

ISSN 2710-3056

Grail of Science

Periodical scientific journal

No 14-15 May
2022

The issue of journal contains

Proceedings of the III Correspondence
International Scientific and Practical Conference

SCIENTIFIC RESEARCHES AND METHODS OF THEIR CARRYING OUT: WORLD EXPERIENCE AND DOMESTIC REALITIES

held on May 27th, 2022 by

NGO European Scientific Platform (Vinnytsia, Ukraine)
LLC International Centre Corporate Management (Vienna, Austria)

 **OU CI**
Open Ukrainian Citation Index




Euro Science Certificate № 22368
dated 16.04.2022

INDEX  COPERNICUS
INTERNATIONAL

INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL

GRAIL OF SCIENCE

№ **14-15**  May, 2022
with the proceedings of the:

III Correspondence International Scientific and Practical Conference

GLOBALIZATION OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE: INTERNATIONAL COOPERATION AND INTEGRATION OF SCIENCES

held on May 27th, 2022 by

NGO European Scientific Platform (Vinnytsia, Ukraine)

LLC International Centre Corporate Management (Vienna, Austria)



EUROPEAN
SCIENTIFIC
PLATFORM



International Centre
Corporate Management

Міжнародний науковий журнал «Грааль науки»

№ 14-15 (Травень, 2022) : за матеріалами III Міжнародної науково-практичної конференції «Globalization of scientific knowledge: international cooperation and integration of sciences», що проводилася 27 травня 2022 року ГО «Європейська наукова платформа» (Вінниця, Україна) та ТОВ «International Centre Corporate Management» (Відень, Австрія).



Editor in chief: Mariia Holdenblat

Deputy Chairman of the Organizing Committee: Rachael Aparo

Responsible for e-layout: Tatiana Bilous

Responsible designer: Nadiia Kazmina

Responsible proofreader: Hryhorii Dudnyk

International Editorial Board:

Alona Tanasiichuk - D.Sc. (Economics), Associate professor (Ukraine)
Marko Timchev - D.Sc. (Economics), Associate professor (Republic of Bulgaria)
Nina Korbozerova - D.Sc. (Philology), Professor (Ukraine)
Yuliia Voskoboinikova - D.Sc. (Arts) (Ukraine)
Svitlana Boiko - Ph.D. (Economics), Associate professor (Ukraine)
Volodymyr Zanora - Ph.D. (Economics), Associate professor (Ukraine)
Iryna Markovych - Ph.D. (Economics), Associate professor (Ukraine)
Nataliia Mykhalitska - Ph.D. (Public Administration), Associate professor (Ukraine)
Anton Kozma - Ph.D. (Chemistry) (Ukraine)
Dmytro Lysenko - Ph.D. (Medicine), Associate professor (Ukraine)
Yuriy Polyezhyayev - Ph.D. (Social Communications), Associate professor (Ukraine)
Alla Kulichenko - D.Sc. (Pedagogy), Associate professor (Ukraine)
Taras Furman - Ph.D. (Pedagogy), Associate professor (Ukraine)
Mariana Vereskliia - Ph.D. (Pedagogy), Associate professor (Ukraine)
Siarhei Rybak - Ph.D. (Law), Associate professor (Republic of Belarus)
Anatolii Kornus - Ph.D. (Geography), Associate professor (Ukraine)
Tetiana Luhova - Ph.D. (Arts), Associate professor (Ukraine)



The conference is included in the catalog of International Scientific Conferences; approved by ResearchBib and certified by Euro Science Certification Group (Certificate № 22368 dated April 16th, 2022).

Conference proceedings are publicly available under terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

The journal is included in the international catalogs of scientific publications and science-based databases: Index Copernicus, CrossRef, Google Scholar and OUCI.



Conference proceedings are indexed in ICI (World of Papers), CrossRef, OUCI, Google Scholar, ResearchGate, ORCID and OpenAIRE.

Свідоцтво про державну
реєстрацію друкованого ЗМІ:
КВ 24638-14578ПР, від 04.11.2020


Certificate of state
registration of mass media:
КВ 24638-14578ПР of 04.11.2020



DOI 10.36074/grail-of-science.27.05.2022.050

АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ФАЗОУТВОРЕННЯ В СИСТЕМІ $Al_2O_3 - FeO - TiO_2$ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОННО-МІКРОСКОПІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ГРУПА:

Борисенко Оксана Миколаївна 

канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей


Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», Україна

Логвінков Сергій Михайлович 

Д-р. техн. наук, старший науковий співробітник, професор кафедри технологій і безпеки життєдіяльності


Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна

Шабанова Галина Миколаївна 

Д-р. техн. наук, професор, професор кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут», Україна

Івашура Марина Миколаївна 

канд. с.-г. наук, доцент, доцент кафедри неорганічної та фізичної хімії

Національний фармацевтичний університет, Україна

Анотація. Спостерігати за перебігом адаптаційних перетворень у матеріалах на нанорозмірному рівні стало можливим завдяки розвитку методів електронної мікроскопії. У роботі для електронно-мікроскопічних досліджень було обрано зразки матеріалу валовий оксидний склад якого належить до концентраційної області елементарного трикутника корунд – герциніт – ільменіт у високотемпературній триангуляції системи $Al_2O_3 - FeO - TiO_2$. Встановлено, що структурно-фазові особливості дослідного зразка відповідають за встановлення рухомої рівноваги та забезпечують швидкий буферний обмін необхідної речовини для збереження цілісності матеріалу зразка за різких термоударів.

Ключові слова: твердофазні реакції, фазоутворення, електронна мікроскопія, корунд, ільменіт.

Механізм адаптації тугоплавких сполук до змін параметрів навколишнього середовища полягає в їх здатності видозмінювати свою структуру та склад до нових значень зовнішніх параметрів, у тому числі за рахунок незначної зміни довжин зв'язків або, навпаки, за рахунок радикальної перебудови кристалографічного типу елементарних осередків, а також за рахунок хімічних змін на атомарному рівні або перебігу твердофазних реакцій різного типу. Спостерігати за перебігом адаптаційних перетворень на нанорозмірному рівні стало можливим завдяки розвитку методів електронної мікроскопії. Електронно-мікроскопічні дослідження можуть бути успішно застосовані для спостереження фазового розпаду твердих шпінельних розчинів при їх охолодженні, коли область існування твердих розчинів зазвичай звужується, а радіуси ізоморфних катіонів значно розрізняються.

Для електронно-мікроскопічних досліджень було обрано зразки матеріалів валовий оксидний склад яких належить до концентраційної області елементарного трикутника корунд – герциніт – ільменіт у високотемпературній триангуляції системи $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{FeO} - \text{TiO}_2$ (рис. 1).

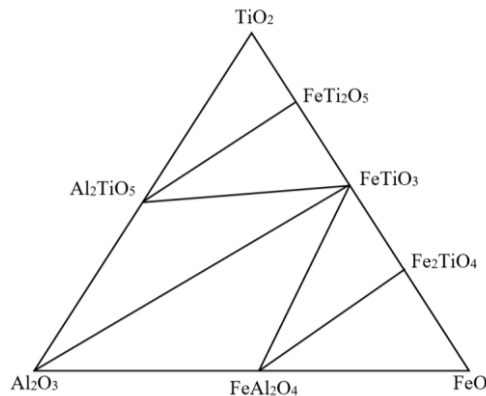


Рис. 1. Триангуляція системи $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{FeO} - \text{TiO}_2$ вище температури 1630 К [1, 2]

Під час охолодження такого зразка реалізується ряд структурно-фазових змін у матеріалі відповідно до триангуляції в інтервалах температур 1537 – 1630 К (рис. 2), 1413 – 1537 К (рис. 3), нижче 1413 К (рис. 4) та проміжним утворенням сполук (TiO_2 , FeTi_2O_5 , FeTiO_3 , Fe_2TiO_4), які можуть частково залишатися в метастабільному стані в охолодженому матеріалі.

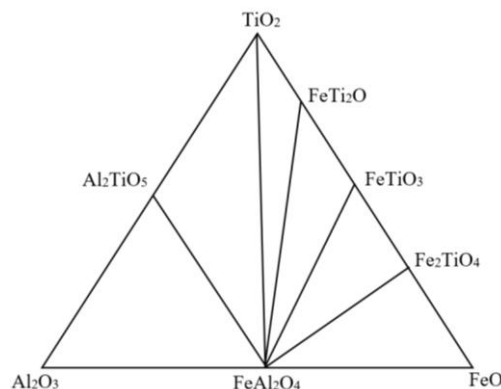


Рис. 2. Триангуляція системи $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{FeO} - \text{TiO}_2$ у температурному інтервалі 1537 – 1630 К [1]

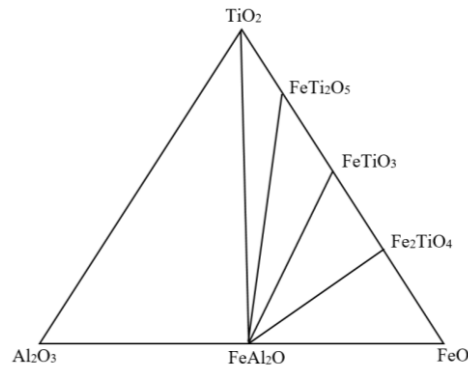


Рис. 3. Триангуляція системи $Al_2O_3 - FeO - TiO_2$ у температурному інтервалі 1408 – 1537 К [1]

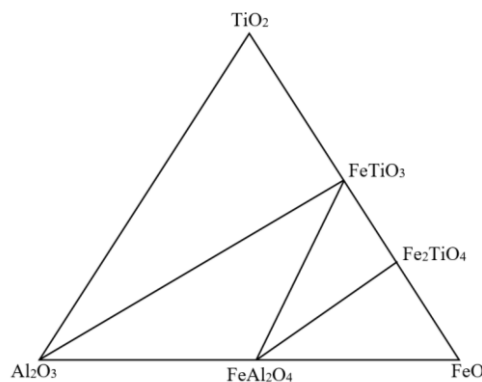


Рис. 4. Триангуляція системи $Al_2O_3 - FeO - TiO_2$ до температури 1413 К [1]

Крім того, у зазначеній концентраційній області вище 1573 К (рис. 5) спостерігається утворення складних за складом твердих розчинів, які під час охолодження зазнають фазового розпаду нижче 1273 К (рис. 5) практично до корунда і герцініт-ільменітового твердого розчину [3]. Така структурно-фазова змінність матеріалу у складі матричної фази, наприклад, периклазо-шпінельного вогнетриву підвищує його реакційну здатність під час спіканні та збільшує варіабельність шляхів розвитку термодинамічних процесів при термоударах із збереженням цілісності.

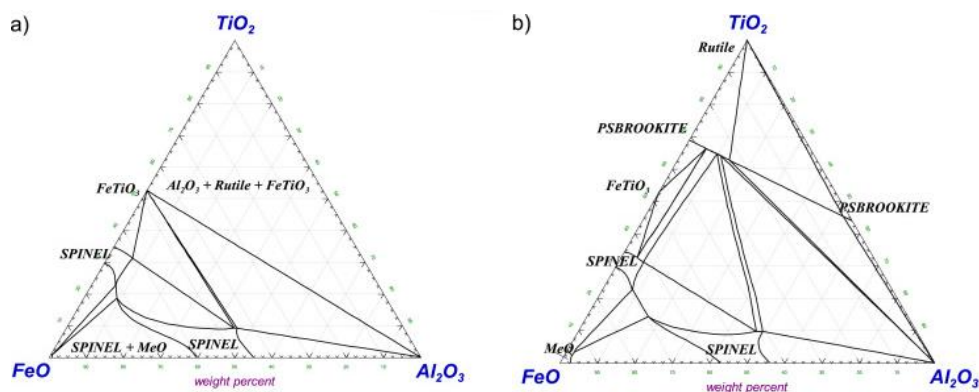


Рис. 5. Розрахункова фазова діаграма $Al_2O_3 - FeO - TiO_2$ у рівновазі із залізом за температури: а) 1273 К, б) 1573 К [3]

Випалений зразок матеріалу, отриманий на основі системи $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{FeO} - \text{TiO}_2$, досліджували на поверхні аншліфу та сколу.

На мікрофотографії (рис. 6а) аншліфу спеченого зразка відзначається наявність рихлих областей матеріалу з одиночними округлими (до 50 мкм) та великими звивистими порами (до 200 мкм). Основний масив матеріалу щільноспечений, структура брикчевидна з наявністю різномірних частинок (частіше неправильної форми), зцементованих через тонкі прошарки в єдиний конгломерат. У лівому нижньому кутку мікрофотографії (рис. 6а) наявна гексагональної форми пластинка корунду з розміром ребра близько 20 мкм. Більші частинки зустрічаються рідше, їх ограновування не досконале через вібропомел вихідних компонентів зразка. За підвищеної роздільної здатності електронного мікроскопа в області близько пори в центральній області попереднього знімка (рис. 6а) спостерігається, що у дрібніших частинок елементи правильного огранювання (ребра та кути) гексагональних пластинок зустрічаються частіше (рис. 6б). Чим більш досконалі мікрочастинки, тим тонше світле окантування цементуючої фази. Пластинчасті частинки нашаровуються по базальним площам і утворюють щільні шаруваті зрощення. Подальше збільшення дозволяє бачити, що світла фаза псевдобрукітового твердого розчину присутня зрідка у формі одиничних скупчень до 5 мкм у поперечнику (рис. 6в), які представлені агрегатами більш дрібніших частинок (рис. 6д). Такі агрегати приурочені до контактів слабоспечених корундових частинок з чіткою лінією розмежування і частково покривають поперечні області (сірі) шаруватого зростка (рис. 6ж). На цій мікрофотографії спостерігається і твердий розчин складного складу $\text{Al}_{0,028}\text{Fe}_{2,387}\text{O}_4\cdot\text{TiO}_{0,585}$, який схильний до часткового фазового розпаду з виділенням нанорозмірних частинок у формі орієнтованих і регулярних смужок до 1,5 мкм у довжину. У збільшеному масштабі на рис. 6г наведено іншу область, виділену на рис. 6б. На електронній мікрофотографії спостерігаються зростки різнорозмірних частинок з розміром до 10 мкм, що мають темне, світле та сіре забарвлення. Світле забарвлення характерне для твердого розчину $(\text{Fe,Al})\text{TiO}_5$, темне – для Al_2O_3 , а сіре – для областей матеріалу зразка перехідного типу, у тому числі корундових частинок, що зазнали фазового розпаду, і утворилися на контакті з супутніми фазами.

Вгорі в центрі (рис. 6г) видно зросток двох частинок у формі, близької до трикутної, вздовж загальної сторони. Верхня частинка має темні і світлі смуги, що чергуються на її поверхні, і є елементом графічної структури подібній на рис. 6ж. Нижня частинка цього зростку має світло-сіру облямівку до 2 мкм завтовшки на своїй стороні («гіпотенузі»), що щільно зростає з основним матеріалом частинки через світлу тонку смужку. За підвищеної роздільної здатності (рис. 6е, 6ж) спостерігаємо, що облямівка є результатом реакційної дифузії матеріалу світлої смужки в матеріал частинки, поверхня якої вкрита включеннями темних нанодисперсних частинок у своїй нижній частині і більших (до 1 мкм) – у верхній (рис. 6з). Світла смужка є, по суті, зоною твердофазної реакційної взаємодії. Це свідчить про метастабільність речовини світлої смужки та можливість зміщення рухомої фазової рівноваги в циклах нагрівання – охолодження без порушення цілісності.

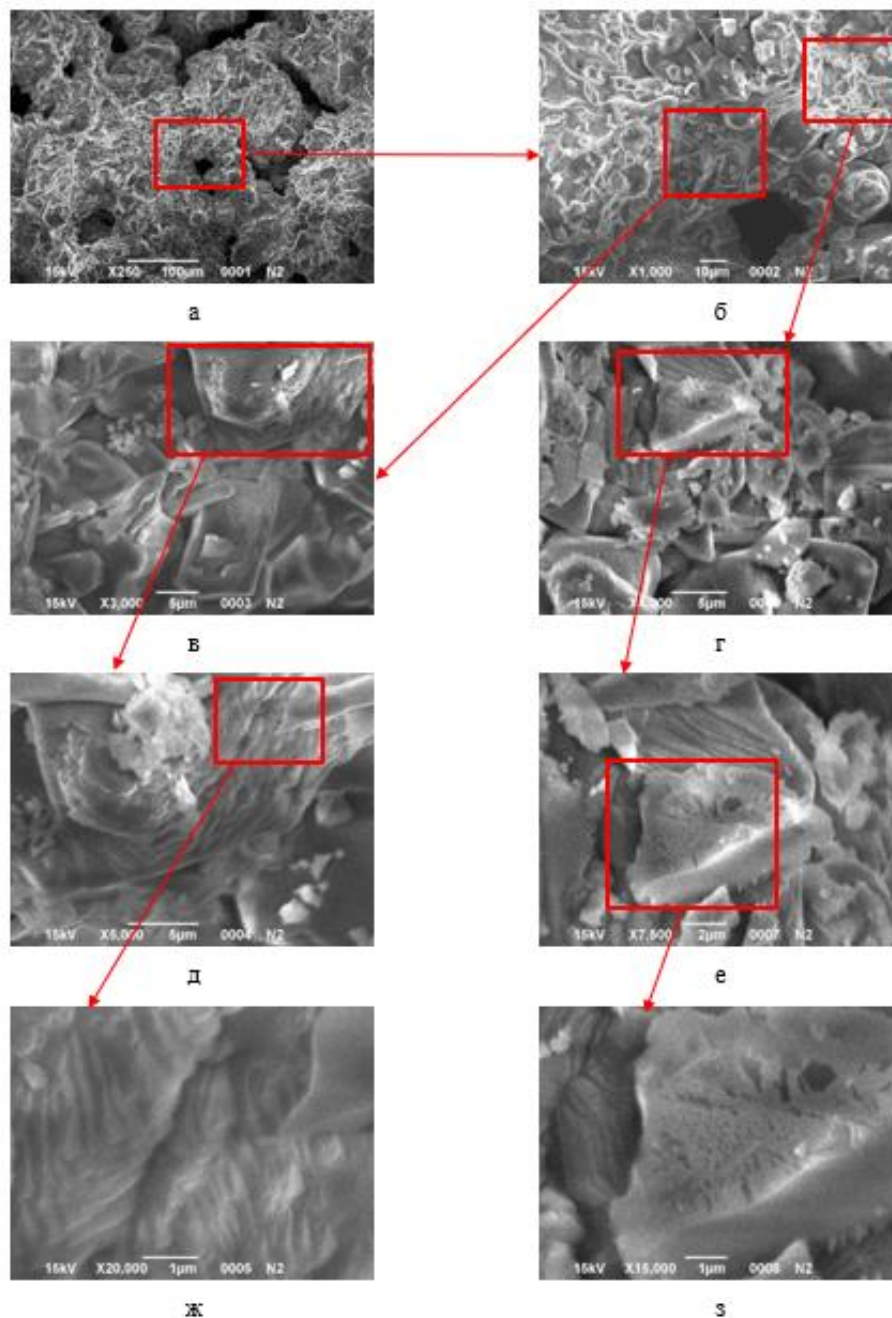


Рис. 6. Мікрофотографії аншлафу дослідного зразка

На мікрофотографії (рис. 7а) представлено поверхню сколу зразка з наявністю звивистих довгих тріщин, у тому числі, які відходять від великих частинок або огинають їх периметр (внизу, праворуч від центру). Такі великі частинки до 50 мкм у поперечнику (рис. 7б) зустрічаються зрідка, основний матеріал зразка представлений щільноспеченими ізометричними частинками меншого розміру. Під час збільшення ділянки матеріалу (центру рис. 7б) спостерігаються великі зростання (до 15 мкм на рис. 7в), які утворюються на основі частинок з правильним гексагональним огрануванням темно-сірого кольору та розміром грані близько 10 мкм ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$). На базальну площину таких частинок нашаровуються дрібніші частинки, що мають окремі уламкові або окатані форми (центральна частина рис. 7в, у збільшеному вигляді на рис. 7г).

Безформні частинки (праворуч в центрі рис. 7в) мають на поверхні смужки сірого і світлого кольору, які чергуються, аналогічні спостерігалися під час дослідження аншлифа (рис. 6). На рис. 7б виділені для подальшого збільшення дві області. На мікрофотографії (рис. 7д) спостерігається характер заростання півкільцевої пори (радіус близько 5 мкм) через утворення «містка» з іншою часткою з характерним плавним вирівнюванням концентрації її основної речовини та відповідною зміною забарвлення.

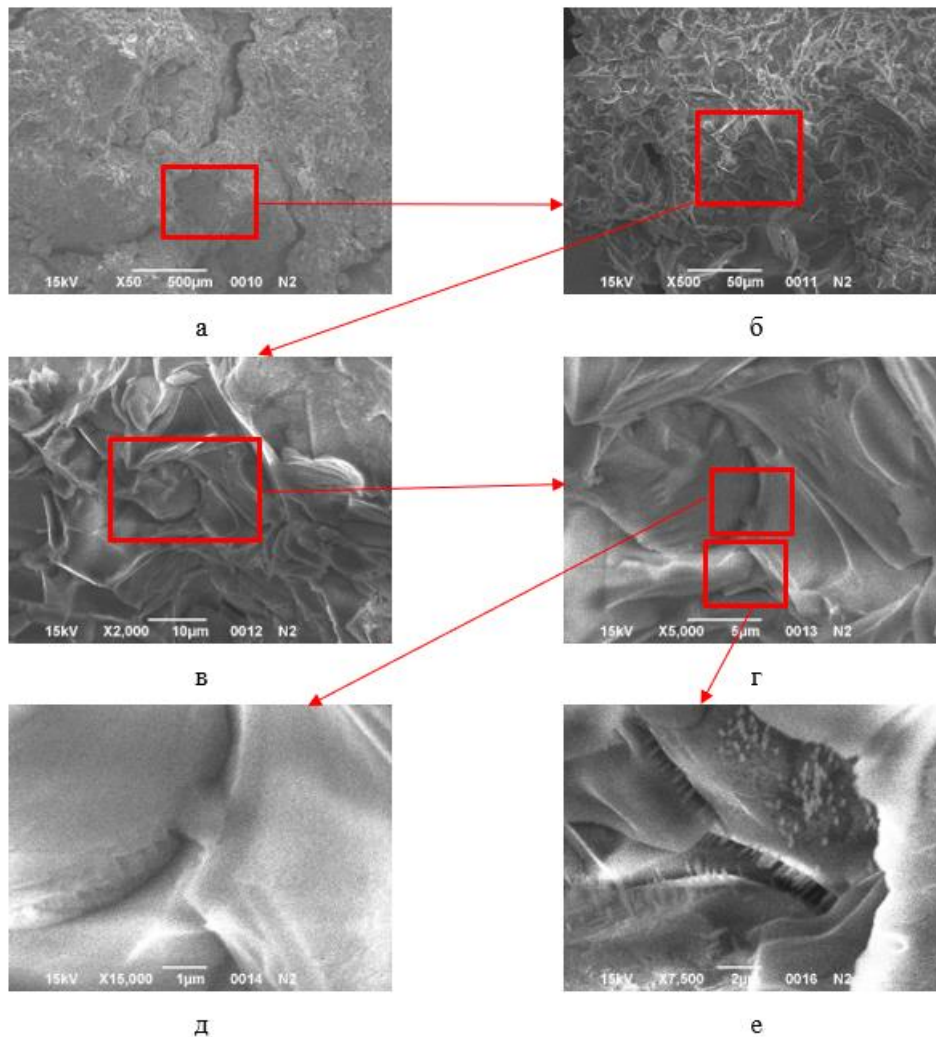


Рис. 7. Мікрофотографії сколу дослідного зразка

Мікрофотографія на рис. 7е відображає збільшену область рис. 7г і показує заповнення півкільцевої пори множинними нанодисперсними частинками світлого кольору. Такі частинки мають стовпчасту форму та проростають через мікропори. Можна вважати, що фазовий склад цих частинок відповідає за встановлення рухомої рівноваги та забезпечення швидкого буферного обміну необхідної речовини для збереження цілісності матеріалу зразка при різких термоударах.

Таким чином, виявлені структурно-фазові особливості дослідного зразка за допомогою електронно-мікроскопічних досліджень важливі для добавки-модифікатора дисперсної матриці периклазо-шпінельних матеріалів через

певний ступінь наслідування нанорівневої організації матеріалу та посилення адаптаційного механізму протидії термоударам.

Список використаних джерел:

- [1] Борисенко О. М., Логвінков С. М. & Шабанова Г. М. Аналіз субсолідусної будови системи $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{FeO} - \text{TiO}_2$. (2021). Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження», (3 (20)), 45-50. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.3.2021.241046>.
- [2] Borisenko O., Logvinkov S., Shabanova G. & Mirgorod O. (2021). Thermodynamics of Solid-Phase Exchange Reactions Limiting the Subsolidus Structure of the System $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{FeO}-\text{TiO}_2$. Materials Science Forum Submitted, (1038), 177-184. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.177>.
- [3] Jantzen T., Hack K., Yazhenskikh E. & Müller M. (2018). Addition of TiO_2 and Ti_2O_3 to the $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{MgO}$ system. Calphad, (62), 187-200. <https://doi.org/10.1016/j.calphad.2018.05.009>.