

УДК: 620.143

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ СПЛАВА  
29НК В РАСПЛАВЕ LiCl–KCl ПРИ 500 °С В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ СОДЕРЖАНИЯ Li<sub>2</sub>O И LiOH ОТ 0 ДО 2 МОЛ. %**

© 2024 г. К. Е. Селиверстов<sup>1</sup>, Е. В. Никитина<sup>1</sup>\*, Э. А. Карфидов<sup>1</sup>,  
А. А. Филатов<sup>1</sup>, А. Е. Дедюхин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

\*e-mail: neekeetina@mail.ru

Поступила в редакцию 21.03.2024

После исправления 15.04.2024

Принята к публикации 26.04.2024

Расплавленные хлоридные солевые электролиты обладают рядом свойств, которые делают их перспективными для использования в качестве рабочей среды для реализации высокотемпературных технологий. Хлориды щелочных металлов являются агрессивной средой по отношению к конструкционным материалам. Одним из возможных методов снижения коррозионных потерь конструкционного материала является метод кислородной пассивации поверхности металла или сплава путем введения в расплав определенного количества кислородосодержащих добавок. В статье рассмотрено влияние кислородсодержащих примесей (оксида лития и гидроксида лития) на коррозионное поведение металлического материала — сплава состава железо – кобальт – никель. Для оценки коррозионной стойкости материалов были использованы: гравиметрический анализ, микрорентгеноспектральный анализ (МРСА) поверхности и шлифов поперечного сечения и рентгенофазовый анализ (РФА) поверхности образцов. Представлены зависимости скорости коррозии материала от концентрации кислородосодержащих добавок Li<sub>2</sub>O и LiOH. По совокупности данных гравиметрического анализа, МРСА и РФА установлено, что образцы сплава 29НК в солевом расплаве LiCl–KCl–nLi<sub>2</sub>O мало подвержены коррозии, но в расплаве LiCl–KCl–nLiOH скорость сплава 29НК значительно возрастает за счет взаимодействия добавки LiOH с наиболее электроотрицательным компонентом сплава — железом.

*Ключевые слова:* коррозия, сплав 29НК, хлоридный расплав, LiCl–KCl, кислородосодержащие примеси.

DOI: 10.31857/S0235010624040056

## ВВЕДЕНИЕ

Солевые расплавы – перспективные технологические среды для создания технологии переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) с малым временем выдержки. Расплавленные соли практически не подвергаются

радиолизу, и при их использовании выдержка ОЯТ до переработки может быть сокращена примерно до одного года [1].

Пиromеталлургические и высокотемпературные электрохимические технологии обладают такими преимуществами, как простота технологических схем, компактность установок, минимизация и компактность радиоактивных отходов, пожаро- и взрывобезопасность [2–7]. Однако главным недостатком галогенидных расплавов является их высокая агрессивность по отношению к конструкционным материалам, что вызывает потребность в поиске и разработке способов снижения коррозионных потерь для металлических материалов именно в расплавленных солях.

На коррозионные процессы в расплавах значительное влияние оказывают примеси, содержащиеся в исходном солевом сырье или образующиеся в процессе плавления и функционирования расплава (продукты высокотемпературного гидролиза и др.), а также искусственно вводимые добавки веществ различной химической природы [8–12].

Сплавы на основе никеля являются наиболее перспективными в качестве конструкционных материалов в реакторостроении. По мнению большинства исследователей, сплавы, легированные хромом, подвержены значительной коррозии за счет избирательного растворения хрома, как более электроотрицательного металла [9–13].

Таким образом, целесообразно оценить влияние кислородсодержащих примесей (оксида лития и гидроксида лития) на коррозионное поведение никелевого сплава состава железо – кобальт – никель, не имеющего в своем составе хрома.

## МЕТОДИКА

### *Подготовка и анализ исследуемых образцов сплава 29НК*

В работе в качестве исследуемого материала использовали сплав 29НК. Его состав, согласно ГОСТ 10994-74 [13–16], представлен в табл. 1.

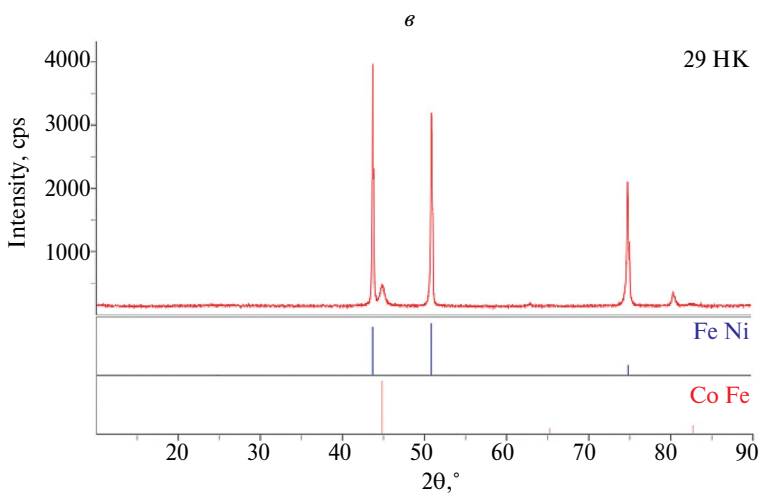
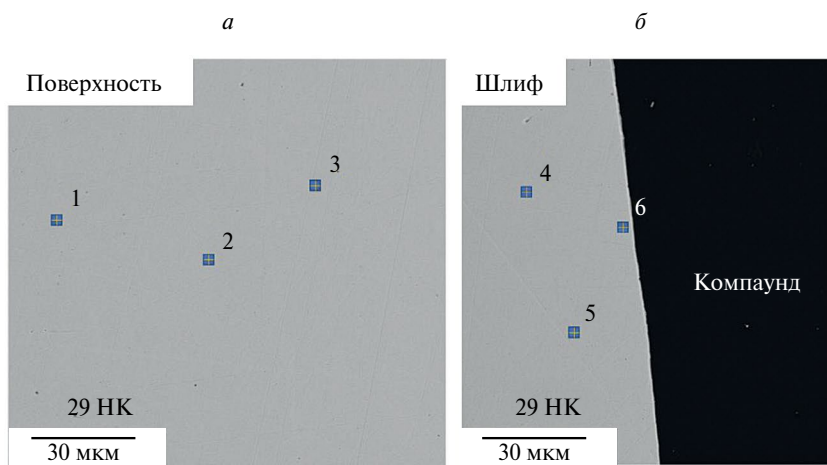
Для оценки соответствия исследуемых образцов заявленному в паспорте составу проводился микрорентгеноспектральный анализ как поверхности образцов, так и шлифов поперечного сечения, а также рентгенофазовый анализ (рис. 1, табл. 2).

**Таблица 1.** Состав сплава 29НК согласно марочным данным

Исследуемый материал	Содержание, мол. %										
	Si	Mn	C	Zn	Cr	Al	Ni	Co	Ti	Cu	Fe
29НК	< 0.3	< 0.4	< 0.03	–	< 0.3	< 0.2	28.5÷29.5	17.0÷18.0	< 0.1	< 0.2	51.14÷54.50

**Таблица 2.** Результаты МРСА исходного образца сплава 29НК в отдельных точках

Элемент	Содержание, мол. %					
	Поверхность			Шлиф		
	1	2	3	4	5	6
Fe	53.0	53.3	52.4	52.8	53.3	53.1
Ni	28.8	28.6	29.4	29.1	28.6	28.7
Co	17.8	18.1	17.8	17.7	17.7	17.6
Mn	0.4	—	0.4	0.4	0.3	0.4
O	—	—	—	—	—	0.2



**Рис. 1.** МРСА и РФА исходных образцов сплава 29НК: *а* поверхность образца; *б* шлиф поперечного сечения образца; *в* результаты РФА.

На исходных образцах отсутствовало концентрационное перераспределение компонентов и не выявлено неоднородности в результате подготовки образцов. Компонентный состав исследуемых образцов сплава 29НК соответствует марочному (табл. 1).

По результатам РФА было установлено, что образцы сплава 29НК представляют из себя структуру из фаз твердых растворов Fe–Ni и Fe–Co. Фазы, содержащие примесные компоненты, данным методом не были зафиксированы.

Исходные образцы сплава 29НК изготавливались из листов проката с помощью отрезного станка Struers Secotom-20 и представляли собой образцы прямоугольной формы размером 10x15x1.5 мм. Далее образцы шлифовались и полировались абразивной бумагой различной зернистости (марочное значение от P160, P400, P800, P2000 согласно ГОСТ 52381–2005 [17]). Измерение площади образцов производилось цифровым штангенциркулем с точностью до второго знака после запятой. Обезжиривание осуществлялось в спиртово-ацетоновой смеси для удаления органических и неорганических примесей с поверхности материалов с последующей сушкой в термошкафу для удаления влаги. Измерение массы образцов до испытаний производилось с помощью весов AND GR-202 с точностью до пятого знака после запятой.

Для большей достоверности получаемых результатов коррозионную выдержку проводили в параллели по три образца. Определение коррозионных характеристик осуществлялось в перчаточном боксе СПЕКС ГБ-02М, в котором непрерывно поддерживалась инертная атмосфера аргона с влажностью не более 0.1 ppm и содержанием кислорода не более 14 ppm.

Подготовка эвтектических расплавов LiCl–KCl, LiCl–KCl–nLiOH и LiCl–KCl–nLi<sub>2</sub>O, а также описание установки для проведения коррозионных испытаний подробно изложены в [18–22].

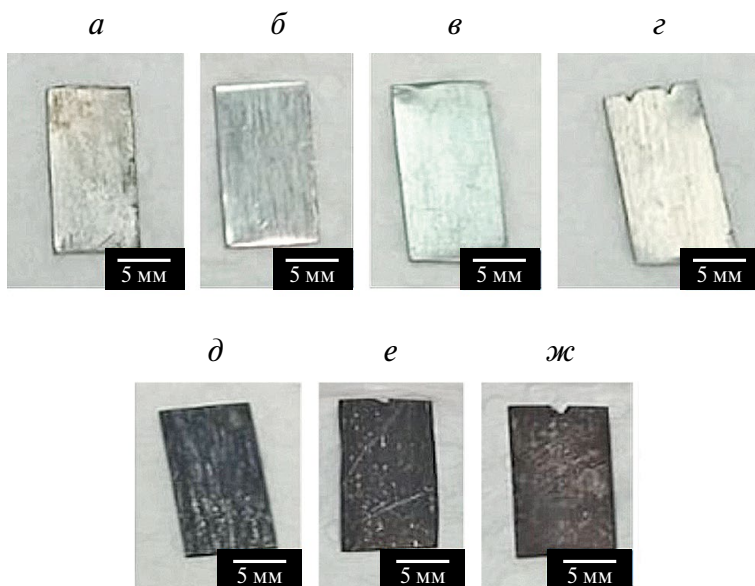
После испытаний образцы извлекали из отвердевшего расплава, отмывали от остатка солей в дистиллированной воде в термостате Taglet при температуре 70 °С в течение 120 минут. Изменение морфологии поверхности исследуемых образцов в результате коррозионной выдержки фиксировали с помощью МРСА поверхности и шлифов поперечного сечения, выполненного на микроскопе Ky-Ky EM8200. Фазовый состав исследуемых образцов после коррозионных испытаний определяли с помощью РФА, выполненного на дифрактометре Rigaku D/MAX-2200VL/PC.

Перед выполнением гравиметрического анализа образцы сплава 29НК дополнительно отмывали от продуктов коррозии с помощью раствора на водной основе, содержащего 12 г/л уротропина и 80 г/л соляной кислоты.

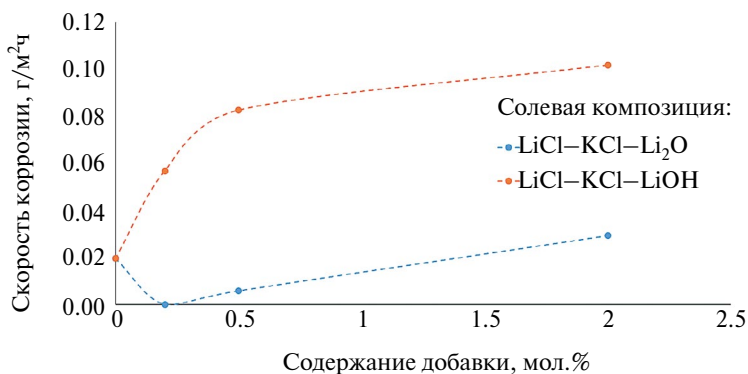
## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### *Коррозионные испытания сплава 29НК*

На рис.2 представлен внешний вид образцов сплава 29НК после высокотемпературных коррозионных испытаний, выполненных в хлоридных расплавах на основе LiCl–KCl при температуре 500 °С продолжительностью 100 часов.

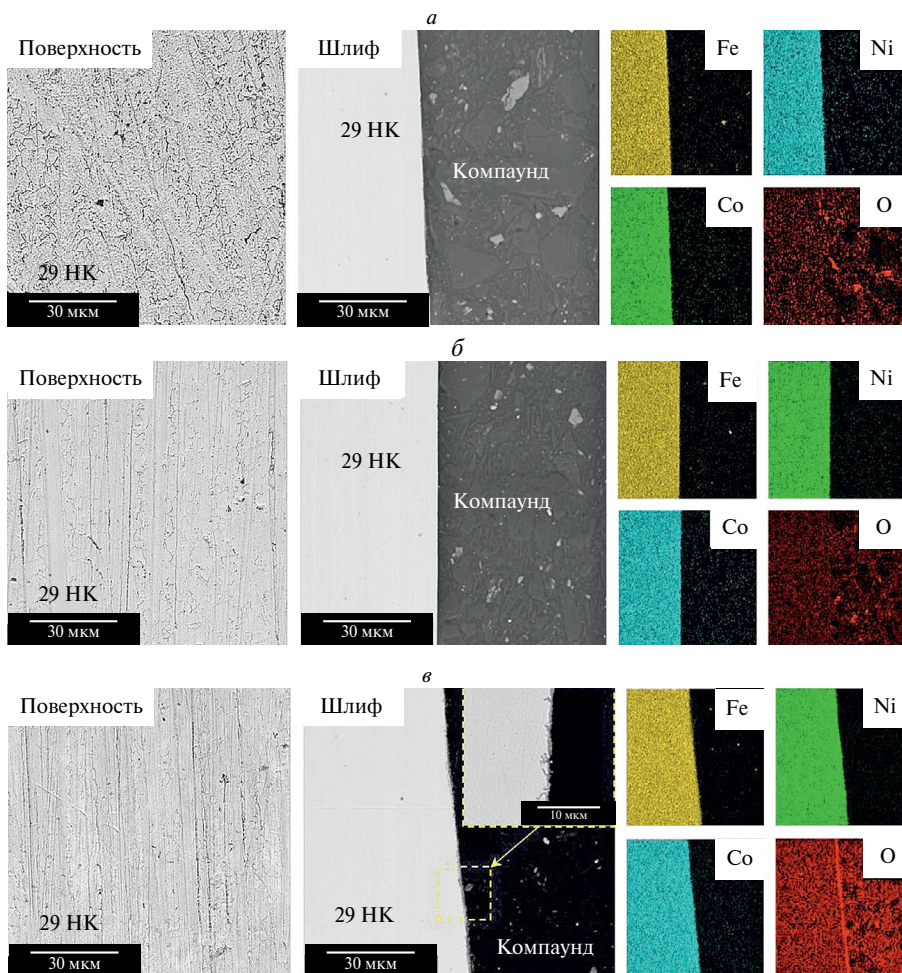


**Рис. 2.** Внешний вид образцов сплава 29НК после коррозионных испытаний, в расплавах: *а* LiCl-KCl; *б* LiCl-KCl-0.2 мол. % Li<sub>2</sub>O; *в* LiCl-KCl-0.5 мол.%Li<sub>2</sub>O; *г* LiCl-KCl-2.0 мол.% Li<sub>2</sub>O; *д* LiCl-KCl-0.2мол.%LiOH; *е* LiCl-KCl-0.5 мол.%LiOH; *ж* LiCl-KCl-2.0 мол.%LiOH.



**Рис. 3.** Скорости коррозии образцов сплава 29НК в солевых композициях на основе LiCl-KCl.

В результате коррозионной выдержки в расплаве LiCl-KCl, содержащем добавку LiOH от 0.2 до 2.0 мол. %, образцы сплава 29НК покрываются слоем продуктов коррозии. Для образцов данного сплава, выдержанных как в эвтектическом расплаве, так и в расплаве, содержащем добавку оксида лития, визуальных изменений не наблюдается.

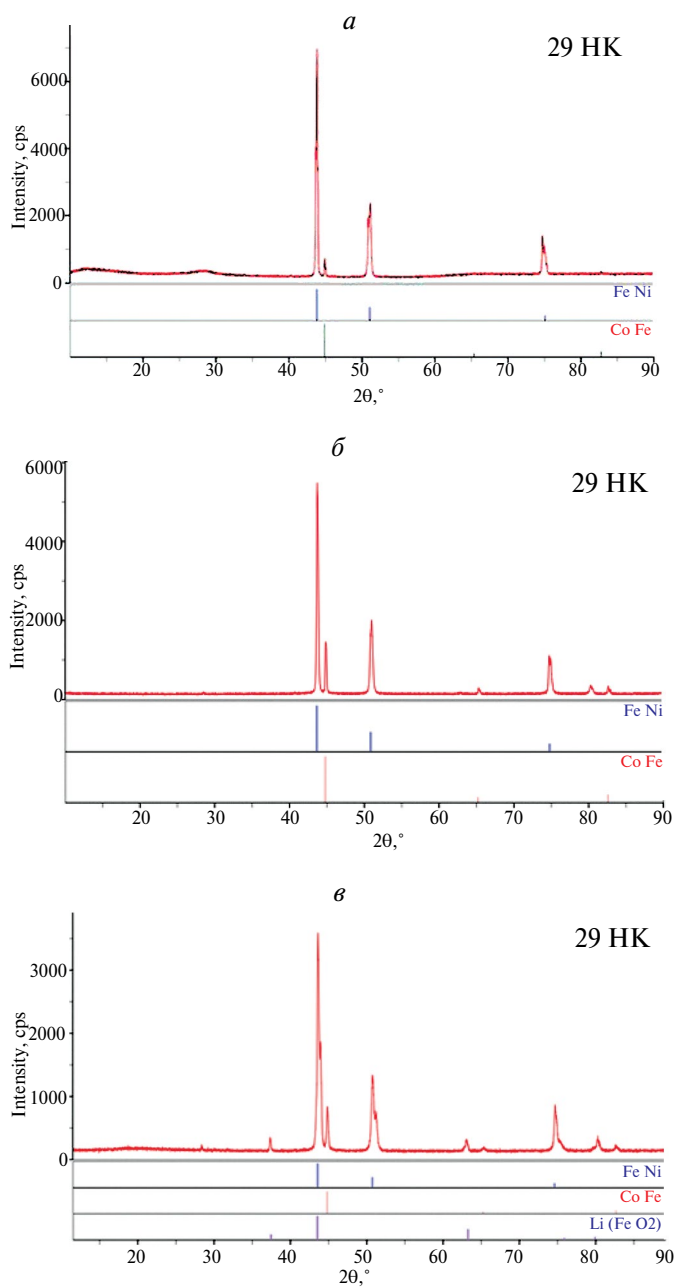


**Рис. 4.** СЭМ поверхности и шлифов поперечного сечения образцов сплава 29НК, выдержанных при температуре 500°C в расплавах: *a* LiCl–KCl; *б* LiCl–KCl–2%Li<sub>2</sub>O; *в* LiCl–KCl–2%LiOH.

Скорости коррозии для образцов сплава 29НК, выдержанных в расплаве LiCl–KCl, содержащем добавки до 2 мол. % LiOH или 2 мол. % Li<sub>2</sub>O, представлены на рис. 3.

По результатам гравиметрического анализа было установлено, что для образцов сплава 29НК с повышением концентрации LiOH в расплаве LiCl–KCl скорость коррозии значительно возрастает. Так, при концентрации LiOH в солевом электролите 2 мол. % скорость коррозии сплава 29НК возрастает в 5 раз относительно образцов данного материала, выдержанных в расплаве без добавок.

При введении в расплав оксида лития наблюдается снижение скорости коррозии при концентрации Li<sub>2</sub>O, равной 0.2 мол. %. При иных концентрациях



**Рис. 5.** РФА поверхности образцов сплава 29НК, выдержанных при температуре 500 °С в расплавах: *a* LiCl-KCl; *b* LiCl-KCl-2%Li<sub>2</sub>O; *c* LiCl-KCl-2%LiOH композициях на основе LiCl-KCl.

значения скоростей коррозии сопоставимы с результатами, полученными в эвтектическом расплаве  $\text{LiCl}-\text{KCl}$ .

На рис. 4 представлены результаты МРСА анализа образцов металлического никеля после коррозионных испытаний в расплаве  $\text{LiCl}-\text{KCl}$ , содержащем добавку оксида лития или гидроксида лития.

По результатам МРСА на поверхности образцов сплава 29НК после коррозионных испытаний, выполненных в расплаве  $\text{LiCl}-\text{KCl}$  и  $\text{LiCl}-\text{KCl}-\text{Li}_2\text{O}$ , наблюдались следы межкристаллитной коррозии (рис. 4 а, б). Однако данные коррозионные поражения не обладали значительной глубиной и не зафиксированы в приповерхностном слое на шлифах поперечного сечения.

Также было установлено, что для образцов сплава 29НК, выдержанного в расплаве  $\text{LiCl}-\text{KCl}$  с добавкой  $\text{LiOH}$ , характерна межкристаллитная коррозия с глубиной проникновения до 3 мкм (рис. 4в). Кроме того, на поверхности образцов фиксируется тонкий слой продуктов коррозии толщиной  $1.0 \div 1.5$  мкм, состоящий преимущественно из железа и кислорода. На рис. 5 представлены результаты РФА образцов сплава 29НК после коррозионных испытаний в расплаве  $\text{LiCl}-\text{KCl}$ , содержащем добавку оксида лития или гидроксида лития.

По результатам РФА не зафиксировано образования новых фаз на поверхности образцов сплава в результате коррозионных испытаний в эвтектическом расплаве  $\text{LiCl}-\text{KCl}$  и расплаве  $\text{LiCl}-\text{KCl}$ , содержащем добавку до 2 мол. %  $\text{Li}_2\text{O}$ .

Однако в расплаве  $\text{LiCl}-\text{KCl}$ -2 мол. %  $\text{LiOH}$  на поверхности образцов наблюдается формирование фазы  $\text{LiFeO}_2$  (рис. 5в). Образование подобного соединения на поверхности исследуемого сплава связано с тем, что при наличии в расплаве  $\text{LiOH}$ , выступающего в качестве окислителя, происходит растворение наиболее электроотрицательного компонента сплава – железа, с последующим формированием данного соединения на поверхности материала.

Таким образом, можно заключить, что сплав 29НК в эвтектическом расплаве и расплаве, содержащем оксид лития, практически не подвержен деградации. Однако в расплаве, содержащем добавку гидроксида лития, скорость коррозии возрастает за счет взаимодействия данного соединения с наиболее электроотрицательным компонентом сплава – железом.

Несмотря на то что значения скоростей коррозии для сплава 29НК больше в 3–4 раза, чем для металлического никеля марки НП1 в исследуемых условиях, данный материал обладает высокой коррозионной стойкостью по сравнению с другими кандидатными материалами для аппаратного оформления пирохимических технологий, использующих хлоридные расплавы в качестве рабочей среды. Однако скорость коррозии аустенитных сталей, наиболее привлекательных кандидатных конструкционных материалов с экономической и технологической точки зрения, значительно выше. Так, скорость коррозии сплава 29НК в эвтектическом расплаве  $\text{LiCl}-\text{KCl}$  меньше в 2–3 раза, чем для стали AISI316L и 12X18H10T в аналогичных условиях [23].



## ВЫВОДЫ

В результате выполнения работы были установлены закономерности процессов взаимодействия сплава 29НК с расплавом хлоридов лития и калия, содержащем добавки гидроксида лития или оксида лития при температуре 500 °С.

1) Образцы сплава 29НК в солевом расплаве LiCl–KCl–(Li<sub>2</sub>O до 2 мол. %) при выдержке в течение 100 часов при 500 °С мало подвержены коррозии, на поверхности наблюдаются очаги межкристаллитной коррозии, которые не обладают значительной глубиной настолько, что практически не фиксируются МРСА на шлифах поперечного сечения. Значение скоростей коррозии для них составляет менее 0.03 г/м<sup>2</sup>ч. Не наблюдается значительных изменений в морфологии и фазовом составе.

2) В солевом расплаве LiCl–KCl–(LiOH до 2 мол. %) скорость сплава 29НК значительно возрастает по сравнению со скоростью коррозии в расплаве с добавлением Li<sub>2</sub>O, за счет взаимодействия добавки LiOH с наиболее электроотрицательным компонентом сплава – железом, с образованием оксидного слоя на поверхности образца. Величина скорости коррозии значительно возрастает, до 0.11 г/м<sup>2</sup>.

3) Введение в расплав LiCl–KCl кислородосодержащей добавки LiOH до 2 мол. % вызывает большие коррозионные повреждения, чем введение 2 мол.% Li<sub>2</sub>O. В сплаве 29НК, не содержащем хрома, коррозии подвергается в основном наиболее электроотрицательный элемент (Fe). В результате на поверхности наблюдается образование двойного оксида LiFeO<sub>2</sub>.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитина Е.В., Ткачева О.Ю., Карфидов Э.А., Руденко А.В., Муллабаев А.Р. Высокотемпературная коррозия в расплавленных солях: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета. 2021.
2. LeBlanc D. Molten salt reactors: a new beginning for an old idea // Nuclear Engineering and Design. 2010. 204. P. 1644–1656.
3. Смирнов М.В., Озеряная И.Н. Особенности коррозии металлов в расплавленных галогенидах и карбонатах // Высокотемпературная коррозия и методы защиты от нее. 1973. 1. С. 76–83.
4. Степанов С.И., Качина-Пулло Е.Б. Коррозия сталей и никельхромистых сплавов в смесях расплавленных хлоридов // Журнал прикладной химии. 1962. 35(8). С. 1852–1855.
5. ГОСТ 10994–74. Сплавы прецизионные. Марки. М.: Стандартинформ. 1989.
6. Селиверстов К.Е., Никитина Е.В., Карфидов Э.А., Филатов А.А., Романова Д.О., Дедюхин А.Е., Зайков Ю.П. Исследование коррозионного поведения никеля в расплаве LiCl–KCl при 500 °С в зависимости от содержания Li<sub>2</sub>O и LiOH от 0 до 2 мол. % // Расплавы. 2024. № 3. (В печати).
7. Keiser R., Manning D.L., Clausing R.E. Corrosion resistance of some nickel base alloys to molten fluoride salts containing UF<sub>4</sub> and tellurium // The Electrochemical Society. 1976. 6. P. 315–328.
8. Ambrosek J. Molten chloride salts for heat transfer in nuclear systems // University of Wisconsin. 2011. P. 238.

9. Raiman S.S., Lee S. Aggregation and data analysis of corrosion studies in molten chloride and fluoride salts // *Journal of Nuclear Materials*. 2018. **511**. P. 523–535.
10. Шишкин В.Ю., Митяев В.С. Очистка галогенидов щелочных металлов методом зонной плавки // *Изв. АН СССР. Неорг. материалы*. 1982. 18(11). С. 1917–1918.
11. Sridharan K., Allen T.R. Corrosion in Molten Salts // *Molten Salts Chemistry*. 2013. P. 241–267.
12. Indacochea J.E., Smith J.L., Litko K.R., Karell E.J. Corrosion Performance of Ferrous and Refractory Metals in Molten Salts under Reducing Conditions // *Journal of Materials Research*. 1999. **14**. 5. P. 1990–1995.
13. Indacochea J.E., Smith J.L., Litko K.R., Karell E.J., Raraz A.G. High-temperature oxidation and corrosion of structural materials in molten chlorides // *Oxid. Met.* 2001. **55**. P. 1–16.
14. Abramov A.V., Polovov I.B., Volkovich V.A., Rebrin O.I. Corrosion of austenitic stainless steels in chloride melts // *Molten Salts Chemistry and Technology*. 2014. P. 427–448.
15. Dong L., Peng Q., Zhang Z., Shoji T., Han E.-H., Wang W.Ke.L. Effect of dissolved hydrogen on corrosion of 316NG stainless steel in high temperature water // *Nucl. Eng. Des.* 2015. **295**. P. 403–414.
16. Young D.J. High Temperature Oxidation and Corrosion of Metal // Elsevier Science. 2016. P. 758.
17. ГОСТ 52381–2005. Материалы абразивные. Зернистость и зерновой состав шлифовальных порошков. Контроль зернового состава. М.: Стандартиформ. 2020.
18. Озеряная И.Н. Коррозия металлов в расплавленных солях при термической обработке // *Металловедение и термическая обработка металлов*. 1985. 3. С. 14–17.
19. Shulga A.V. Influence of hydrogen on the corrosion behavior of stainless steels in lithium // *Journal of Nuclear Materials*. 2008. **373**(1–3). P. 44–52.
20. Mohanty B.P. Role of chlorides in hot corrosion of a cast Fe–Cr–Ni alloy. Part II: Thermochemical model studies // *Corrosion Science*. 2004. **46**. 12. P. 2909–2924.
21. Wang Ya., Zhang Sh., Ji X., Wang P., Li W. Material Corrosion in Molten Fluoride Salts // *Int. J. Electrochem. Sci.* 2018. **13**. P. 4891–4900.
22. Ravi Shankar; K. Thyagarajan; U. Kamachi Mudali. Corrosion Behavior of Candidate Materials in Molten LiCl–KCl Salt Under Argon Atmosphere // *J. Corrosion*. 2013. **69**. 7. P. 655–665.
23. Карфидов Э.А., Никитина Е.В., Селиверстов К.Е., Мушников П.Н., Каримов К.Р. Коррозионное поведение стали 12Х18Н10Т в расплаве LiCl–KCl, содержащем добавки хлоридов f-элементов // *Расплавы*. 2023. № 4. С.1–8.

**INVESTIGATION OF THE CORROSION BEHAVIOR OF 29NC ALLOY  
IN LiCl-KCl MELT AT 500 °C DEPENDING ON THE CONTENT  
OF Li<sub>2</sub>O AND LiOH FROM 0 TO 2 MOL. %**

**K. E. Seliverstov<sup>1</sup>, E. V. Nikitina<sup>1</sup>\*, E. A. Karfidov<sup>1</sup>, A. A. Filatov<sup>1</sup>,  
A. E. Dedyukhin<sup>1</sup>**

*Institute of High-Temperature Electrochemistry of the Ural Branch of the Russian  
Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia*

*\*e-mail: neekeetina@mail.ru*

Molten chloride salt electrolytes are promising for use as a working medium for the implementation of high-temperature technologies. Alkali metal chlorides are

an aggressive environment in relation to structural materials. One of the possible methods of reducing the corrosion damage of a structural material is the method of oxygen passivation of the surface of a metal or alloy by introducing a certain amount of oxygen-containing additives into the melt. The article considers the effect of oxygen-containing impurities (lithium oxide and lithium hydroxide) on the corrosive behavior of a metal material — an alloy of the composition iron–cobalt–nickel. To assess the corrosion resistance of materials, gravimetric analysis, micro-X-ray spectral analysis (XRSA) of the surface and cross-section sections, and X-ray phase analysis (XRF) of the sample surface were used. The dependences of the corrosion rate of the material on the concentration of oxygen-containing additives  $\text{Li}_2\text{O}$  and  $\text{LiOH}$  are presented. Based on the data set of gravimetric, MRSA and XRF data, it was found that 29NC alloy samples in the  $\text{LiCl-KCl-nLi}_2\text{O}$  salt melt are not susceptible to corrosion, but in the  $\text{LiCl-KCl-nLiOH}$  melt, the speed of the 29NC alloy increases significantly due to the interaction of the  $\text{LiOH}$  additive with the most electronegative component of the alloy — iron.

*Keywords:* corrosion, alloy 29NC, chloride melt,  $\text{LiCl-KCl}$ , oxygen-containing impurities.

## REFERENCES

1. Nikitina E.V., Tkacheva O.Yu., Karfidov E.A., Rudenko A.V., Mullabaev A.R. Vysokotemperaturnaya korrozija v rasplavlennykh solyakh: uchebnoye posobiye (High-temperature corrosion in molten salts: a textbook). Ekaterinburg: Publishing house of the Ural University. 2021. [In Russian]
2. LeBlanc D. Molten salt reactors: a new beginning for an old idea // Nuclear Engineering and Design. 2010. **204**. P.1644–1656.
3. Smirnov M.V., Ozernaya I.N. Osobennosti korrozii metallov v rasplavlennykh galogenidakh i karbonatakh (Features of metal corrosion in molten halides and carbonates) // High-temperature corrosion and methods of protection against it. 1973. **1**. Pp. 76–83. [In Russian]
4. Stepanov S.I., Kachina-Pullo E.B. Korrozija staley i nikel'kromistykh splavov v smesyakh rasplavlennykh khloridov (Corrosion of steels and nickel-chromium alloys in mixtures of molten chlorides) // Journal of Applied Chemistry. 1962. **35**(8). Pp. 1852–1855. [In Russian]
5. GOST 10994-74. Splavy pretsizionnyye. Marki (Precision alloys. Stamps) M.: Standartinform. 1989. [In Russian]
6. Seliverstov K.E., Nikitina E.V., Karfidov E.A., Filatov A.A., Romanova D.O., Dedyukhin A.E., Zaikov Yu.P. Issledovaniye korrozionnogo povedeniya nikelya v rasplave  $\text{LiCl-KCl}$  pri 500 °C v zavisimosti ot sodержaniya  $\text{Li}_2\text{O}$  i  $\text{LiOH}$  ot 0 do 2 mol. % (Investigation of the corrosive behavior of nickel in a  $\text{LiCl-KCl}$  melt at 500 °C depending on the content of  $\text{Li}_2\text{O}$  and  $\text{LiOH}$  from 0 to 2 mol. %) // Melts. 2024. № 3. (In print). [In Russian]
7. Keiser R., Manning D.L., Clausing R.E. Corrosion resistance of some nickel base alloys to molten fluoride salts containing  $\text{UF}_4$  and tellurium // The Electrochemical Society. 1976. **6**. P. 315–328.
8. Ambrosek J. Molten chloride salts for heat transfer in nuclear systems // University of Wisconsin. 2011. P. 238.
9. Raiman S.S., Lee S. Aggregation and data analysis of corrosion studies in molten chloride and fluoride salts // Journal of Nuclear Materials. 2018. **511**. P. 523–535.

10. Shishkin V.Yu., Mityaev V.S. Ochistka galogenidov shchelochnykh metallov metodom zonnoy plavki (Purification of alkali metal halides by the method of zone melting) // *Izv. of the USSR Academy of Sciences. Non-organ. materials.* 1982. 18(11). С. 1917–1918. [In Russian]
11. Sridharan K., Allen T.R. Corrosion in Molten Salts // *Molten Salts Chemistry.* 2013. P. 241–267.
12. Indacochea J.E., Smith J.L., Litko K.R., Karell E.J. Corrosion Performance of Ferrous and Refractory Metals in Molten Salts under Reducing Conditions // *Journal of Materials Research.* 1999. 14. 5. P. 1990–1995.
13. Indacochea J.E., Smith J.L., Litko K.R., Karell E.J., Raraz A.G. High-temperature oxidation and corrosion of structural materials in molten chlorides // *Oxid. Met.* 2001. 55. P. 1–16.
14. Abramov A.V., Polovov I.B., Volkovich V.A., Rebrin O.I. Corrosion of austenitic stainless steels in chloride melts // *Molten Salts Chemistry and Technology.* 2014. P. 427–448.
15. Dong L., Peng Q., Zhang Z., Shoji T., Han E.-H., Wang W.Ke.L. Effect of dissolved hydrogen on corrosion of 316NG stainless steel in high temperature water // *Nucl. Eng. Des.* 2015. 295. P. 403–414.
16. Young D.J. High Temperature Oxidation and Corrosion of Metal // Elsevier Science. 2016. P. 758.
17. GOST 52381-2005. Materialy abrazivnyye. Zernistost' i zernovoy sostav shlifoval'nykh poroshkov. Kontrol' zernovogo sostava (Abrasive materials. Grain size and grain composition of grinding powders. Control of grain composition). M.: Standartinform. 2020. [In Russian]
18. Ozernaya I.N. Korroziya metallov v rasplavlennykh solyakh pri termicheskoy obrabotke (Corrosion of metals in molten salts during heat treatment) // *Metallurgy and heat treatment of metals.* 1985. 3. Pp. 14–17. [In Russian]
19. Shulga A.V. Influence of hydrogen on the corrosion behavior of stainless steels in lithium // *Journal of Nuclear Materials.* 2008. 373(1-3). P. 44–52.
20. Mohanty B.P. Role of chlorides in hot corrosion of a cast Fe–Cr–Ni alloy. Part II: Thermochemical model studies // *Corrosion Science.* 2004. 46. №12. P. 2909–2924.
21. Wang Ya., Zhang Sh., Ji X., Wang P., Li W. Material Corrosion in Molten Fluoride Salts // *Int. J. Electrochem. Sci.* 2018. 13. P. 4891–4900.
22. Ravi Shankar, K. Thyagarajan, U. Kamachi M. Corrosion Behavior of Candidate Materials in Molten LiCl–KCl Salt Under Argon Atmosphere // *J. Corrosion.* 2013. 69. № 7. P. 655–665.
23. Karfidov E.A., Nikitina E.V., Seliverstov K.E., Mushnikov P.N., Karimov K.R. Korroziyonnoye povedeniye stali 12KH18N10T v rasplave LiCl–KCl, soderzhashchem dobavki khloridov f-elementov (Corrosion behavior of 12X18H10T steel in a LiCl–KCl melt containing additives of f-element chlorides) // *Melts.* 2023. № 4. Pp. 1–8. [In Russian]