

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-4-94-100>

УДК: 620.193

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОМУ КОРРОЗИОННОМУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЮ ОЛОВЯННО-ЛИТИЕВОГО СПЛАВА С НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛЬЮ И ТУГОПЛАВКИМИ МЕТАЛЛАМИ

**В. Бочков¹⁾, Ю. Понкратов¹⁾, Ю. Гордиенко¹⁾, Қ. Самарханов^{1,2)}, Е. Тулубаев^{1,3)},
Э. Сапарбек^{1,3)}, Н. Оразгалиев¹⁾, Б. Оразымбеков¹⁾, Е. Арынгазы¹⁾**

¹⁾ Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

²⁾ Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова, Усть-Каменогорск, Казахстан

³⁾ Томский Политехнический Университет, Томск, РФ

E-mail для контактов: bochkovv@nnc.kz

В данной статье описывается исследовательская работа по определению коррозионной совместимости кандидатных материалов матрицы капиллярно-пористой структуры (КПС) с жидким оловянно-литиевым сплавом при высоких температурах. Исследования проводились со сплавом Sn₇₅-Li₂₅ и образцами аустенитной нержавеющей стали марки 12X18H10T, ванадия марки ВЭЛ-3 и тантала марки ТТ. Эксперименты по взаимодействию жидкого оловянно-литиевого сплава с кандидатными образцами матрицы КПС при высоких температурах проводились на экспериментальной установке ТиГрА, созданная на базе термогравиметрического анализатора TGA/DSC 3+. В работе приводится описание методики и условия проведения высокотемпературной коррозионных испытаний. В ходе реализации данной работы были проведены эксперименты по изучению совместимости оловянно-литиевого сплава в жидкой фазе с нержавеющей сталью, ванадием и танталом в температурном интервале от 600 °С до 1000 °С. На основании полученных результатов были определены тепловые эффекты процессов, протекающих в результате взаимодействия сплава с кандидатными материалами матрицы КПС. В результате анализа полученных результатов выявлено, что при взаимодействии исследуемых материалов с жидким оловянно-литиевым сплавом Sn₇₅-Li₂₅ при высоких температурах происходят сложные физико-химические процессы такие как: селективное растворение компонентов жидким сплавом (растворителем); проникновение компонента жидкого сплава (олова) в глубь нержавеющей стали; массоперенос растворенных металлов из твердого металла в жидкий.

Ключевые слова: оловянно-литиевый сплав, капиллярно-пористая структура, плазмообращенный материал, экспериментальный комплекс ТиГрА, дифференциально-сканирующая калориметрия, коррозия, энтальпия.

1. ВВЕДЕНИЕ

При проектировании и создании будущих термоядерных реакторов (ТЯР) одной из первостепенных инженерных задач является выбор обращенных к плазме материалов (ОПМ), стабильно работающих при высоких энергетических нагрузках. Проводимые исследования на действующих в мире термоядерных установках показывают перспективность использования в качестве ОПМ жидкого лития. Однако есть ряд проблем, которые связаны с высокой скоростью испарения лития в вакууме при высоких температурах. Инновационным решением этих проблем является использование в качестве обращенного к плазме материала оловянно-литиевого сплава, который имеет более низкие параметры парообразования в вакууме по сравнению с литием. С данным литийсодержащим материалом исследования в мире проводились, но они немногочисленны. Например, имеются данные исследований о возможности применения жидкого олова и оловянно-литиевого сплава в ТЯР, которые были получены, как расчетно-теоретическими методами [1], так и в экспериментах, проведенных на плазменных установках и токамаках ISTTOK (Лиссабон, Португалия), FTU (Фраскати, Италия), а также на стеллараторе TJ-II (Барселона, Испания) [2–6]. Ввиду того что оловянно-литиевый сплав (ОЛС) является относительно новым кандидатным материа-

лом, а имеющихся данных для обоснования его применения в ТЯР явно не достаточно, то существует необходимость в более подробном изучении свойств данного материала. Одной из первостепенных задач изучения свойств оловянно-литиевого сплава является расчетно-экспериментальным путем обосновать возможность использования данного материала в качестве ОПМ в установках управляемого термоядерного синтеза [7, 8]. Предполагается что при использовании в ТЯР жидкий оловянно-литиевый сплав будет стабилизирован в металлической матрице КПС [9, 10], однако жидкое олово при взаимодействии со сталями и тугоплавкими металлами, в зависимости от температуры, имеет высокую коррозионную активность. Поэтому, для обоснования выбора материала матрицы КПС существовала необходимость проведения исследований по взаимодействию жидкого оловянно-литиевого сплава с кандидатными конструкционными материалами ТЯР при высоких температурах, в частности, с аустенитной нержавеющей сталью, ванадием и танталом.

В данной статье представлены экспериментальные исследования по определению коррозионного воздействия жидкого сплава Sn₇₅-Li₂₅ на сталь марки 12X18H10T, ванадий марки ВЭЛ-3 и тантал марки ТТ в диапазоне температур от 600 °С до 1000 °С.

2. АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ КАНДИДАТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СПЛАВЕ Sn-Li

Для проведения экспериментов по взаимодействию жидкого оловянно-литиевого сплава с нержавеющей сталью, ванадием и танталом при высоких температурах была задействована экспериментальная установка ТиГрА (рисунок 1), созданная на базе термогравиметрического анализатора Mettler Toledo TGA/DSC 3+. Подробное описание характеристик и режимов работы установки приводится в работе [11].

Для исследований были использованы образцы в форме дисков диаметром $10 \text{ мм} \pm 0,25 \text{ мм}$ и толщиной $1,3 \text{ мм} \pm 0,25 \text{ мм}$ (рисунок 2).

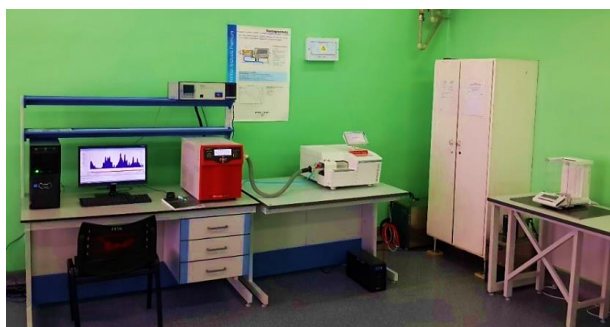
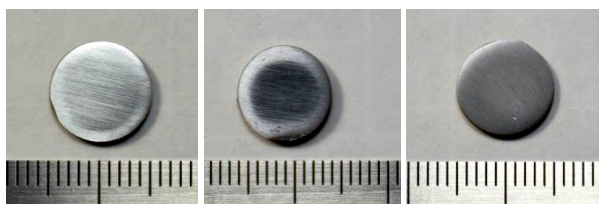


Рисунок 1. Общий вид установки ТиГрА



а) образец SS б) образец V в) образец Та

Рисунок 2. Внешний вид исследуемых образцов

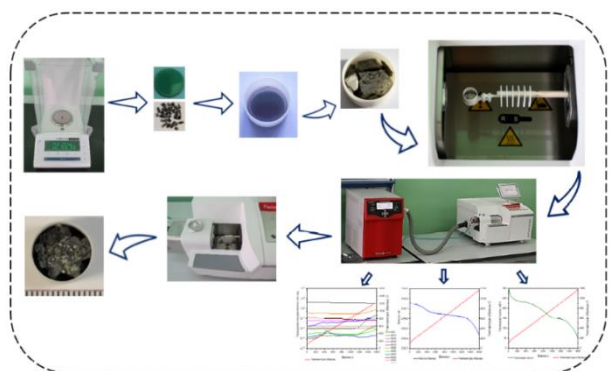


Рисунок 3. Общая схема проведения экспериментов

Испытания по взаимодействию выше представленных образцов с жидким оловянно-литиевым сплавом проводились в диапазоне температур от 600°C до 1000°C . На рисунке 3 представлена общая схема проведения экспериментов с испытуемыми образцами, которая включает в себя этапы загрузки образца, его подготовки и проведение испытаний.

Перед загрузкой испытуемого образца в тигель из высокотемпературной керамики Al_2O_3 поверхность образца была очищена от окислов и заполирована механическим способом при помощи абразивной наждачной бумаги. После чего в тигель был загружен оловянно-литиевый сплав $\text{Sn}_{75}\text{-Li}_{25}$. Сплав Sn-Li в необходимом для проведения коррозионных экспериментов количестве был изготовлен по ранее разработанной технологии, описанной в работе [12]. Процедуры изготовления сплава с заданным соотношением лития и олова были реализованы на установке ВИКА [11] с использованием специального запатентованного экспериментального устройства [13]. Далее, тигель с загруженными материалами устанавливался в реакционную камеру термогравиметрического комплекса TGA/DSC 3+ и закрывался штатной крышкой с отверстием. После чего проводились эксперименты по высокотемпературному коррозионному взаимодействию оловянно-литиевого сплава с нержавеющей сталью, ванадием и танталом. Эксперименты с нержавеющей сталью были проведены при температурах 600°C , 800°C и 1000°C , а ванадием и танталом при 800°C и 1000°C . Для каждой температуры использовались новый тигель, образец и свежий сплав $\text{Sn}_{75}\text{-Li}_{25}$. Длительность выдержки на каждой исследуемой температуре составляла порядка 10 часов. На рисунке 4 представлены диаграммы проведенных коррозионных экспериментов с нержавеющей сталью, ванадием и танталом при 1000°C .

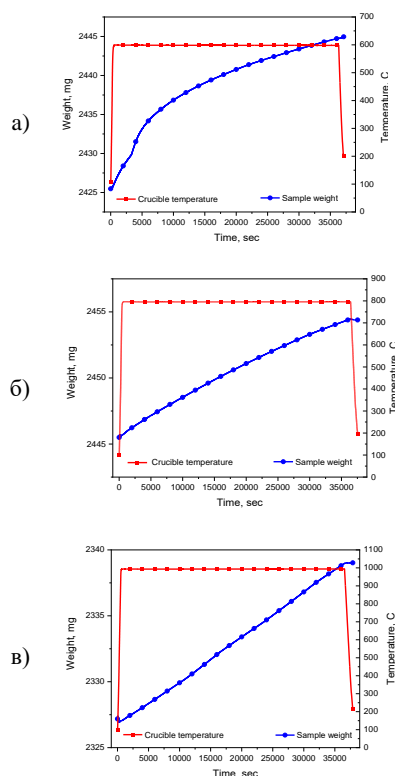


Рисунок 4. Диаграммы проведения коррозионных экспериментов по взаимодействию $\text{Sn}_{75}\text{-Li}_{25}$ с нержавеющей сталью (а), ванадием (б) и танталом (в)

3. РЕЗУЛЬТАТЫ КОРРОЗИОННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В результате проведенных экспериментов по определению характера взаимодействия исследуемых материалов с жидким сплавом Sn-Li при различных температурах с использованием метода дифференциально-сканирующей калориметрии были (ДСК) был получен ряд термограмм для нержавеющей стали, ванадия, тантала. Полученные термограммы были обработаны, тепловые эффекты зафиксированные в процессе проведения испытаний были проанализированы.

Также, в результате проведенных экспериментов были получены образцы, испытанные при температурах от 600 °C до 1000 °C, с которыми в последующем были проведены материаловедческие исследования. На рисунке 5 представлен характерный вид образцов после их испытаний при выдержке образцов при температуре 1000 °C в течение 10 часов.

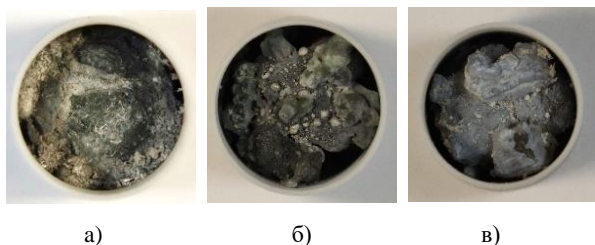


Рисунок 5. Фотографии поверхности сплава Sn75-Li25 после его взаимодействия при 1000 °C с нержавеющей сталью (а), ванадием (б) и танталом (в)

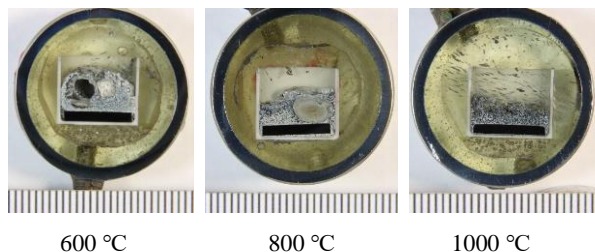


Рисунок 6. Фотографии поверхности подготовленных шлифов на примере образцов нержавеющей стали

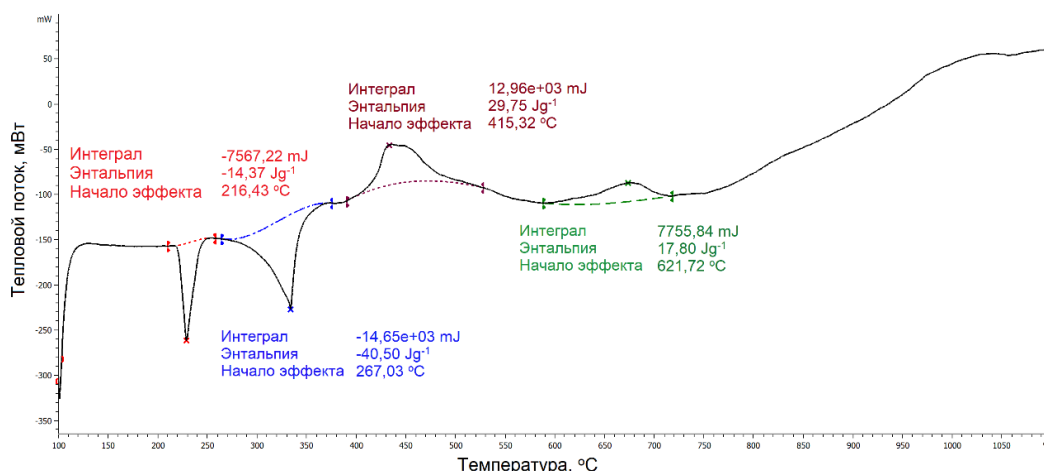


Рисунок 7. Результаты ДСК анализа с образцом нержавеющей стали

Из полученных образцов, для проведения дальнейших материаловедческих исследований, были вырезаны продольные части с помощью отрезного станка Qcut 150A и подготовлены металлографические шлифы.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Нержавеющая сталь

Для определения и описания тепловых процессов и эффектов, зарегистрированных ДСК методом, протекающих в результате высокотемпературного взаимодействия оловянно-литиевого сплава с нержавеющей сталью была выполнена обработка полученных термограмм. На рисунке 7 представлена термограмма образца нержавеющей стали.

Согласно термограмме, полученный во время испытания стали при температуре ~216 °C происходит фазовый переход из твердого состояния оловянно-литиевого сплава в жидкое, данный процесс имеет экзотермический характер и составил 17,37 Дж/г. После плавления при температуре 267,03 °C наблюдается тепловой эффект 40,50 Дж/г, который говорит о начале процесса взаимодействия оловянно-литиевого сплава (ОЛС) в жидком состоянии с поверхностью образца. Следующие пики, которые наблюдаются на термограмме по всей видимости связаны с процессами растворения в сплаве компонентов нержавеющей стали, таких как: никель, титан и хром. Образование интерметаллических соединений (интерметаллидов) происходит как с поглощением, так и выделением тепла.

В дальнейшем были проведены микроструктурные исследования испытанных образцов нержавеющей стали. При помощи оптического микроскопа SorTop ICX-41M были получены снимки поверхности образцов после испытаний. Полученные результаты указывают на то, что у образца нержавеющей стали, испытанной при температуре 600 °C, в зоне контакта со сплавом Sn-Li наблюдается неравномерный тонкий слой коррозионного взаимодействия, заполненный продуктами коррозии, и преимущественно расположен в центральной части фрагмента нержавеющей стали (рисунок 8). Максимальная толщина слоя ~30 мкм.

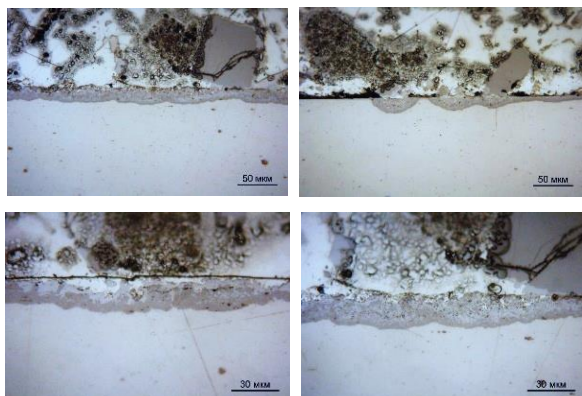


Рисунок 8. Слой коррозионного взаимодействия стали с сплавом Sn73-Li27 при температуре 600 °C

При контакте нержавеющей стали с жидким сплавом Sn-Li при температуре 800 °C формируется несколько зон, присущих физико-химическому взаимодействию жидкометаллического с твердым металлическим материалом (рисунок 9). Толщина зоны растворения достигает 80 мкм при этом уменьшение толщины образца не более 50 мкм. Под зоной растворения расположена тонкая пористая зона, сформированная вероятно из-за избирательного растворения компонентов нержавеющей стали и их массопереноса (рисунок 10).

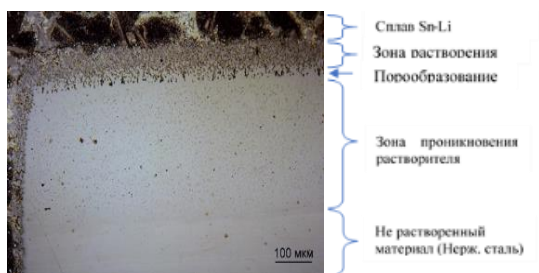
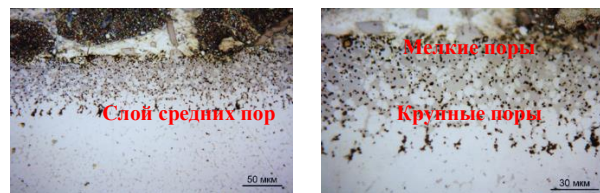


Рисунок 9. Зоны взаимодействия при температуре 800 °C

Далее был исследован образец нержавеющей стали, испытанный при температуре 1000 °C в среде жидкого сплава Sn-Li. Данный образец, подвергнул-

ся к значительной коррозии и формоизменению (рисунок 11). Наблюдается признаки сквозного проникновения компонентов сплава Sn-Li в материал нержавеющей стали. В структуре сплава Sn-Li наблюдается скопление пор (или «выпавших» включений) вдоль линий, якобы повторяющий контур образца нержавеющей стали.



а) при x500

б) при x1000

Рисунок 10. Зоны растворения и порообразования на поверхности нержавеющей стали

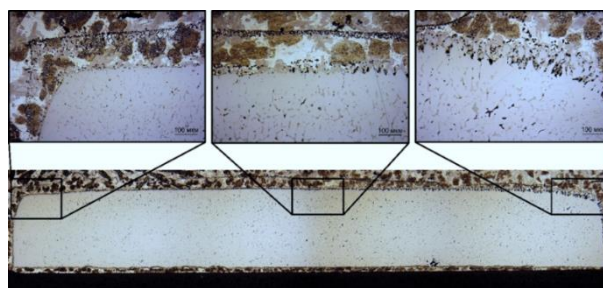


Рисунок 11. Панорамный снимок сечения образца нержавеющей стали после 1000 °C

Ванадий

По результатам, полученным при испытании образца ванадия видно, что он наряду с нержавеющей сталью имеет довольно низкую коррозионную стойкость в жидкой среде Sn-Li. Согласно результатам ДСК анализа видно, что уже при температуре 261,40 °C наблюдается тепловой эффект, который говорит о начале процесса взаимодействия поверхности образца с жидким ОЛС (рисунок 12). Энтальпия процесса взаимодействия ванадия с жидким сплавом Sn-Li составила 21,18 Дж/г.

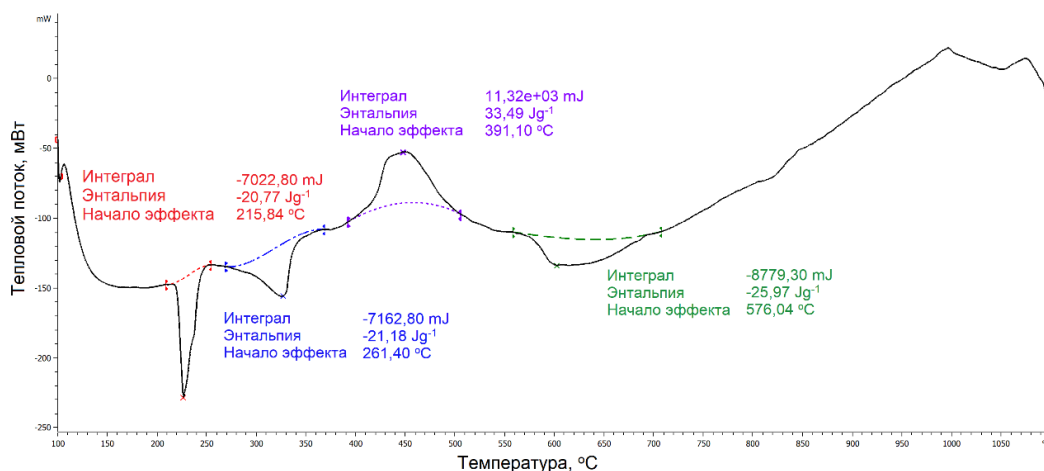


Рисунок 12. Результаты ДСК анализа с образцом ванадия

При контакте ванадия с жидким сплавом Sn-Li при температуре 800 °С, как и с нержавеющей сталью, формируется несколько зон, присущих физико-химическому взаимодействию жидкометаллической системы с твердым металлом. Толщина зоны растворения достигает ~70 мкм, при этом уменьшение толщины образца не более ~50 мкм (рисунок 13).

При испытаниях ванадия при температуре 1000 °С наблюдается неравномерный слой продуктов активного коррозионного взаимодействия опытного образца и сплава (рисунок 14). Максимальная толщина слоя, заполненного продуктами коррозии составила ~370 мкм.



Рисунок 13. Панорамный снимок образца V-800 °C

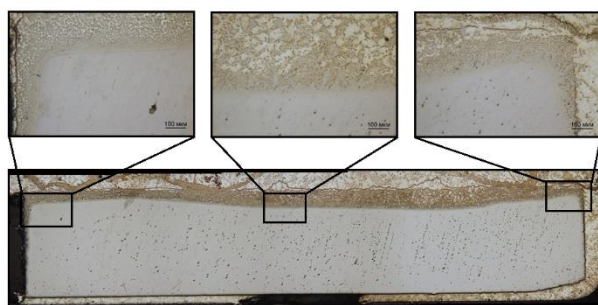


Рисунок 14. Панорамный снимок образца V-1000 °C

Тантал

По результатам кривых дифференциально-сканирующей калориметрии исследований коррозионного взаимодействия образца тантала с жидким оловянно-литиевым сплавом наблюдается небольшой тепловой эффект 12,73 Дж/г при температуре 282,21 °С. При дальнейшем нагреве образца других тепловых эффектов не наблюдается вплоть до 1084,10 °С.

Толщина слоя коррозионного взаимодействия тантала с ОЛС при температуре 800 °С составила примерно ~5 мкм, а при температуре 1000 °С около 10 мкм. Ниже на рисунках 16 и 17 представлены панорамные снимки поперечных резов, исследуемых образцов при температуре 800 °С и 1000 °С.

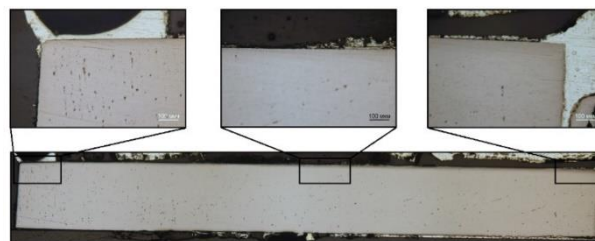


Рисунок 16. Панорамный снимок образца Ta-800 °C



Рисунок 17. Панорамный снимок образца Ta-1000 °C

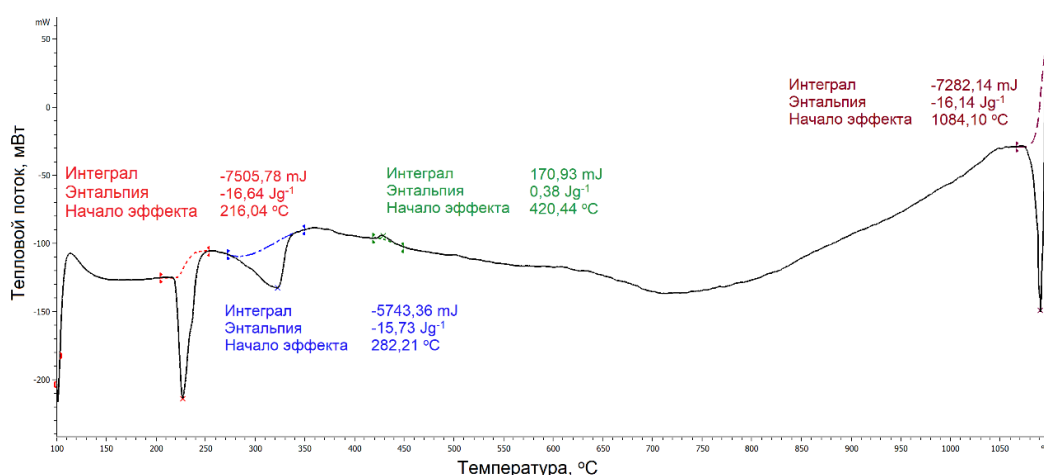


Рисунок 15. Результаты ДСК анализа с образцом тантала

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа полученных результатов видно, что при взаимодействии исследуемых материалов с жидким оловянно-литиевым сплавом Sn₇₅-Li₂₅ при высоких температурах происходят сложные физико-химические процессы, такие как селективное растворение компонентов жидким сплавом (растворителем); проникновение компонента жидкого сплава (олова) в глубь нержавеющей стали; массоперенос растворенных металлов из твердого металла в жидкий. Сталь марки 12X18H10T при температурах выше 600 °C начинает интенсивно растворяться при взаимодействии с оловянно-литиевым сплавом. Интенсивность растворения ванадия активно возрастает при температурах выше 800 °C. Что касается тантала, то мы видим, что в данных условиях он проявляет довольно неплохую коррозионную стойкость по отношению к ОЛС, и показывает лучшие результаты по сравнению с остальными кандидатами. Согласно результатам, полученным при помощи ДСК анализа видно, что взаимодействие жидкого оловянно-литиевого сплава с нержавеющей сталью начинается уже при температуре 267,03 °C. Что касается ванадия и тантала, то для них температуры начала взаимодействия со сплавом составили 261,40 °C для ванадия и 282,21 °C для тантала. Сталь марки 12X18H10T, ванадий марки ВЭЛ-3 и тантал марки ТТ могут быть применимы в качестве конструкционных материалов ЯР и ТЯР контактирующих с ОЛС в ограниченном диапазоне температур.

Благодарность

Данные исследования финансировались Министерством энергетики Республики Казахстан в рамках научно-технической программы «Развитие атомной энергетики в Республике Казахстан» (ИРН – BR09158470).

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Krasin. V.P., Soyustova. S.I. Quantitative evaluation of thermodynamic parameters of Li-Sn alloys related to their use in fusion reactor // Journal of Nuclear Materials. – 2018. – Vol. 505. – P. 193–199. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2018.04.008>
2. Kvon. V., Oyarzabal. E., Zoethout. E., Martin-Rojo A.B., Morgan T.W., Tabarés F.L. Secondary electron emission of tin and tin-lithium under low energy helium plasma // Nuclear Materials and Energy. – 2017. – Vol. 13. – P. 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.nme.2017.09.005>
3. Loureiro, J.P.S., Fernandes. H., Tabarés. F.L., Mazzitelli. G., Silva. C., Gomes. R., Alves. E., Mateus. R., Pereira. T., Figueiredo. H., Alves. H., Deuterium retention in tin (Sn) and lithium-tin (Li-Sn) samples exposed to ISTTOK plasmas // Nuclear Materials and Energy. – 2017. – Vol. 12. – P. 709–713. <https://doi.org/10.1016/j.nme.2016.12.026>
4. Loureiro, J.P.S., Tabarés F.L., Fernandes. H., Silva. C., Gomes. R., Alves. E., Mateus. R., Pereira. T., Alves. H., Figueiredo. H. Behavior of liquid Li-Sn alloy as plasma facing material on ISTTOK // Fusion Engineering and Design. – 2017. – Vol. 117. – P. 208–211. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2016.12.031>
5. Tabarés, F.L., Oyarzabal E., Martin-Rojo A.B., Tafalla D., A. de Castro., F.Medina., Ochando M.A., Zurro B., McCarthy K., the TJ-II Team. Experimental tests of LiSn alloys as potential liquid metal for the divertor target in a fusion reactor // Nuclear Materials and Energy. – 2017. – Vol. 12. – P. 1368–1373. <https://doi.org/10.1016/j.nme.2016.11.026>
6. Vertkov, Lyublinski. A.I., Zharkov. M., Mazzitelli G., Apicella M.L., Iafrafi. M. Liquid tin limiter for FTU tokamak // Fusion Engineering and Design. – 2017. – Vol. 117. – P. 130–134. [doi:10.1016/j.fusengdes.2017.01.041](https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2017.01.041)
7. Dejarnac R., Horacek. J., Hron. M., M. Jerab., Adamek. J., Atikukke. S., Barton. P., Cavaliera. J., Cecrdle. J., Dimitrova. M. Gauthier. E., Iafrafi. M., Imrisek. M., Marin Roldan. A., Mazzitelli. G., Naydenkova. D., Prishvitsyn. A., Tomes. M., Tskhakaya. D., Van Oostf. G., Weinzettla. V. Overview of power exhaust experiments in the COMPASS divertor with liquid metals // Nuclear Materials and Energy. – 2020. – Vol. 25.
8. Reimerdes. H., Aho-Mantila L., Albanese R., Ambrosino. R., Arter W., Brezinsek S., Bufferand H., Calabro G., Ciraolo G., Coster D., Fernandes H., Harrison J., Kaldre I., Lackner K., Lielausis O., Loureiro J., Lunt T., Mazzitelli G., McIntosh S., Militello F., Morgan T., Pelekasis N., Pelka G., Pericoli V., Philipps V., Subba F., Tabares. F., Viola B., Wenninger. R., Zagorski. R. and Zohm. H. Towards an Assessment of Alternative Divertor Solutions for DEMO // 42nd EPS Plasma Physics (Lisbon, Portugal, ECA). – P. 4.117.
9. Lyublinski, I. E., Vertkov A.V., mirnov S.V., Lasarev V. Protection of tokamak plasma facing components by a capillary porous system with lithium // Journal of Nuclear Materials. – 2015. – Vol. 463. – P. 1156–1159. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2014.12.017>
10. Tabarés, F.L., Oyarzabal E., Martin-Rojo A.B., Tafalla D., A. de Castro and Soletto A. Reactor plasma facing component designs based on liquid metal concepts supported in porous systems // Nuclear Fusion. – 2017. – 57, 016029. <https://doi.org/10.1088/0029-5515/57/1/016029>
11. Gordienko Yu, Ponkratov Yu., Kulsartov T., Tazhibayeva I., Zaurbekova Zh, Koyanbayev Ye., Chikhray Ye and Kenzhina I. Research Facilities of IAE NNC RK (Kurchatov) for Investigations of Tritium Interaction with Structural Materials of Fusion Reactors // Fusion Sci. Technol. – 2020. – Vol. 76. – P. 703–709.
12. Tazhibayeva I., Ponkratov Yu., Lyublinsky I., Gordienko Yu., Vertkov A., Tulubayev Ye., Samarkhanov K., Bochkov V., Kozhakhmetov Ye., Orazgaliyev N. Study of liquid tin-lithium alloy interaction with structural materials of fusion reactor at high temperatures // Nuclear Materials and Energy Volume 30, March 2022, 101152. <https://doi.org/10.1016/j.nme.2022.101152>
13. Ponkratov Yu., Tazhibayeva I., Gordienko Yu., Bochkov V., Tulubayev Ye., Karambayeva I., Samarkhanov K. Ampoule device for producing samples of tin-lithium alloy // For utility model KZ No. 6918 (G01N 1/31 (2006.01), G01N 1/38 (2006.01), Bulletin No. 9, 04.03.2022.

ҚАЛАЙЫ-ЛИТИЙ ҚОРЫТПАСЫНЫҢ ТОТ БАСПАЙТЫН БОЛАТПЕН ЖӘНЕ БАЯУ БАЛҚИТЫН МЕТАЛДАРМЕН ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫ КОРРОЗИЯЛЫҚ ӘРЕКЕТТЕСУІ БОЙЫНША ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУЛЕРІ

В. Бочков¹⁾, Ю. Понкратов¹⁾, Ю. Гордиенко¹⁾, Қ. Самарханов^{1,2)}, Е. Тулубаев^{1,3)},
Э. Сапарбек^{1,3)}, Н. Оразғалиев¹⁾, Б. Оразымбеков¹⁾, Е. Арынғазы¹⁾

¹⁾ ҚР ҰЯО РМК «Атом энергиясы институты» филиалы, Курчатов, Қазақстан

²⁾ Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан мемлекеттік университеті, Өскемен, Қазақстан

³⁾ Томск политехникалық университеті, Томск, РФ

Бұл мақалада жоғары температурада капиллярлық-кеуекті құрылым матрицасының (ККҚ) кандидаттық материалдарының сұйық қалайы-литий қорытпасымен коррозиялық үйлесімділігін анықтау бойынша зерттеу жұмысы сипатталған. Зерттеулер Sn₇₅-Li₂₅ қорытпасымен және 12X18H10T маркалы аустенитті тот баспайтын болат, ВЭЛ-3 маркалы ванадий және ТТ маркалы тантал үлгілерімен жүргізілді. Сұйық қалайы-литий қорытпасымен ККҚ матрицасының кандидаттық материалдарының өзара әрекеттесуі бойынша тәжірибелер TGA/DSC 3+ термогравиметриялық талдағыш негізінде жасалған TiGrA тәжірибелік қондырғысында жоғары температурада жүргізілді. Жұмыста жоғары температуралы коррозиялық сынақтардың жүргізу әдістемесі мен шарттарының сипаттамалары келтірілген. Бұл жұмысты жүзеге асыру барысында сұйық фазадағы қалайы-литий қорытпасының тот баспайтын болатпен, ванадиймен және танталмен 600 °C-тан 1000 °C-қа дейінгі температуралық аралықтағы үйлесімділігін зерттеу бойынша тәжірибелері жүргізілді. Алынған нәтижелер негізінде қорытпаның ККҚ матрицасының кандидаттық материалдарымен өзара әрекеттесуі нәтижесінде пайда болатын процестерінің жылу әсерлері анықталды. Алынған нәтижелерді талдау нәтижесінде зерттелетін материалдардың Sn₇₅-Li₂₅ сұйық қалайы-литий қорытпасымен жоғары температурада өзара әрекеттесуі кезінде компоненттердің сұйық қорытпамен (еріткішпен) селективті еруі; сұйық қорытпа (қалайы) компонентінің тот баспайтын болаттың тереңдігіне енуі; еріген металдардың қатты металдан сұйық металға массатасымалдауы сияқты күрделі физика-химиялық процестер жүретіні анықталды.

Түйін сөздер: қалайы-литий қорытпасы, капиллярлық-кеуекті құрылым, плазмаға айналған материал, TiGrA тәжірибелік кешені, дифференциалды сканерлеу калориметриясы, коррозия, энтальпия.

EXPERIMENTAL STUDIES ON HIGH-TEMPERATURE CORROSION INTERACTION OF TIN-LITHIUM ALLOY WITH STAINLESS STEEL AND REFRACTORY METALS

V. Bochkov¹⁾, Yu. Ponkratov¹⁾, Yu. Gordienko¹⁾, K. Samarkhanov^{1,2)}, E. Tulubayev^{1,3)},
E. Saparbek^{1,3)}, N. Orazgaliyev¹⁾, B. Orazymbekov¹⁾, E. Aryngazy¹⁾

¹⁾ Branch "Institute of Atomic Energy" RSE NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan

²⁾ Sarsen Amanzholov east Kazakhstan state university, Oskemen, Kazakhstan

³⁾ Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

This article describes experimental investigations to determine the corrosion compatibility of candidate matrix materials of a capillary-porous structure (CPS) with a liquid tin-lithium alloy at high temperatures. The studies were conducted with the Sn₇₅-Li₂₅ alloy and samples of 12Ch18Ni10Ti grade austenite stainless steel, VEL-3 grade vanadium, and TT grade tantalum. Experiments on the interaction of a liquid tin-lithium alloy with candidate samples of the CPS matrix at high temperatures were carried out on an experimental TiGrA setup based on a TGA/DSC 3+ thermogravimetric analyzer. The paper provides a description of the methodology and conditions for conducting high-temperature corrosion tests. In the course of this work, experiments were carried out to study the compatibility of a tin-lithium alloy in the liquid phase with a stainless steel, vanadium and tantalum samples in the temperature range from 600 °C to 1000 °C. Based on obtained results, the thermal effects of the processes occurring as a result of the interaction of the alloy with a candidate materials of the CPS matrix were determined. As a result of the analysis of the results obtained it has been revealed that at interaction of the studied materials with liquid tin-lithium alloy Sn₇₅-Li₂₅ at high temperatures complex physical and chemical processes take place, such as: selective dissolution of components by liquid alloy (solvent); penetration of component of liquid alloy (tin) into stainless steel depth; mass transfer of dissolved metals from solid metal into liquid.

Keywords: tin-lithium alloy, capillary-porous structure, plasma-facing material, TiGrA experimental complex, differential scanning calorimetry, corrosion, enthalpy.