

УДК 544.344:536.7

**М.А. Турчанін^{1*}, К.Є. Корнієнко²,
Т.Я. Великанова²**

¹Донбаська державна машинобудівна академія,
вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, Донецька обл., Україна, 84313

*E-mail: mikhailturchanin@gmail.com

²Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України,
вул. Омеляна Пріцака, 3, Київ, Україна, 03142

ІНФОРМАЦІЯ ПРО ЩОРІЧНИЙ ЗВІТ УКРАЇНСЬКОЇ КОМІСІЇ З ДІАГРАМ СТАНУ ТА ТЕРМОДИНАМІКИ (2023 РІК)

Українська комісія з діаграм стану та термодинаміки з 1994 року є складовою Міжнародної комісії з діаграм стану (Alloy Phase Diagram International Commission, APDIC), у діяльності якої загалом беруть участь 18 представників від 26 країн світу. Серед пріоритетних задач діяльності Комісії — обмін науковою інформацією та координація діяльності міжнародної наукової спільноти, головним чином у галузі діаграм стану і термодинаміки фаз; сприяння застосуванню діаграм стану у промисловості та фундаментальній науці; розповсюдження методики критичної оцінки наукової інформації у світовій науці. В рамках щорічного звіту Української комісії на засіданні APDIC 30 червня 2023 року було представлено інформацію за результатами діяльності українських науковців у цій галузі у 2022 році. Її подано у вигляді таблиці з даними про вивчені системи і одержані результати, а також переліку посилань на видані роботи. Відповідну інформацію до Української комісії надали науковці Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка і Донбаської державної машинобудівної академії.

Ключові слова: APDIC, діаграма стану, термодинаміка фаз, щорічний звіт.

Вступ

Міжнародну комісію з діаграм стану металічних систем (Alloy Phase Diagram International Commission, APDIC) було створено у 1986 році в місті Орландо (штат Флорида, США), у відповідності до Меморандуму про взаєморозуміння. Серед пріоритетних задач діяльності Комісії — обмін науковою інформацією та координація діяльності міжнародної наукової спільноти, головним чином у галузі діаграм стану і термодинаміки фаз; сприяння застосуванню діаграм стану у промисловості та фундаментальній науці; розповсюдження методики критичної оцінки наукової інформації у світовій науці. Українська комісія з діаграм стану та термодинаміки з 1994 року є складовою APDIC, у діяльності якої загалом беруть участь 18

представників від 26 країн світу. Голова APDIC — доктор Урсула Каттнер (Національний інститут стандартів і технології, NIST, Гейтерсбург, штат Меріленд, США). Голова Української комісії з діаграм стану та термодинаміки — д. х. н., проф. Михайло Турчанін (Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА), м. Краматорськ), секретар — к. х. н., с. н. с. Костянтин Корнієнко (Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ). Члени APDIC самостійно виконують свої індивідуальні наукові програми та беруть участь у щорічних засіданнях для обговорення нагальних питань узгодження своєї діяльності. Такі засідання проводяться щорічно під час роботи Міжнародної конференції з комп'ютерного поєднання діаграм стану і термохімії (International Conference on Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry, CALPHAD).

Чергове засідання APDIC відбулося у змішаному режимі 30 червня 2023 року в рамках конференції CALPHAD L, що проходила з 25 по 30 червня 2023 року у місті Кембридж (штат Массачусетс, США). Від України у засіданні дистанційно взяв участь голова Української комісії з діаграм стану та термодинаміки професор Михайло Турчанін. На засіданні були розглянуті важливі питання, присвячені координації зусиль у дослідженні фазових рівноваг і побудові діаграм стану, стандартів якості їх оцінки і публікації результатів досліджень, а також поширенню отриманих даних у промисловості та наукових колах. На кожному щорічному засіданні APDIC традиційно присуджують нагороду за найкращу статтю в галузі діаграм стану і суміжних дисциплін, опубліковану у попередньому році. І в цьому році відбулась визначна подія — нагороду “Best Paper Award 2022” отримала стаття співробітників Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України Костянтина Корнієнка, Костянтина Мелешевича, Анатолія Самелюка і Людмили Криклі та співробітника Технічного центру НАН України Віктора Соболева під назвою “Phase Equilibria in the Al–Ti–Cr System during Solidification”, опублікована у журналі “Journal of Phase Equilibria and Diffusion” [1]. За рішенням APDIC кожний із співавторів отримує Сертифікат переможця і грошову премію. Подібну відзнаку українським вченим присуджують вже вдруге. Нагороду “Best Paper Award 2011” у 2012 році отримала стаття за співавторством науковців Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України Анатолія Бондара і Тамари Великанової під назвою “Phase Equilibria in Binary and Ternary Systems with Chemical and Magnetic Ordering”, опублікована у журналі “Journal of Phase Equilibria and Diffusion” [2]. Проте цьогогорічна нагорода є особливою — всі автори статті працюють у наукових установах України, експериментальне дослідження в повному обсязі виконане в Україні. Це демонструє високий потенціал української науки та здатність українських вчених у складних умовах створювати науково-технічну продукцію світового рівня.

Результати діяльності у 2022 році

Інформацію для щорічного звіту Української комісії з діаграм стану та термодинаміки на засіданні APDIC за результатами діяльності у 2022 році надали науковці Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича

НАН України (ІПМ НАНУ, м. Київ), Київського національного університету (КНУ) імені Тараса Шевченка і Донбаської державної машинобудівної академії (ДДМА, м. Краматорськ). Коротка інформація про результати досліджень представлена в таблиці.

В ІПМ НАНУ дослідження, пов'язані з вивченням діаграм стану, фазового складу сплавів і термодинаміки фаз, проводились у відділах фізичної хімії неорганічних матеріалів, фізико-хімії і технології тугоплавких оксидів та функціональної кераміки на основі рідкісних земель. Науковці відділу фізичної хімії неорганічних матеріалів вивчали фазові рівноваги та фазові перетворення у подвійних, потрійних та багатокомпонентних системах, утворених різноманітними елементами, зокрема алюмінієм, *d*-металами та рідкісноземельними елементами. Базуючись на результатах власного експериментального дослідження, уточнено характер фазових рівноваг при кристалізації сплавів у потрійних системах Al–Ti–Cr в області вмісту алюмінію від 40 до 100% (ат.) [1] та Cu–Ti–Zr (часткова система Ti–CuTi₂–CuZr₂–Zr [3]). Діаграми стану представлено у вигляді проекцій поверхонь ліквідуса і солідуса, діаграм плавкості, схем реакцій при кристалізації сплавів та серій політермічних розрізів. Досліджено фазові рівноваги у системах, утворених рідкісноземельним елементом гольмієм з *d*-металами — подвійній Co–Ho та потрійній Fe–Co–Ho [4]. Проаналізовано та систематизовано кристалічні структури сполук та діаграми стану подвійних систем PЗМ–Fe і PЗМ–Co (де PЗМ — рідкісноземельний метал) та потрійних систем Fe–Co–PЗМ, що дозволило зробити прогноз характеру фізико-хімічної взаємодії компонентів у ще не вивчених системах і оцінити достовірність наявних експериментальних даних [5]. Вивчено фазово-структурний стан штампової сталі з регульованим аустенітним перетворенням після оптимізованих температурних режимів термічної обробки (гартування та відпуск) [6]. Методом ізоперіболічної калориметрії визначено парціальні та інтегральні ентальпії змішування розплавів подвійної системи Cu–Yb [7].

У відділі фізико-хімії і технології тугоплавких оксидів вивчали структуру, фазовий склад та фізико-хімічні властивості нанопорошків високотемпературної оксидної системи, яка включає оксиди алюмінію, цирконію та рідкісноземельних металів ітрію і церію — Al–Ce–O–Y–Zr [8]. Досліджено процес утворення, структуру, хімічний і фазовий склад термобар'єрних покриттів Ni(Co)CrAlY/ZrO₂–Y₂O₃, отриманих шляхом фізичного осадження з парової фази за один технологічний цикл [9]. Підготовлено огляд літературної інформації щодо композитної кераміки для термобар'єрних покриттів, виготовленої з діоксиду цирконію, легованого оксидами рідкісноземельних елементів [10]. У відділі функціональної кераміки на основі рідкісних земель проводилися фундаментальні дослідження фазових рівноваг в системах оксидів вищої вогнетривкості (з температурою плавлення вище за 2000 °C) — Ce–Dy–La–O [11], Ce–Ho–La–O [12], Ce–La–O–Yb [13] та Hf–O–Sm–Zr [14].

В КНУ на кафедрі фізичної хімії проводились дослідження впливу складу на формування ближнього порядку у розплавах потрійної системи Al–Co–Sn [15]; із застосуванням методів високотемпературної рентгенівської дифракції та молекулярного динамічного моделювання вивчено розплави подвійної системи Al–Cu [16]. Методами високотемпературної рент-

Інформація про результати проведених досліджень

Система	Джерело	Одержаний результат
Al-C-Ca-Co-Cr-Cu-Fe-Mn-Mo-N-Nb-Ni-P-S-Si-V-W	[6]	Фазовий склад штампової сталі з регульованим аустенітним перетворенням
Al-C-Fe	[24]	Критичний огляд літературних даних щодо характеру фазових рівноваг та термодинамічних властивостей
Al-Ce-O-Y-Zr	[8]	Фізико-хімічні властивості ультратонких порошків системи Al_2O_3 - ZrO_2 - Y_2O_3 - CeO_2
Al-Co-Cr-O-Y-Zr	[9]	Формування, будова, хімічний і фазовий склад термобар'єрних покриттів
Al-Co-Sn	[15]	Високотемпературна рентгенівська дифракція та реверсне моделювання методом Монте-Карло
Al-Cr-Fe	[25]	Критичний огляд літературних даних щодо характеру фазових рівноваг та термодинамічних властивостей
Al-Cr-Ti	[1]	Діаграма стану системи в області складів 40–100% (ат.) Al за результатами експериментальних досліджень
Al-Cu	[16]	Високотемпературна рентгенівська дифракція та молекулярне динамічне моделювання
Al-Fe-Ni	[26]	Критичний огляд літературних даних щодо характеру фазових рівноваг та термодинамічних властивостей
Al-Fe-O	[27]	Критичний огляд літературних даних щодо характеру фазових рівноваг та термодинамічних властивостей
Al-Fe-P	[28]	Критичний огляд літературних даних щодо характеру фазових рівноваг та термодинамічних властивостей
Al-Fe-Si	[29]	Критичний огляд літературних даних щодо характеру фазових рівноваг та термодинамічних властивостей
Al-Fe-Ta	[30]	Критичний огляд літературних даних щодо характеру фазових рівноваг та термодинамічних властивостей
Al-Fe-Ti	[31]	Критичний огляд літературних даних щодо характеру фазових рівноваг та термодинамічних властивостей
Al-Fe-V	[32]	Критичний огляд літературних даних щодо характеру фазових рівноваг та термодинамічних властивостей
Al-Mg	[18]	Високотемпературна рентгенівська дифракція та реверсне моделювання методом Монте-Карло
Al-Ni-Sn	[17]	Високотемпературна рентгенівська дифракція та реверсне моделювання методом Монте-Карло
Ce-Dy-La-O	[11]	Ізотермічний розріз системи CeO_2 - La_2O_3 - Dy_2O_3 при 1500 °C
Ce-Ho-La-O	[12]	Ізотермічний розріз системи CeO_2 - La_2O_3 - Ho_2O_3 при 1500 °C
Ce-La-O-Yb	[13]	Ізотермічний розріз системи CeO_2 - La_2O_3 - Yb_2O_3 при 1500 °C
Co-Fe-Ho	[4]	Діаграма стану системи за результатами експериментальних досліджень
Co-Hf-Ti	[19]	Ентальпії змішування розплавів при 1900 К вздовж перерізів $x_{Co}/x_{Hf} = 3$ при $x_{Ti} = 0-0,55$ та $x_{Co}/x_{Ti} = 3$ при $x_{Hf} = 0-0,51$ і термодинамічні функції змішування при 1873 К, розраховані в рамках MAP

Система	Джерело	Одержаний результат
Co–Ho	[4]	Діаграма стану системи за результатами експериментальних досліджень
Cu–Hf–Ti	[19]	Термодинамічні функції змішування розплавів при 1873 К, розраховані в рамках MAP
Cu–Yb	[7]	Ентальпії змішування розплавів при 1453 К та $x_{Cu} = 0-0,7$
Cu–Ti–Zr	[3]	Діаграма стану часткової системи Ti–CuTi ₂ –CuZr ₂ –Zr за результатами експериментальних досліджень
Fe–Hf–Ni	[20]	Ентальпії змішування розплавів при 1873 К уздовж перерізів $x_{Fe}/x_{Ni} = 3/1$ при $x_{Hf} = 0-0,18$, $x_{Fe}/x_{Ni} = 1/1$ та $x_{Fe}/x_{Ni} = 1/3$ при $x_{Hf} = 0-0,46$; результати моделювання термодинамічних функцій змішування рідких сплавів в рамках MAP і прогноз концентраційної області їх аморфізації
Fe–Ni–Ti	[21]	Ізотерма інтегральної ентальпії змішування при 1873 К
	[21]	Ентальпії змішування розплавів при 1873 К вздовж перерізу $x_{Fe}/x_{Ni} = 1$ при $x_{Ti} = 0-0,15$ та ізотерма інтегральної ентальпії змішування при 1873 К
Fe–Ni–Zr	[22]	Ентальпії змішування розплавів при 1873 К вздовж перерізу $x_{Fe}/x_{Ni} = 1/1$ при $x_{Zr} = 0-0,45$ і результати моделювання термодинамічних функцій змішування рідких сплавів в рамках MAP
	[21]	Ізотерма інтегральної ентальпії змішування при 1873 К
Hf–Ni–Ti	[19]	Термодинамічні функції змішування розплавів при 1873 К, розраховані в рамках MAP
Hf–O–Sm–Zr	[14]	Ізотермічний розріз системи ZrO ₂ –HfO ₂ –Sm ₂ O ₃ при 1500 °C

генівської дифракції та реверсним моделюванням методом Монте-Карло досліджено розплави потрійної системи Al–Ni–Sn [17] та локальну атомну структуру рідкого сплаву Mg₁₃Al₈₇ [18].

В ДДМА в лабораторії фізико-хімічних властивостей металевих розплавів продовжувалися роботи з вивчення термодинамічних властивостей розплавів аморфоутворюючих систем. Методом високотемпературної калориметрії були досліджені парціальні й інтегральні ентальпії змішування компонентів розплавів Co–Hf–Ti [19], Fe–Hf–Ni [20], Fe–Ni–Ti [21] і Fe–Ni–Zr [22]. Для цих розплавів в рамках моделі асоційованого розчину (MAP) розраховані термодинамічні функції змішування, що дозволило встановити закономірності їх зміни в рядах трикомпонентних систем (Co, Ni, Cu)–Hf–Ti [19] і Fe–Ni–(Ti, Zr, Hf) [21].

Як і в попередні роки, науковці України плідно співпрацювали з багаторічним партнером Materials Science International Services GmbH (MSI) (Міжнародна служба з матеріалознавства, Штуттгарт, Німеччина). Результатом спільних зусиль став випуск двадцять першого тому довідника Ternary Alloys — “Selected Al–Fe–X Ternary Systems for Industrial Applications”, опублікований у 2022 році видавництвом MSI [23]. Кандидат хіміч-

них наук Лія Древалі спільно з видавництвом MSI безпосередньо працювала над підготовкою довідника в якості асоційованого редактора та автора оглядів (разом з Анатолієм Бондаром, Костянтином Корнієнком, Оксаною Тимошенко, Василем Томашиком та Михайлом Турчаніним). Усього за участю українських науковців у двадцять першому випуску довідника опубліковано критичні огляди для 9 систем: Al–C–Fe [24], Al–Cr–Fe [25], Al–Fe–Ni [26], Al–Fe–O [27], Al–Fe–P [28], Al–Fe–Si [29], Al–Fe–Ta [30], Al–Fe–Ti [31] та Al–Fe–V [32].

Проведення наступного засідання APDIC планується в червні 2024 року у місті Карлсруе (Німеччина).

M.A. Turchanin, K.Ye. Korniyenko, T.Ya. Velikanova

INFORMATION ON THE ANNUAL REPORT OF THE UKRAINIAN PHASE DIAGRAMS AND THERMODYNAMICS COMMISSION (2023)

Since 1994, the Ukrainian Phase Diagrams and Thermodynamics Commission has been a part of the Alloy Phase Diagram International Commission (APDIC), in which 18 representatives from 26 countries of the world participate in its activities. APDIC's priority tasks include exchanging scientific information and coordinating the activities of the international scientific community, mainly in the field of phase diagrams and thermodynamics, promoting the application of phase diagrams in industry and basic research, and disseminating the methodology of critical evaluation of scientific information in world science. As part of the annual report of the Ukrainian Commission, at the APDIC meeting on June 30, 2023, information was presented on the results of the activities of Ukrainian scientists in this field in 2022. It is presented in the form of a table with data on the studied systems and obtained results and a list of references to published papers. Scientists from the Frantsevich Institute for Problems of Materials Science (National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv), Taras Shevchenko National University of Kyiv (Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv), and Donbas State Engineering Academy (Ministry of Education and Science of Ukraine, Kramatorsk) provided relevant information to the Ukrainian Commission.

Keywords: APDIC, phase diagram, thermodynamics of phases, annual report.

Декларації про відповідальність

Конфлікт інтересів. Автори заявляють, що вони не мають потенційного конфлікту інтересів щодо результатів дослідження, описаних у цій статті.

Джерела фінансування. Автори заявляють, що під час підготовки цього рукопису не отримували жодних коштів, грантів чи іншої фінансової підтримки.

Внесок авторів. Всі автори зробили рівноцінний внесок у цю роботу. Всі автори прочитали і схвалили остаточний варіант рукопису.

Список літератури

1. Korniyenko K., Meleshevich K., Samelyuk A., Sobolev V., Kriklya L. Phase equilibria in the Al–Ti–Cr system during solidification. *J. Phase Equilib. Diff.* 2022. Vol. 43, No. 4. P. 427–447. DOI:10.1007/s11669-022-00983-4.
2. Witusiewicz V., Bondar A., Hecht U., Velikanova T.Y. Phase equilibria in binary and ternary systems with chemical and magnetic ordering. *J. Phase Equilib. Diff.* 2011. Vol. 32, No. 4. P. 329–349. DOI: 10.1007/s11669-011-9910-1.
3. Storchak A.M., Velikanova T.Ya., Petyukh V.M., Samelyuk A.V., Sobolev V.B., Bulanov M.V. Phase equilibria in the Ti–CuTi₂–CuZr₂–Zr region of the ternary Cu–Ti–Zr system. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2022. Vol. 61, No. 5–6. P. 337–349. DOI:10.1007/s11106-022-00321-w.

4. Fartushna I., Samelyuk A., Koval A., Meleshevich K., Tikhonova I., Bulanova M. Ho–Co and Ho–Co–Fe phase diagrams. *Calphad*. 2022. Vol. 79. P. 102495. DOI:10.1016/j.calphad.2022.102495.
5. Fartushna Iu.V., Bulanova M.V. Prediction of the Rem–Fe–Co Phase diagrams in melting-crystallization region. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2022. Vol. 61, No. 1–2. P. 77–106. DOI:10.1007/s11106-022-00297-7.
6. Sydorchuk O.M., Myslyvchenko O.M., Gogaevb K.O., Hongguang Ye. Structure and properties of forged steel with regulated austenite transformation. *Mater. Sci.* 2022. Vol. 58, No. 1. P. 119–125. DOI:10.1007/s11003-022-00639-1.
7. Dudnyk A.S., Sudavtsova V.S., Romanova L.O., Kudin V.G., Ivanov M.I., Shevchenko M.O. Thermodynamic properties of alloys and phase equilibria in the Cu–Yb system. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2022. Vol. 61, No 5–6. P. 350–359. DOI:10.1007/s11106-022-00325-6.
8. Smyrnova-Zamkova M.Yu., Dudnik O.V., Bykov O.I., Ruban O.K., Khomenko O.I. Changes in the properties of ultrafine $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--ZrO}_2\text{--Y}_2\text{O}_3\text{--CeO}_2$ powders after heat treatment in the range 400–1450 °C. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2022. Vol. 60, No 9–10. P. 519–530. DOI:10.1007/s11106-022-00265-1.
9. Grechanyuk M.I., Grechanyuk I.M., Yevterev Y.N., Grechanyuk V.G., Prikhna T.O., Bagliuk G.A., Hots V.I., Khomenko O.V., Dudnik O.V., Matsenko O.V. Electron-beam and plasma oxidation-resistant and thermal-barrier coatings deposited on turbine blades using cast and powder Ni (Co)CrAlY (Si) alloys produced by electron beam melting. III. Formation, structure, and chemical and phase composition of thermal-barrier Ni(Co)CrAlY/ZrO₂–Y₂O₃ coatings produced by physical vapor deposition in one process cycle. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2022. Vol. 61, No 5–6. P. 328–336. DOI:10.1007/s11106-022-00320-x.
10. Dudnik O.V., Lakiza S.M., Grechanyuk M.I., Red'ko V.P., Marek I.O., Makudera A.O., Shmibelsky V.B., Ruban O.K. Composite ceramics for thermal-barrier coatings produced from zirconia doped with rare earth oxides. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2022. Vol. 61, No 7–8. P. 441–450. DOI:10.1007/s11106-023-00331-2.
11. Korniienko O.A., Yushkevych S.V., Bykov O.I., Samelyuk A.V., Bataiev Yu.M. Phase equilibrium in binary $\text{La}_2\text{O}_3\text{--Dy}_2\text{O}_3$ and ternary $\text{CeO}_2\text{--La}_2\text{O}_3\text{--Dy}_2\text{O}_3$ systems. *J. Europ. Ceram. Soc.* 2022. Vol. 42, No. 13. P. 5820–5830. DOI:10.1016/j.jeurceramsoc.2022.06.045.
12. Korniienko O.A., Yushkevych S.V., Bykov O.I., Samelyuk A.V., Bataiev Yu.M., Zamula M.V. Phase relation studies in the $\text{CeO}_2\text{--La}_2\text{O}_3\text{--Ho}_2\text{O}_3$ system at temperature of 1500 °C. *Mater. Today Comm.* 2023. Vol. 35. P. 105789. DOI:10.1016/j.mtcomm.2023.105789.
13. Kornienko O.A., Yushkevych S.V., Bykov O.I., Samelyuk A.V., Bataiev Yu.M., Zamula M.V. Phase equilibrium in the ternary $\text{CeO}_2\text{--La}_2\text{O}_3\text{--Yb}_2\text{O}_3$ system at 1500 °C. *Sol. St. Phenomena*. 2022. Vol. 331. P. 159–172. DOI:10.4028/p-4000g3.
14. Yurchenko Yu.V., Kornienko O.A., Bykov O.I., Samelyuk A.V., Yushkevych S.V., Bataiev Yu.M., Zamula M.V. Phase equilibria in the $\text{ZrO}_2\text{--HfO}_2\text{--Sm}_2\text{O}_3$ system at 1500 °C. *Chem. Thermodyn. Thermal Analysis*. 2022. Vol. 8. P. 100093. DOI:10.1016/j.ctta.2022.100093.
15. Roik O.S., Yakovenko O.M., Kashirina Ya.O., Kazimirov V.P., Sokol'skii V.E., Rebenko M.Yu., Galushko S.M., Golovataya N.V. The short-range order in liquid Al–Co–Sn alloys. *Phys. Chem. Liquids*. 2022. Vol. 60. P. 625–635. DOI:10.1080/00319104.2021.2025372.
16. Kashyryina Y.O., Muratov A.S., Kazimirov V.P., Roik O.S. X-ray diffraction study and molecular dynamic simulation of liquid Al–Cu alloys: a new data and interatomic potentials comparison. *J. Molecular Modeling*. 2022. Vol. 28, No. 7. Article. 203. DOI:10.1007/s00894-022-05181-0.
17. Yakovenko O., Kashyryina, Y., Kazimirov V., Sokol'skii V., Golovataya N., Galushko, S., Roik O. Structure of liquid Al–Ni–Sn. *Mater. Today: Proc.* 2022. Vol. 62, No. 15. P. 7660–7663. DOI:10.1016/j.matpr.2022.02.491.
18. Kirian I.M., Rud A.D., Roik O.S., Kazimirov V.P., Yakovenko O.M., Lakhnik A.M. Local atomic structure of liquid $\text{Al}_{87}\text{Mg}_{13}$ alloy. *J. Non-Crystall. Sol.* 2022. Vol. 586. P. 121562. DOI:10.1016/j.jnoncrysol.2022.121562.

19. Turchanin M., Agraval P., Dreval L., Vodopyanova A., Korsun V. Mixing enthalpy of the Co–Ti–Hf liquid alloys and regularities of the function change in the row of the ternary (Co, Ni, Cu)–Ti–Hf glass-forming melts. *Mater. Today: Proc.* 2022. Vol. 62. P. 7681–7685. DOI:10.1016/j.matpr.2022.03.130.
20. Dreval L., Korsun V., Agraval P., Vodopyanova A., Turchanin M. Interaction of the components in liquid glass-forming Fe–Hf–Ni alloys. *J. Chem. Thermodyn.* 2022. Vol. 173, No. 10. P. 106851. DOI:10.1016/j.jct.2022.106851.
21. Turchanin M.A., Dreval L.O., Agraval P.G., Korsun V.A., Vodopyanova A.O. Interaction of components in glass-forming melts of iron and nickel with titanium, zirconium, and hafnium. I. Mixing enthalpies of liquid alloys. *Powder Metall. Met. Ceram.* 2022. Vol. 60, No. 9–10. P. 617–625. DOI: 10.1007/s11106-022-00274-0.
22. Dreval L., Korsun V., Agraval P., Turchanin M., Vodopyanova A. Thermodynamic mixing functions of the Fe–Ni–Zr liquid alloys. *Mater. Today: Proc.* 2022. Vol. 62. P. 7698–7702. DOI:10.1016/j.matpr.2022.03.172.
23. *Ternary Alloys: A Comprehensive Compendium of Evaluated Constitutional Data and Phase Diagrams.* Stuttgart: Materials Science International, 2022. Vol. 21. Selected Al–Fe–X Ternary Systems for Industrial Applications; редактори F. Stein, M. Palm; асоцiйовані редактори Л. Древаль, О. Довбенко, С. Ільєнко. 596 pp. ISBN 978-3-932120-51-0.
24. Tymoshenko O., Bondar A., Dovbenko O. *Aluminium–Carbon–Iron. Selected Al–Fe–X Ternary Systems for Industrial Applications.* Stuttgart: Materials Science International, 2022. Vol. 21. P. 51–72.
25. Korniyenko K., Dreval L. *Aluminium–Chromium–Iron. Selected Al–Fe–X Ternary Systems for Industrial Applications.* Stuttgart: Materials Science International, 2022. Vol. 21. P. 100–146.
26. Cacciamani G., Fenocchio L., Dreval L. *Aluminium–Iron–Nickel. Selected Al–Fe–X Ternary Systems for Industrial Applications.* Stuttgart: Materials Science International, 2022. Vol. 21. P. 266–314.
27. Kubaschewski O., Schmid-Fetzer R., Rokhlin L., Cornishn L., Fabrichnaya O., Dreval L. *Aluminium–Iron–Oxygen. Selected Al–Fe–X Ternary Systems for Industrial Applications.* Stuttgart: Materials Science International, 2022. Vol. 21 P. 315–351.
28. Schmid-Fetzer R., Tomashyk V., Dreval L. *Aluminium–Iron–Phosphorus. Selected Al–Fe–X Ternary Systems for Industrial Applications.* Stuttgart: Materials Science International, 2022. Vol. 21. P. 352–367.
29. Li X., Liu Sh., Du Y., Turchanin M., Dreval L. *Aluminium–Iron–Silicon. Selected Al–Fe–X Ternary Systems for Industrial Applications.* Stuttgart: Materials Science International, 2022. Vol. 21. P. 381–436.
30. Bondar A., Tymoshenko O., Dovbenko O. *Aluminium–Iron–Tantalum. Selected Al–Fe–X Ternary Systems for Industrial Applications.* Stuttgart: Materials Science International, 2022. Vol. 21. P. 447–473.
31. Stein F., Korniyenko K. *Aluminium–Iron–Titanium. Selected Al–Fe–X Ternary Systems for Industrial Applications.* Stuttgart: Materials Science International, 2022. Vol. 21. P. 474–515.
32. Korniyenko K. *Aluminium–Iron–Vanadium. Selected Al–Fe–X Ternary Systems for Industrial Applications.* Stuttgart: Materials Science International, 2022. Vol. 21. P. 516–536.

Стаття надійшла 1.08.2023