

КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ СТРУКТУРЫ И МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ СПЛАВА МОНЕЛЬ 400 ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОННЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ХОЛИН ХЛОРИДА

¹Демиденко О.Ф., ¹Живулько А.М., ¹Янушкевич К.И., ²Попеску А.М.,
²Константин В., ²Неаксу Е.И., ²Донат К.

¹ ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», г. Минск, Республика Беларусь,
demiden@physics.by

² Академия наук Румынии, "Ilie Murgulescu" Институт физической химии,
г. Бухарест, Румыния

Введение

Ионные жидкости востребованы в электрохимических процессах «зеленой химии» и энергозависимых технологиях [1-3]. Для производства важно, что у многих из них низкое давление насыщенных паров. Есть у ионных жидкостей и другие полезные свойства: негорючесть, низкая токсичность, высокая ионная проводимость [4]. Экономическую выгоду процессов с их участием увеличивает возможное неоднократное использование. Однако, как и большинство химических веществ, при контакте с материалом ионные жидкости усиливают коррозионные процессы. Актуальна проблема хранения этих веществ при переработке и утилизации. Существует достаточно много исследований коррозионной стойкости чистых металлов, таких как медь и никель в различного рода ионных жидкостях [5–9]. Медно-никелевый сплав Монель 400, благодаря высокой прочности, хорошей пластичности и легкости обработки является более привлекательным для широкого спектра применений, чем любой из чистых металлов. В химической и перерабатывающей промышленности сплав используется в судостроении, при прокладке трубопроводов, производстве фильтров и клапанов. В настоящей работе приводятся результаты изучения коррозионных характеристик, кристаллической структуры и магнитных свойств сплава Монель 400 после воздействия ионных жидкостей, в частности, растворов на основе холин-хлорида.

Методы эксперимента

Исследования коррозионной стойкости сплава Монель 400 выполнены при температуре 80°C потенциодинамическим методом в стандартной трехэлектродной ячейке. Поляризационные тесты проведены с использованием эвтектических растворов холин-хлорида со щавелевой кислотой (ChCl – АОх) в соотношении (1 : 0,5)М и с малоновой кислотой (ChCl – АМ) в соотношении (1 : 2)М (ChCl = C₅H₁₄ONCl, АОх = H₂C₂O₄, АМ = H₄C₃O₄) с помощью потенциостата Princeton Applied Research модель PARSTAT 2273 с программным обеспечением «Power Corr». Детали эксперимента подробно описаны в работе [10].

Изучение кристаллической структуры выполнено в CuK_α-излучении с помощью модифицированного дифрактометра ДРОН при комнатной температуре. Температурные зависимости удельной намагниченности изучены в диапазоне температур 77 – 1100 К пондеромоторным методом в магнитном поле с индукцией B = 0,86 Тл.

Результаты эксперимента

На рисунке 1 представлены рентгенограммы сплава Монель 400 до и после коррозионного воздействия растворов на основе холин-хлорида. Рефлексы дифрактограммы проиндексированы на основе структуры пространственной группы типа Fm3m. Параметр кристаллической ячейки *a* исходного образца составляет 0,3566 нм. Установлено, что воздействие растворов ChCl – АОх (1 : 0,5)М и ChCl – АМ (1 : 2)М на сплав не приводит к проявлению новых дифракционных рефлексов, а следовательно не происходит изменения кристаллической структуры образцов. Результаты рентгенографических исследований позволяют говорить о высокой коррозионной стойкости кристаллической структуры исследованных образцов к окислительным процессам при температурах до 80°C. Параметры ячейки сплава до и после воздействия растворами на основе холин-хлорида представлены в таблице 1.

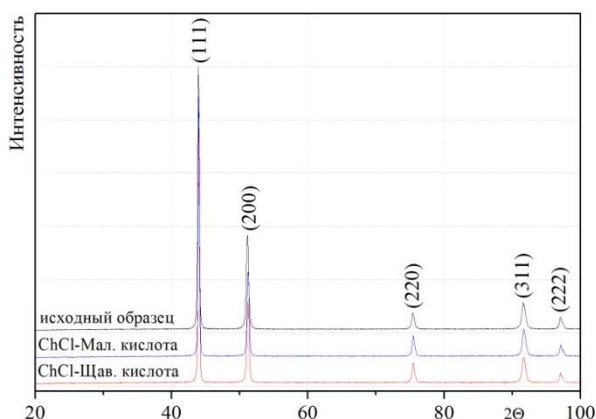


Рисунок 1 - Дифрактограммы сплава Монель 400 до и после воздействия ионных жидкостей на основе холин-хлорида

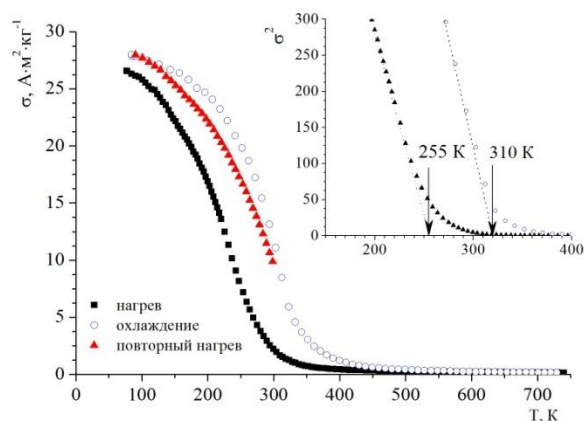


Рисунок 2 - Температурная зависимость удельной намагниченности некорродированного Монель 400

Из зависимости рисунка 2 следует, что сплав Монель 400 обладает величиной удельной намагниченности (26 – 28) $A \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$ при температуре жидкого азота. Вблизи комнатных температур величина удельной намагниченности меньше практически на порядок – (2,5 – 3,0) $A \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$. Прогрев сплава Монель 400 до температуры ~ 800 K приводит к смещению температуры магнитного фазового превращения «магнитный порядок – магнитный беспорядок» (Температуры Кюри, T_C) почти на полсотни градусов. Это может свидетельствовать об изменениях обменных магнитных взаимодействий вследствие отжига образца.

На рисунке 3 представлены температурные зависимости удельной намагниченности Монель 400 до и после коррозионного воздействия ионных жидкостей $ChCl - AOx$ и $ChCl - AM$. Из зависимостей рис. 3 можно сделать вывод, что используемые ионные жидкости не имеют значительного коррозионного влияния на величину удельной намагниченности сплава. Основные магнитные параметры зависимостей $\sigma = f(T)$ представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Параметры кристаллической ячейки и магнитные характеристики сплава Монель 400 до и после воздействия растворами на основе холин-хлорида

Образец	a, нм	$\sigma_{77}, A \cdot m^2 \cdot kg^{-1}$	T_C, K
Исходный	0,3566	26.5	255
Корродированный в растворе $ChCl - AOx$	0,3565	26	265
Корродированный в растворе $ChCl - AM$	0,3565	21.7	260

На рис. 4 представлена поляризационная кривая Тафеля, на основе которой рассчитаны электрохимические параметры коррозии сплава Монель 400. Проницаемость коррозии R_{corr} в растворах $ChCl - AM (1 : 2)M$ и $ChCl - AM (1 : 2)M$ составляет около 4 мкм/год.

Проведенные исследования показали, что сплав Монель 400 имеет высокую коррозионную стойкость структуры и магнитных характеристик в условиях длительного контакта при температуре 80°C с растворами ионных жидкостей на основе холин хлорида.

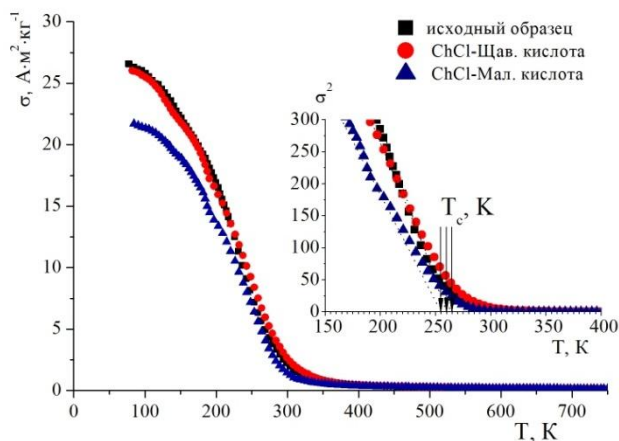


Рисунок 3 - Температурные зависимости удельной намагниченности Монель 400 до и после коррозионного воздействия ионных жидкостей.

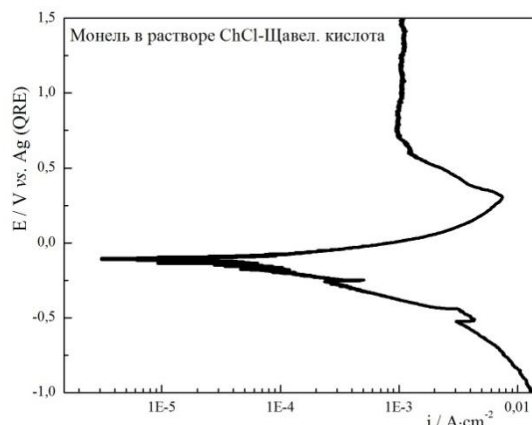


Рисунок 4 - Поляризационная кривая Тафеля воздействия раствора ChCl – AM (1 : 2)M сплава Монель 400.

Работа выполнена в рамках Международной программы «Электродные процессы, материалы для электрохимических процессов и коррозии», а также при финансовой поддержке ФФИ Республики Беларусь и Академии наук Республики Румыния (проект №Ф18РА – 002). Авторы в равной степени внесли свой вклад в эту работу.

Список литературы

1. Plechkova, N.V. Applications of ionic liquids in the chemical industry / N.V. Plechkova and K.R. Seddon // Chem. Soc. Rev. – 2008. – Vol. 37. – P.123-150.
2. Olivier-Bourbigou, H. Ionic liquids and catalysis: Recent progress from knowledge to applications / H.Olivier-Bourbigou, L.Magna, D.Morvan // Applied Catalysis A: General. – 2010. – Vol. 373, No 1–2. – P. 1-56.
3. Energy applications of ionic liquids / D.R. MacFarlane, N. Tachikawa, M. Forsyth [et al.] // Energy Environ. Sci. –2014 – Vol. 7. – P. 232-250.
4. Кустов, Л.М. Ионные жидкости – прорыв в новое измерение / Л.М. Кустов // Химия и жизнь. – 2007. – № 11. – С. 36-41.
5. Verma, C. Ionic liquids as green and sustainable corrosion inhibitors for metals and alloys: An overview / C. Verma, E.E. Ebenso, M.A. Quraishi // Journal of Molecular Liquids. – 2017. – Vol. 233. – P. 403-414
6. Corrosion characteristics of nickel, copper, and stainless steel in a Lewis neutral chloroaluminate ionic liquid / L. Pei-Chiung, S. I-Wen, C. Jeng-Kuei , Chung-Jui Su [et al.] // Corrosion Science. – 2011. – Vol. 53, No 12. – P. 418-432.
7. Zhang, Q. Corrosion Properties of Copper, Nickel, and Titanium in Alkylimidazolium Chloroaluminate Based Ionic Liquids / Q. Zhang, Y. Hua, Z. Zhou // Int. J. Electrochem. Sci. – 2013. – Vol. 8. – P. 10239 – 10249.
8. Wang, Yi-Chen. Corrosion properties of metals in dicyanamide-based ionic liquids / Yi-Chen Wang, Tai-Chou Lee, Jheng-Yi Lin Jeng-Kuei [et al.] // Corrosion Science. – 2014. – Vol. 78. – P. 81-88.
9. Дьяченко, А.Н. Коррозионная стойкость металлов и сплавов в системе фторсолей / А.Н. Дьяченко, Р.И. Крайденко, Е.И. Курченко // Вестник ПНИПУ: Машиностроение, материаловедение. – 2017. – Т.19, № 4. – С.75-88.
10. Corrosion Behavior of Some Steels in Ionic Liquids Based on Choline Chloride / E.I. Neacsu, V. Constantin, C. Donath [et al.] // Revue Roumaine de Chimie (Bucharest). – 2018. – V.69, No. 10. – P. 2642-2647.