



УДК 669.017:620.193.4

DOI 10.17073/0368-0797-2023-5-594-596



Краткое сообщение

Short report

ОБ ОГРАНИЧЕННОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ Al_2O_3 и Al-Zn для защиты от коррозии В КАМЕРЕ СОЛЯНОГО ТУМАНА СПЛАВОВ Gd Tb Dy Ho Sc и Gd Tb Dy Ho Y

Б. Р. Гельчинский¹, Н. И. Ильиных^{1, 2}, Е. В. Игнатьева¹¹ Институт металлургии Уральского отделения РАН (Россия, 620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 101)² Южно-Уральский государственный университет (Россия, 454080, Челябинск, пр. Ленина, 76)

✉ ninail@bk.ru

Аннотация. В настоящее время особый интерес представляют высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) с гексагональной плотноупакованной структурой, состоящие из редкоземельных (РЗМ) элементов. В работе проведено исследование возможности Al_2O_3 и Al:Zn (1:1) играть роль защитных покрытий для ВЭС РЗМ Gd Tb Dy Ho Sc и Gd Tb Dy Ho Y . Образцы ВЭС РЗМ синтезированы из металлов чистотой $\geq 99,9\%$ расплавлением в электродуговой печи в атмосфере Ar (99,99 %). Покрытия на образцы наносились методом сверхзвукового плазменного напыления. Коррозионную стойкость определяли в камере соляного тумана в течение 48 ч. Установлено, что для всех исследованных образцов коррозионное воздействие в условиях соляного тумана приводит к деградации основного материала сплава. Образцы с покрытием Al:Zn (1:1) в условиях соляного тумана показывают меньшую стойкость, чем образцы с покрытием из Al_2O_3 вследствие имеющего место химического взаимодействия между алюминием и раствором хлорида натрия.

Ключевые слова: коррозия, защитные покрытия, коррозионная стойкость, ограничение применения, ВЭС, РЗМ

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 21-43-00015) с использованием оборудования ЦКП «Урал-М».

Для цитирования: Гельчинский Б.Р., Ильиных Н.И., Игнатьева Е.В. Об ограниченной возможности использования Al_2O_3 и Al-Zn для защиты от коррозии в камере соляного тумана сплавов Gd Tb Dy Ho Sc и Gd Tb Dy Ho Y . *Известия вузов. Черная металлургия*. 2023;66(5): 594–596. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-5-594-596>

ON LIMITED POSSIBILITY OF USING Al_2O_3 AND Al-Zn FOR CORROSION PROTECTION OF Gd Tb Dy Ho Sc AND Gd Tb Dy Ho Y ALLOYS IN A SALT MIST CHAMBER

B. R. Gel'chinskii¹, N. I. Il'inykh^{1, 2}, E. V. Ignat'eva¹¹ Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (101 Amundsena Str., Yekaterinburg 620016, Russian Federation)² South Ural State University (76 Lenina Ave., Chelyabinsk 454080, Russian Federation)

✉ ninail@bk.ru

Abstract. Nowadays high-entropy alloys (HEAs) with a hexagonal close packed structure consisting of rare-earth metals (REM) are of particular interest. In this work, we investigated the possibility of using Al_2O_3 and Al:Zn (1:1) as a protective coatings for REM HEAs Gd Tb Dy Ho Sc and Gd Tb Dy Ho Y . The REM HEAs samples were synthesized from metals of purity $\geq 99,9\%$ by melting in an electric arc furnace under Ar atmosphere (99,99 %). The samples were coated by supersonic plasma spraying. Corrosion resistance was determined in a salt mist chamber for 48 h. It was found that for all studied samples corrosive effect in conditions of salt mist leads to degradation of the base material of the alloy. Samples coated with Al:Zn (1:1) under salt mist conditions showed less resistance than samples coated with Al_2O_3 due to the chemical interaction between aluminum and sodium chloride solution.

Keywords: corrosion, protective coatings, corrosion resistance, limitation of use, high-entropy alloy (HEA), rare-earth metal (REM)

Acknowledgements: The work was supported by the Russian Science Foundation (grant No. 21-43-00015) using the equipment of the Center for Collective Use “Ural-M”.

For citation: Gel'chinskii B.R., Il'inykh N.I., Ignat'eva E.V. On limited possibility of using Al_2O_3 and Al-Zn for corrosion protection of Gd Tb Dy Ho Sc and Gd Tb Dy Ho Y alloys in a salt mist chamber. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2023;66(5):594–596. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-5-594-596>

Предположение о возможности образования высокоэнтропийных сплавов (ВЭС) с гексагональной плотноупакованной (ГПУ) структурой, состоящих из редкоземельных (РЗМ) элементов, впервые высказано в работе [1]. На основе этого предположения японские ученые [2] впервые разработали и изготовили эквивалентные сплавы YGd Tb Dy Lu и Gd Tb Dy Tm Lu с однофазной ГПУ структурой. Позднее методом дуговой плавки получены ВЭС Ho Dy YGd Tb [3]. Показано, что эти сплавы также имеют структуру ГПУ, материал является однородным макроскопически и микроскопически, не наблюдается никаких особенностей, связанных с изменением состава, выделением вторичных фаз, образованием дендритов и др. Дополнительные исследования подтвердили ГПУ структуру данного сплава [4]. Авторами работы [5] были успешно изготовлены несколько чистых сплавов ГПУ РЗМ без какой-либо второй фазы, изучены их механические свойства и роль упрочняющего эффекта твердого раствора.

Редкоземельные металлы имеют близкие атомные размеры и кристаллическую структуру и могут образовывать гомогенные твердые растворы. Несмотря на широкий интерес, проявляемый научной общественностью к сплавам ВЭС РЗМ, на сегодняшний день они являются практически неизученными материалами. Предполагается, что комбинация магнитных РЗМ и немагнитных элементов (иттрий или скандий) с различными атомными радиусами позволит сформировать кристаллическую структуру материалов с разной плотностью дефектов, что даст возможность должным образом проследить роль размерного фактора в структурообразовании РЗМ ВЭС и их функциональные характеристики.

Эти сплавы обладают высокой химической активностью и требуют либо особой рабочей среды, либо дополнительной защиты поверхности от химической, а в особых случаях и электрохимической коррозии.

В настоящей работе проведено исследование возможности использования Al_2O_3 и Al:Zn (1:1) в качестве защитных покрытий для ВЭС РЗМ Gd Tb Dy Ho Sc и Gd Tb Dy Ho Y. Образцы синтезированы из металлов чистотой $\geq 99,9\%$ путем расплавления в дуговой печи Centorr Vacuum и Industries 5SA в атмосфере Ar (99,99 %) [6]. Покрытия на образцы наносились методом сверхзвукового плазменного напыления [7]. Испытания на коррозионную стойкость проводились в камере соляного тумана Q-FOG, SSP60 в течение 48 ч.

Выводы

Установлено, что для всех исследованных образцов коррозионное воздействие в условиях соляного тумана приводит к деградации основного материала сплава. Показано, что образцы с покрытием Al_2O_3 в условиях соляного тумана разрушаются по механизму локальной активации поверхности, появляется питтинговая коррозия и при этом сохраняется значительная доля покрытия на основном материале. Это обусловлено взаимодействием Al_2O_3 с раствором NaCl, что допускает использование данного покрытия для защиты сплава РЗМ в условиях соляного тумана в течение короткого времени. Образцы с покрытием Al:Zn (1:1) в условиях соляного тумана показывают меньшую стойкость, чем образцы с покрытием Al_2O_3 вследствие имеющего место химического взаимодействия между алюминием и раствором хлорида натрия и большой разницы стандартных электродных потенциалов компонентов системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Zhang Y., Zuo T.T., Tang Z., Gao M.C., Dahmen K.A., Liaw P.K., Lu Z.P. Microstructures and properties of high-entropy alloys. *Progress in Materials Science*. 2014;61:1–93. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.10.001>
 2. Takeuchi K., Amiya T., Wada K., Yubuta W., Zhang W. High-entropy alloys with a hexagonal close-packed structure designed by equi-atomic alloy strategy and binary phase diagrams. *JOM*. 2014;66:1984–1992. <https://doi.org/10.1007/s11837-014-1085-x>
 3. Feuerbacher M., Heidelmann M., Thomas C. Hexagonal high-entropy alloys. *Materials Research Letters*. 2014;3(1):1–6. <https://doi.org/10.1080/21663831.2014.951493>
 4. Lužnik J., Koželj P., Vrtnik S., Jelen A., Jagličić Z., Meden A., Feuerbacher M., Dolinšek J. Complex magnetism of Ho-Dy-Y-Gd-Tb hexagonal high-entropy alloy. *Physical Review B*. 2015;92:224201. <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.92.224201>
 5. Zhao Y.J., Qiao J.W., Ma S.G., Gao M.C., Yang H.J., Chen M.W., Zhang Y. A hexagonal close-packed high-entropy alloy: The effect of entropy. *Materials & Design*. 2016;96:10–15. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.01.149>
 6. Упоров С.А., Эстемирова С.Х., Стерхов Е.В., Зайцева П.В., Скрыльник М.Ю., Шуняев К.Ю., Ремпель А.А. Особенности кристаллизации, структуры и термической стабильности высокоэнтропийных сплавов Gd Tb Dy Ho Sc и Gd Tb Dy Ho Y. *Расплавы*. 2022;(5):443–453.
- Uporov S.A., Ehtemirova S.Kh., Sterkhov E.V., Zaitseva P.V., Skryl'nik M.Yu., Shunyaev K.Yu., Rempel' A.A. Features of crystallization, structure, and thermal stability of

high-entropy GdTbDyHoSc and GdTbDyHoY alloys. *Rasplavy*. 2022;(5):443–453.

7. Il'nykh S.A., Sarsadskii K.I., Chusov S.A., Korolev O.A., Achmetshin S.M., Krashanin V.A. The study of pow-

der coatings based on Al and Ni, obtained by supersonic plasma spraying. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1281:012027.

<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1281/1/012027>

Сведения об авторах

Information about the Authors

Борис Рафаилович Гельчинский, д.ф.-м.н., профессор, руководитель научного отдела, Институт металлургии Уральского отделения РАН

ORCID: 0000-0001-5964-5477

E-mail: brg47@list.ru

Нина Иосифовна Ильиных, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник, Институт металлургии Уральского отделения РАН; старший научный сотрудник, Южно-Уральский государственный университет

ORCID: 0000-0003-3357-0133

E-mail: ninail@bk.ru

Елена Викторовна Игнатьева, научный сотрудник, Институт металлургии Уральского отделения РАН

ORCID: 0000-0003-4406-3380

E-mail: l.ig_a@mail.ru

Boris R. Gel'chinskii, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Head of the Science Department, Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

ORCID: 0000-0001-5964-5477

E-mail: brg47@list.ru

Nina I. Il'nykh, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher, Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; Senior Researcher, South Ural State University

ORCID: 0000-0003-3357-0133

E-mail: ninail@bk.ru

Elena V. Ignat'eva, Research Associate, Institute of Metallurgy, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

ORCID: 0000-0003-4406-3380

E-mail: l.ig_a@mail.ru

Вклад авторов

Contribution of the Authors

Б. Р. Гельчинский – формирование концепции работы, обсуждение результатов, редактирование текста.

Н. И. Ильиных – поиск и анализ литературных данных, исследование свойств материалов, обсуждение результатов, написание и редактирование текста.

Е. В. Игнатьева – исследование свойств материалов, обсуждение результатов.

B. R. Gel'chinskii – conceptualization of the work, discussion of the results, editing the text.

N. I. Il'nykh – finding and analyzing of literary data, discussion of the results, writing and editing the text.

E. V. Ignat'eva – investigation of the materials' properties, discussion of the results.

Поступила в редакцию 22.09.2023

После доработки 26.09.2023

Принята к публикации 04.10.2023

Received 22.09.2023

Revised 26.09.2023

Accepted 04.10.2023