

УДК 621.326

Олександр Іванов¹, Ph.D.; Павло Присяжнюк², к.т.н., доц., Сергій Мариненко³, к.т.н., доц.; Людмила Бодрова³, к.т.н., проф., Галина Крамар³, к.т.н., доц.; Ігор Коваль³, к.т.н., доц.

¹ВСП «Фаховий коледж електронних приладів ІФНТУНГ», Україна

²Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

³Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ТЕРМОДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФАЗОВОГО СКЛАДУ БАГАТОКОМПОНЕНТНОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ Fe-Me-C-B

Анотація. Обґрунтування важливості та проведення термодинамічного моделювання багатокомпонентної системи на основі Fe-Me-C-B

Ключові слова: термодинамічне моделювання, багатокомпонентна система, наплавлення порошковими електродами.

Olexandr Ivanov, Ph.D.; Pavlo Prysyazhnyuk, Ph.D., Assoc. Prof.; Sergiy Marynenko, Ph.D., Assoc. Prof.; Liudmyla Bodrova, Ph.D., Prof.; Halyna Kramar, Ph.D., Assoc. Prof.; Ihor Koval, Ph.D., Assoc. Prof.

THERMODYNAMIC MODELING OF THE PHASE COMPOSITION OF MULTICOMPONENT SYSTEM BASED ON Fe-Me-C-B

Abstract. Justification of the importance and thermodynamic modeling of a multicomponent system based on Fe-Me-C-B

Keywords: thermodynamic modeling, multicomponent system, welding with powder electrodes.

Термодинамічне [1, 2] та моделювання структури, що ґрунтуються на теоретичних та експериментальних даних, не тільки дозволяють прогнозувати властивості матеріалів, але і взаємодоповнюватись, для більш точного опису і аналізу закономірностей будови, формування структури, властивостей та інших чинників, що дозволяють ефективніше експлуатувати і використовувати матеріали відповідно до певних галузей.

Окремо, змодельовані і експериментальні дані, не дають вичерпної інформації щодо матеріалів. Проведення моделювання, незалежно від якості та методів, не дозволяє врахувати всі фактори та чинники, що впливають на формування матеріалу, а, відповідно, його структуру, властивості та експлуатаційні можливості. Отримання лише експериментальних даних потребує вкладання часу та ресурсів у проведення експериментів і не дозволяє прогнозувати властивості матеріалів подібного складу, оскільки результати експериментів базуються тільки на конкретному матеріалі. Саме тому для повного та детального дослідження матеріалів і їх властивостей необхідно поєднання моделювання та експериментальних досліджень.

Моделювання різного роду [3] важливе для різноманітних задач, включаючи також ті, в яких матеріали працюють в умовах підвищених абразивного зношування, ударної дії, температури. Під такий опис підпадають більшість сучасних, актуальних галузей, від тих, що пов'язані з виготовленням та обробкою будівної кераміки, обробкою ґрунту і деревної продукції, нафтогазопромислового сектору та інші.

Для вказаних вище галузей необхідно використання матеріалів, що економічно доцільно використовувати в таких умовах. В даному випадку економічна доцільність ґрунтується не тільки на вартості матеріалів, але і на їх експлуатаційних та технологічних властивостях. Важливим і є можливість відновлювати робочі поверхні деталей та елементів конструкцій, оскільки маса шару, що зношується в процесі роботи зазвичай становить тільки 2-6 % самої деталі. Відновлення дозволяє не тільки відновити робочу геометрію деталей, але і підвищити їх зносостійкість в декілька разів, що дозволяє забезпечити не тільки матеріал відновлення, але і матеріал самих деталей, яким, переважно, є високолегована сталь.

Вказані умови роботи це практично завжди підвищені питомі та циклічні навантаження (шнеки для виготовлення будівельної кераміки – 75 МПа, для виготовлення паливних брикетів/гранул > 45 МПа), ударні навантаження (корознімальні ножі, леза для подрібнення пластикових відходів), зношування закріпленим та незакріпленим абразивом (глинозем – 15...19 ГПа, кремнезем – 9...11 ГПа). Серед властивостей матеріалів для відновлення потрібно зазначити не тільки високу твердість, але і стійкість до абразивної дії. Створення такого матеріалу ускладнюється тим, що збільшення твердості матеріалу (для типових матеріалів для наплавлення на основі хрому і вольфраму) призводить до підвищення його крихкості. Для ефективної експлуатаційної роботи матеріалу потрібно забезпечення формування структури, що складається з твердих, дрібних, рівномірно-розподілених, рівновісних включень у відносно менш твердій матриці. Перспективними для таких цілей є багатокомпонентні системи, що на даний момент можна розглядати як відносно нові, а саме Fe-Me-B-C, де Me – карбідоутворюючий та боридоутворюючий метал IV – VI групи періодичної системи елементів, розглядаючи у якості кандидатів Ti, Nb, Mo. Додатково, на користь Ti, впливає і те, що в Україні знаходяться найбільші в Європі його ресурси та запаси (близько 17 родовищ, в Київській, Дніпропетровській, Харківській та Житомирській областях).

Враховуючи необхідність відновлення та підвищення зносостійкості деталей і елементів конструкцій актуальним для таких цілей є дугове наплавлення порошковими електродами [4, 5], оскільки відзначається простотою виконання, високою продуктивністю та універсальністю, дозволяючи застосовувати як метод для відновлення і підвищення зносостійкості, практично до будь-якої геометрії деталей і без особливої підготовки поверхні для нанесення матеріалу. Системою для нанесення обрано Fe-Ti-Mo-B-C у зв'язку з поширенням Ti в Україні та відносно низькою вивченістю Mo для застосування таким методом для відновлення та підвищення зносостійкості деталей.

Моделювання фазового складу у багатокомпонентних покриттях на основі заліза, у яких необхідний рівень зносостійкості забезпечується наявністю тугоплавких карбідів [6] та боридів, а також складних сполук на їх основі шляхом експериментальних досліджень є ускладненим через високі температури та широкі інтервали первинної кристалізації таких сполук. З огляду на це, найбільш раціональним шляхом для визначення температурно-концентраційних діапазонів існування фаз, необхідних для забезпечення зносостійкості є екстраполяція даних, відомих для систем нижчих порядків (подвійних та потрійних), які містять усі необхідні комбінації компонентів. Саме на таких засадах побудована методика CAPLHAD, відповідно до

Як висновок, розроблену модель можна використовувати для вибору оптимального співвідношення компонентів в системі для отримання матеріалу з необхідним фазовим складом для експериментального дослідження та виявлення експлуатаційно перспективних матеріалів. Подальші дослідження варто направити на експериментальну апробацію матеріалів і тестування моделі на відповідність її даних реальним.

Перелік посилань

1. Lozynskyi, Vasyl & Trembach, Bohdan & Hossain, Md. Mukter & Kabir, Mohammad & Silchenko, Yury & Krbaťa, Michal & Sadovyi, Kostiantyn & Kolomiitse, Oleksii & Ropyak, Liubomyr. (2024). Prediction of phase composition and mechanical properties Fe–Cr–C–B–Ti–Cu hardfacing alloys: Modeling and experimental Validations. *Heliyon*. 10. e25199. 10.1016/j.heliyon.2024.e25199.
2. Prysyazhnyuk, Pavlo & Di Tommaso, Devis. (2023). The thermodynamic and mechanical properties of Earth-abundant metal ternary boride Mo₂ (Fe,Mn)B₂ solid solutions for impact- and wear-resistant alloys. *Materials Advances*. 4. 10.1039/D3MA00313B.
3. Trembach, Bohdan & Hlushkova, D. & Hvozdettskyi, V. & Vynar, Vasyl & Zakiev, Vadim & Kabatskyi, O. & Savenok, D. & Zakavorotnyi, O.. (2023). Prediction of Fill Factor and Charge Density of Self-Shielding Flux-Cored Wire with Variable Composition. *Materials Science*. 59. 10.1007/s11003-023-00738-7.
4. Olexandr Ivanov, Pavlo Prysyazhnyuk, Liubomyr Shlapak, Sergiy Marynenko, Lyudmyla Bodrova, Halyna Kramar, Researching of the structure and properties of FCAW hardfacing based on Fe-Ti-Mo-B-C welded under low current, *Procedia Structural Integrity*, 36, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.028>.
5. Lozynskyi, Vasyl & Trembach, Bohdan & Katinas, Egidijus & Sadovyi, Kostiantyn & Krbaťa, Michal & Balenko, Oleksii & Krasnoshapka, Ihor & Rebrova, Olena & Knyazev, Sergey & Кабацкий, Алекс & Kniazieva, Hanna & Ropyak, Liubomyr. (2024). Effect of Exothermic Additions in Core Filler on Arc Stability and Microstructure during Self-Shielded, Flux-Cored Arc Welding. *Crystals*. 14. 335. 10.3390/cryst14040335.
6. Pavlo Prysyazhnyuk, Olexandr Ivanov, Oleh Matvienkiv, Sergiy Marynenko, Oleh Korol, Ihor Koval, Impact and abrasion wear resistance of the hardfacings based on high-manganese steel reinforced with multicomponent carbides of Ti-Nb-Mo-V-C system, *Procedia Structural Integrity*, 36, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2022.01.014>.
7. Hillert, M. "Some viewpoints on the use of a computer for calculating phase diagrams." *Physica B+ C* 103.1 (1981): 31-40. [https://doi.org/10.1016/0378-4363\(81\)91000-7](https://doi.org/10.1016/0378-4363(81)91000-7)