к сегрегации компонентов сплава и укрупнению зерен, тем самым усугубить локальную коррозию. Электронно-лучевая плавка (ЭЛП) – это технология обработки высокоэнергетическим лучом, которая позволяет добиться быстрого плавления и гомогенизации микроструктуры, а также, как ожидается, повысить коррозионную стойкость сплавов [2].

Проблема коррозионной стойкости сплава в хлоридсодержащих средах является одной из ключевых. 3,5 % раствор NaCl часто используется в качестве среды для моделирования содержащих хлор агрессивных сред, таких как океан. В настоящее время исследования коррозионного поведения сплава Cu-13Al-3Fe в среде хлорида натрия, все еще недостаточны. В данной работе анализируется коррозионная стойкость сплава Cu-13Al-3Fe с помощью электрохимических испытаний.

Основная часть

Ранее нами было изучено печное сплавление компонентов смеси в виде лигатуры [3], в данной работе рассматривались порошковые материалы. В качестве сырья использовались металлические порошки Cu, Al и Fe чистотой 99,9 %. В процессе электронно-лучевой плавки смешанный порошок Cu-13Al-3Fe (по масс. %) загружается в тигель и расплавляется в вакууме на электронно-лучевой установке (ООО «НПК ТЭТА» 6E250) с током луча 88 мА. После охлаждения снова засыпаются металлические порошки для следующего нагрева и плавления. Этот процесс повторяется несколько раз, и получается слиток сплава с градиентной структурой.

Перед экспериментом рабочая поверхность коррозионного образца была отполирована до 1200# металлографической наждачной бумагой, а после высыхания были измерены его площадь и масса. В коррозионном эксперименте использовался метод статического погружения. Коррозионной средой служил раствор 3,5 % NaCl, приготовленный с использованием дистиллированной воды в качестве растворителя. Температура эксперимента составляла 20 °C, а продолжительность эксперимента – 56 дней. Образцы взвешивались каждые 7 дней, а экспериментальные данные представляли собой среднее значение результатов трех образцов. Поляризационные кривые сплава в 3,5 % NaCl (масс. %) снимали с помощью электрохимической рабочей станции (потенциостат/гальваностат CS310, CorrTest Instruments, Chinese). Вспомогательным электродом служил платиновый электродный диск, электродом сравнения – насыщенный хлорид серебра, сканирующий потенциал составлял -0,3 – 0,3 В, скорость сканирования – 10 мВ/с.

На рисунке 1 представлена потенциодинамическая поляризационная кривая сплава Cu-13Al-3Fe в растворе 3,5 % NaCl. Из рисунка 1 видно, что общие

формы поляризационных кривых верхней и нижней частей сплава не сильно отличаются, но обе имеют явные зоны пассивации, что свидетельствует о возможности образования на поверхности сплава пассивирующей пленки, препятствующей дальнейшему развитию коррозии.

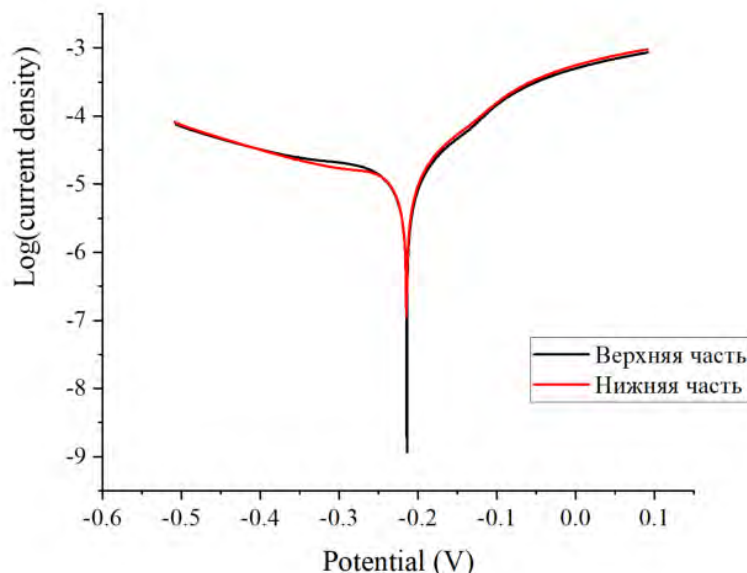


Рис. 1. Потенциодинамические поляризационные кривые верхней и нижней частей сплава Cu-13Al-3Fe в растворе 3,5 % NaCl

Потенциал самокоррозии E_0 и плотность тока коррозии i_0 сплава в агрессивной среде можно получить из поляризационной кривой, скорость коррозии сплава можно рассчитать по формуле 1, результаты приведены в таблице 1.

$$\mu \left(\frac{\text{mm}}{\text{a}} \right) = \frac{I_{\text{corr}} \times E_q \times 10 \times 365 \times 24 \times 3600}{\rho \times F}, \quad (1)$$

где

- μ – скорость коррозии, mm/a;
- I_{corr} – коррозионный ток, A/cm²;
- E_q – химический эквивалент, g/mol;
- ρ – плотность образца, g/cm³;
- F – постоянная Фарадея, C/mol.

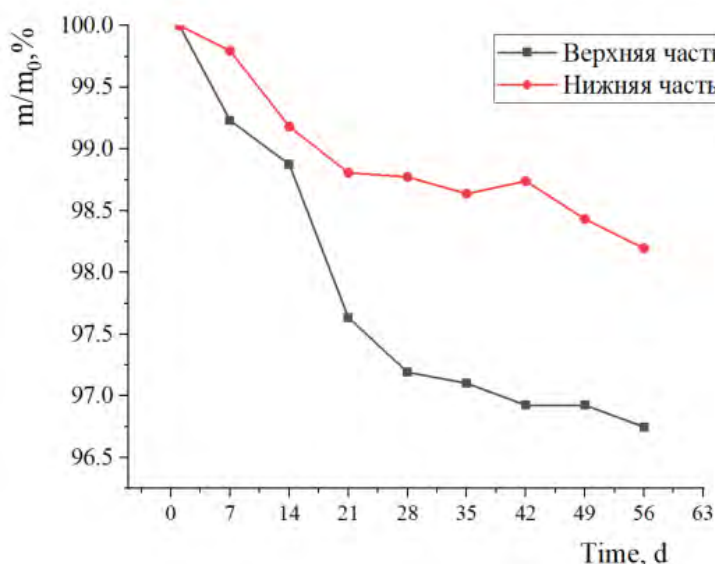
Таблица 1

*Подгоночные параметры верхней и нижней частей сплава Cu-13Al-3Fe
в растворе 3,5 % NaCl*

Подгоночные параметры Части сплава	Потенциал анодной реакции ba , mV	Потенциал катодной реакции bc , mV	Плотность тока кор- розии i_0 , A/cm ²	Потенциал коррозии E_0 , mV	Скорость коррозии $\mu_{\text{corr.}}$, mm/a
Верхняя часть	506,5	7018,9	0,00008	-215,69	0,89915
Нижняя часть	309,1	10989,4	0,00003	-214,50	0,36463

В таблице 1 показано, что потенциалы самокоррозии различных частей очень близки и выше, чем у традиционных литых сплавов алюминиевой бронзы [4], потенциал коррозии отражает трудность или легкость возникновения коррозии, это указывает на то, что время, когда каждая часть сплава Cu-13Al-3Fe начинает корродировать, близко. Чем больше плотность тока коррозии, тем выше скорость коррозии, которая отражает общую активность электрохимической реакции. Скорость коррозии верхней части сплава (0,8992 мм/год) значительно больше, чем нижней части (0,3646 мм/год).

На рисунке 2 показана скорость потери веса различных частей сплава Cu-13Al-3Fe в растворе 3,5 % NaCl при 20 °C, которая представляет собой величину потери из-за коррозии за тот же период времени. Из рисунка 2 видно, что скорость коррозии верхней части сплава значительно выше, чем нижней, что согласуется с результатами потенциодинамической поляризационной кривой.



*Рис. 2. Кривая потери веса верхней и нижней частей сплава Cu-13Al-3Fe
в растворе 3,5 % NaCl при 20 °C*

Заключение

Сплав Cu-13Al-3Fe, полученный методом электронно-лучевой плавки, обладает определенной коррозионной стойкостью в 3,5 % растворе NaCl, причем его коррозионная стойкость в основном обусловлена пассивирующей пленкой, образующейся на его поверхности. Однако на поверхности сплава все еще сохраняется определенная степень коррозии, и будущие исследования могут помочь дополнительно оптимизировать состав сплава и процесс его приготовления для повышения его коррозионной стойкости в хлорсодержащих средах.

Список литературы

1. Yu H., Dong S., Huang G. Corrosion behavior of Al-Bronze in 3,5 % NaCl solution / // Journal of Chinese Society for Corrosion and protection. – 2003. – Vol. 23. – P. 345–349.
2. Bai Y., Gai X., Li S., et al Improved corrosion behaviour of electron beam melted Ti-6Al-4V alloy in phosphate buffered saline // Corrosion Science. – 2017. – № 123. – P. 289–296.
3. Пань М., Клопотов А.А., Утьев О.М., Моторин М.П. и др. Изготовление сплавов с памятью формы Cu-Al-Fe методом традиционного сплавления и литья и методом электронно-лучевой плавки // Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии: тезисы докладов Международной конференции. – Томск, 2024. – С. 512–514.
4. Yan G., Dai A., Niu W., Chen H., Zhu K. Corrosion resistance of novel high Al-bronze alloy Cu-12Al-X in NaCl solution // Special Casting & Nonferrous Alloys. – 2014. – Vol. 34. – P. 416–419.

Сунь Чан (Китай), Брылев О.А. (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Филипас А. А., ИШИТР, кандидат технических наук, доцент

НАВИГАЦИЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ

Аннотация

В данном исследовании для решения проблемы проскальзывания колесных мобильных роботов в сложной наземной среде предлагается метод обнаружения и компенсации проскальзывания в реальном времени на основе мониторинга тока двигателя. Посредством создания линейной модели коэффициента тока-