

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет залізничного транспорту



# ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ТА БУДІВЕЛЬ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

9-ї МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

## Тези доповідей



17–19 листопада 2021 р., м. Харків, Україна

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ

**Тези доповідей 9-ої міжнародної  
науково-технічної конференції**

**«ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ  
ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД І БУДІВЕЛЬ  
НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ»**

**Харків 2021**

9-а Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», Харків, 17-19 листопада 2021 р.: Тези доповідей. - Харків: УкрДУЗТ, 2021. - 281 с.

Збірник містить тези доповідей науковців вищих навчальних закладів України та інших країн, підприємств транспортної та будівельної галузі за трьома напрямками: залізниця, автомобільні дороги, промисловий транспорт і геодезичне забезпечення; будівельні конструкції, будівлі та споруди; будівельні матеріали, захист і ремонт конструкцій та споруд.

© Український державний університет  
залізничного транспорту, 2021

**ОСОБЛИВОСТІ ФАЗОУТВОРЕННЯ ШПІНЕЛЬНИХ СПОЛУК У  
СИСТЕМІ  $MgO - Al_2O_3 - TiO_2 - FeO$**

**SPECIFICATIONS OF PHASE-SIZING SPINELS IN THE SYSTEM  
 $MgO - Al_2O_3 - TiO_2 - FeO$**

*канд. техн. наук О.М. Борисенко<sup>1</sup>, докт. техн. наук С.М. Логвінков<sup>2</sup>,  
канд. техн. наук І.А. Остапенко<sup>3</sup>, докт. техн. наук Г.М. Шабанова<sup>1</sup>,  
канд. сільськогосп. наук А.А. Івашура<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> НТУ «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків)

<sup>2</sup> ХНЕУ ім. С. Кузнеця (м. Харків)

<sup>3</sup> ТОВ «Дружківський вогнетривкий завод» (м. Дружківка)

***O.M. Borysenko<sup>1</sup>, PhD (Tech.), S.M. Logvinkov<sup>2</sup>, D.Sc. (Tech.),  
I.A. Ostapenko<sup>3</sup>, PhD (Tech.), G.M. Shabanova<sup>1</sup>, D.Sc. (Tech.),  
A.A. Ivashura<sup>2</sup>, PhD (Agr.)***

<sup>1</sup> National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» (Kharkiv)

<sup>2</sup> Simon Kuznets Kharkov National University of Economics (Kharkiv)

<sup>3</sup> PSC «Druzhkovka Refractory Plant» (Druzhkivka)

Композиційний матеріали – це матеріали нового покоління, які за рахунок унікальних складу та властивостей можуть використовуватися в самих різних сферах: авіації, космічній техніці, автомобілебудуванні, гірничій промисловості, металургії, будівництві та інше.

Система  $MgO - Al_2O_3 - TiO_2 - FeO$  може бути основою для створення різноманітних композиційних матеріалів з заданим складом та унікальними властивостями. В цій системі термодинамічно стабільними фазами є  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $FeO$ ,  $MgAl_2O_4$  (алюмомагnezіальна шпінель),  $FeAl_2O_4$  (герциніт),  $Fe_2TiO_4$  (ульвошпінель),  $FeTi_2O_5$  (псевдобрукіт),  $MgTiO_3$  (гейкеліт),  $Mg_2TiO_4$  (кванділіт),  $MgTi_2O_5$  (карроїт),  $FeTiO_3$  (ільменіт),  $Al_2TiO_5$  (тіаліт).  $MgO$  та  $Al_2O_3$  є основою для створення низки матеріалів з цінними властивостями.

В промисловості  $MgO$  використовують для виробництва вогнетривів, цементів, очистки нафтопродуктів, як наповнювач під час виробництва резини. Цінні властивості оксиду алюмінію забезпечують йому стійкий попит в різних галузях промислового виробництва.  $TiO_2$  та  $FeO$  використовують в якості модифікаторів під час виробництва матеріалів різного призначення для підвищення фізико-технічних та експлуатаційних характеристик.

Цінним компонентом системи є титанат алюмінію  $Al_2TiO_5$  (тіаліт), але його використовують з матеріалами, які з ним утворюють тверді розчини або сполуки, наприклад,  $MgTi_2O_5$  (карроїт). Ці композиційні матеріали мають високу температуру плавлення, високу хімічну стійкість до кислого середовища і силікатних розплавів.

Титанат магнію (гейкеліт) є основним неорганічним діелектричним матеріалом з чудовими діелектричними властивостями.

Особливу увагу в системі MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – TiO<sub>2</sub> – FeO привертають шпінелі різного складу (табл. 1): MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (алюмомагнезіальна шпінель), FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (герцинит), Fe<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> (ульвошпінель) та Mg<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> (кванділіт).

Таблиця 1. Характеристика структури та властивості шпінельних фаз [1]

| № | Фаза                             | Кристалічна решітка | Тип решітки | Щільність, г/см <sup>3</sup> | T <sub>плавлення</sub> , К | ТКЛР, К <sup>-1</sup>   |
|---|----------------------------------|---------------------|-------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1 | MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | кубічна             | шпінелі     | 3,58                         | 2378                       | 8,0 · 10 <sup>-6</sup>  |
| 2 | FeAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> | кубічна             | шпінелі     | 4,39                         | 2053                       | 9,0 · 10 <sup>-6</sup>  |
| 3 | Fe <sub>2</sub> TiO <sub>4</sub> | кубічна             | шпінелі     | 4,82                         | 1668                       | –                       |
| 4 | Mg <sub>2</sub> TiO <sub>4</sub> | кубічна             | шпінелі     | 3,53                         | 2005                       | 11,2 · 10 <sup>-6</sup> |

Всі ці фази мають аналогічну кристалічну структуру шпінелі (табл. 1). MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> та FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ще називають нормальними шпінелями, а Fe<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> і Mg<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> оберненими. Характерною особливістю сполук цього класу є здатність утворювати тверді розчини заміщення. Сполуки групи шпінелей утворюють широкий діапазон твердих розчинів, а з підвищенням температури область їх існування підвищується. Все це дозволяє використовувати шпінелі як модифікатори у виробництві композиційних матеріалів різного призначення для підвищення їх експлуатаційних характеристик.

Раніше проведені термодинамічні дослідження системи MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – TiO<sub>2</sub> – FeO [2] показали складність будови цієї системи. Вище температури 1141 К незмінними залишаються елементарні тетраедри: MgO – FeO – Mg<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> – MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – Mg<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> – FeO – Fe<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>, FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – Mg<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> – MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – FeO та FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – MgTiO<sub>3</sub> – MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, до складу яких входять шпінельні фази.

У докладі ретельно розглянуті основні характеристики шпінелей системи MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – TiO<sub>2</sub> – FeO: MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (алюмомагнезіальна шпінель), FeAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (герцинит), Fe<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> (ульвошпінель) та Mg<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> (кванділіт). Приводиться термодинамічний аналіз співіснування різних видів шпінелей та наведено особливості фазоутворення цих шпінелей. Надано рекомендації щодо області застосування наведених шпінелей. Проаналізовано технологічні принципи створення периклазошпінельних композитів з термопластичною матрицею, що надає матеріалам адаптивні властивості, особливо, стійкість до циклічних змін температури з високим градієнтом.

[1] Бережной А. С. Многокомпонентные системы окислов. Киев: Издательство «Наукова думка», 1970. 544 с

[2] Borisenko O., Logvinkov S., Shabanova G., Mirgorod O. Thermodynamics of Solid-Phase Exchange Reactions Limiting the Subsolidus Structure of the System MgO – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – FeO – TiO<sub>2</sub>. Materials Science Forum. 2021. Vol. 1038. P. 177–184. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.177>.