**Звіт про науково-дослідну роботу: „Діаграми стану та термодинаміка сплавів багатокомпонентних систем на основі титану, металів VIII групи та рідкісноземельних елементів як фізико-хімічний базис** **дизайну високоміцних складнолегованих сплавів, титан- і алюміній-матричних композитів функціональних матеріалів з особливими властивостями”**

**Мета роботи** - одержання нової наукової інформації про термодинамічні властивості сплавів та фазові рівноваги у багатокомпонентних системах, утворених РЗМ, d-металами та p-елементами; визначення областей можливого використання досліджених сплавів і формулювання відповідних рекомендацій на основі результатів дослідження властивостей, вибраних в залежності від очікуваного призначення (механічних, термомеханічних та інших).

Терміни виконання наукової роботи: початок І кв. 2013 р.

закінчення IV кв. 2015 р.

**Керівник роботи**: Великанова Тамара Яківна, д. х. н., ( Email:velikanova@ipms.kiev.ua)

**Скорочений зміст висновків рецензентів.**

Результати проведеного дослідження термодинамічних властивостей та фазових рівноваг різноманітних об’єктів у широких інтервалах температур і концентрацій представлено у шести томах заключного звіту, підготовленого колективом відділу фізичної хімії неорганічних матеріалів та співробітниками відділів-співвиконавців Інституту проблем матеріалознавства імені І. М. Францевича НАН України протягом трьох років (2013-2015). За цей час отримано великий об’єм цінної інформації.

Отримана наукова інформація - надійний довідниковий матеріал, який буде включений у відповідні довідники та бази даних. Представлені у звіті дані, а також конкретні рекомендації щодо їх використання для розробки нових матеріалів чи покращення існуючих, будуть корисні хімікам, фізикам та матеріалознавцям, які розробляють нові матеріали різноманітного призначення.

Рецензована робата - це продовження традиційних для відділу фізичної хімії неорганічних матеріалів систематичних досліджень фазових рівноваг та термодинамічних властивостей сплавів металічних систем. Враховуючи високий науковий потенціал колективу виконавців звіту, який рецензується, і актуальність роботи для сучасного матеріалознавства, вважаю за необхідне рекомендувати подальше продовження і розвиток таких досліджень. Безумовно, виконана робота заслуговує на високу оцінку.

**Пропозиції про подальше використання результатів роботи.**

Нові дані щодо термодина­мічних властивостей та діаграм стану можна рекомендувати до включення у відповідні довідники та бази даних.

Дані про реєстрацію роботи: № 0113U000310

**РЕФЕРАТ**

**Мета роботи** - одержання нової наукової інформації про термодинамічні властивості сплавів та фазові рівноваги у багатокомпонентних системах, утворених РЗМ, d-металами та p-елементами; визначення областей можливого використання досліджених сплавів і формулювання відповідних рекомендацій на основі результатів дослідження властивостей, вибраних в залежності від очікуваного призначення (механічних, термомеханічних та інших).

**Об’єкти дослідження** - фазові рівноваги та діаграми стану четверної системи Ті-Аl-Nb-Сг, потрійних Аl-Мn-Fе, Аl-Ni (Ті, Рd)-Pt, АІ-Сг-Sі, Нf-Ru-Rh, Co-Ni-Zr, Тi-Со (Ni)-Sn, Сu (Ni)-Ті-Zг, Ті-АІ-С (Сг), Мо-Со (Nb)-В, та подвійних систем Аl-Рt і Мо-В; термодинамічні властивості подвійних та потрійних сплавів РЗМ з 3d/-перехідними металами та алюмінієм Fе-Рr (Еu, Dу, Тb, Уb, Lu, Sс), Со-Рr (Sс, У), Аl-Nі-У (Се), Sс-Мn (Nі, А1), У (Се)-Ni; мікроструктура і кінетика росту боридних шарів на межі розділу сплаву Fе-5% (мас.) Сг з бором.

**Методи дослідження** - оптична та електронна мікроскопія (СЕМ, ТЕМ, ВРТЕМ); рентгенівська та електронна дифракція - рентгенівський фазовий аналіз (РФА), дифракція відбитих електронів; локальний рентгеноспектральний аналіз (ЛРСА); дисперсійна рентгенівська спектроскопія за довжиною хвилі (ДРСДХ); диференційний термічний аналіз (ДТА); високотемпературна калориметрія змішування ізопериболічного типу; хімічний аналіз; термодинамічне моделювання (АРDІС - ТhегmоСаlс).

Досліджено фазові рівноваги та вперше побудовані (або уточнені) діаграми стану четверної системи Ті-Аl-Nb-Сг та потрійних А1-Мn-Fе, А1-Ni (Ті, Pd)-Pt, АІ-Сг-Sі, Нf-Ru- Rh, Со-Nі-Zr, Ті-Со (Ni)-Sn, Сu (Ni)-Ті-Zг, Ті-АІ-С (Сг), Мо-Со (Nb)-В в широкому інтервалі концентрацій та температур (включаючи області кристалізації сплавів), які представлено у вигляді ізотермічних перерізів і політермічних розрізів, проекцій поверхонь ліквідусу і солідусу, діаграм плавкості, реакційних схем. Вперше визначено термодинамічні властивості подвійних та потрійних сплавів РЗМ з 3d-перехідними металами та алюмінієм Fе-Рr (Еu, Dу, Тb, Уb, Lu, Sс), Со-Рг (Sс, У), АІ-Nі-У (Се), Sс-Мn (Nі, А1), У (Се)-Ni. Виявлено 5 нових потрійних та одну подвійну сполуки, встановлено спосіб утворення і параметри стабільності. Ідентифіковано кристалічну структуру 4 потрійних і подвійної сполук. Виявлено нові квазікристалоутворюючі системи, жароміцні і жаростійкі сплави на основі АІ-Ті та МАХ-фаз, сплави за участю фаз Гейслера.

**Ключові слова**: ДІАГРАМА СТАНУ, ФАЗА, ФАЗОВІ РІВНОВАГИ, ТЕРМОДИНАМІКА, ТИТАН, АЛЮМІНІЙ, СКЛАДНОЛЕГОВАНИЙ СПЛАВ, КОМПОЗИТ, ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ МАТЕРІАЛ.

**Публікації**

Буланова М. В., Буянов Ю. І., Великанова Т. Я., Горбачук М. П., Сидорко В. Р. Диаграммы состояния и термодинамика фаз в бинарных системах редкоземельных металлов с кремнием. Справочник. - / Национальная академия наук Украины, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича. - К. : Наукова думка, 2013. - 207 с. (Ум. друк. арк. 13,0; Обл.-вид. арк. 13,0). - 300 пр. - ISBN 978-966-00-1321-6.

Dybkov V. I. Chemical Kinetics. - Національна академія наук України. Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича, 2013. - 286 с. (Ум. друк. арк. 16,29). - ISBN 978-966-02-7029-9. Онлайн-версія: ISBN 978-966-02-7030-5, IPMS Publications, Kyiv, 2013.

Dybkov V. I. Solid State Reaction Kinetics. - Національна академія наук України. Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича, 2013. - 398 с. (Ум. друк. арк. 22,62). - ISBN 978-966-02-6761- Онлайн-версія: ISBN 978-966-02-6762-6, IPMS Publications, Kyiv, 2013.

Dybkov V. I. Thermochemical Bonding of Iron-Chromium Alloys. - Національна академія наук України. Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича, 2015. - 124 с. (Ум. друк. арк. 7,13). - ISBN 978-966-02-7668-0. Онлайн-версія: ISBN 978-966-02-7669- 7, IPMS Publications, Kyiv, 2015.

Enthalpies of mixing in liquid alloys of iron with the lanthanides / M. Ivanov, V. Berezutski, N. Usenko, N. Kotova. // Internat. J. Materials research.. - 2013. - №104. - C 849 - 857.

Термодинамические свойства расплавов системы Al-La / В. Г. Кудин, М. А. Шевченко, И. В. Матейко, В. С. Судавцова. // Журн. физ. химии. - 2013. - №87. - С. 364-370.

Термодинамические свойства расплавов Al-Eu-Sn / [М. И. Иванов, В. Березуцкий, В. Г. Кудин та ін.]. // Неорганические материалы. - 2013. - №49. -913-916.

Взаємодія в сплавах систем, що містять європій /[М. І. Іванов, В. В. Березуцький, М. О. Шевченко та ін.]. // Доповіді НАНУ. - 2013. - №8. - С. 90-99.

Термодинамические свойства расплавов тройных систем Al-Ni-P3M/ [Л. А. Романова, М. А. Шевченко, В. Г. Кудин та ін.]. // Современные проблемы физического материаловедения. Вып.22: Труды ИПМ им. Францевича НАНУ. - Киев, - С.154-158.

Термодинамические свойства расплавов двойных систем Ag(Au)-Sm / [В. С. Судавцова, М. А. Шевченко, В. В. Березуцкий та ін.]. // Журн. физ. химии. - 2014. - №88. - С. 209- 215. -DOI: 10.1134/S0036024414020265).

Термодинамічні властивості сплавів системи Al-Sc /[М. О. Шевченко,Г. Кудін, В. В. Березуцький та ін.]. // Порошковая металлургия. - 2014. - № 3/4. -151-157.

Термодинамические свойства расплавов систем Eu-Pt и Al-Eu-Pt/ [М. И. Иванов, В. В. Березуцкий, В. Г. Кудин та ін.]. // Неорганические материалы. - -№50.-С. 345-348.

Термодинамические свойства сплавов систем Al-Со и Al-Co-Sc/[М. А. Шевченко, В. В. Березуцкий, М. И. Иванов та ін.]. // Журн. физ. химии. - 2014. - №88. - С. 729-735. - DOI: 10.1134/S003602441405029X).

Термодинамические свойства и фазовые равновесия в сплавах двойных систем Al(Si)- Се / [В. С. Судавцова, М. А. Шевченко, В. В. Березуцкий та ін.]. // Журн. физ. химии. - 2014,-№88.-С. 736-746.

Термодинамические свойства сплавов систем Ni-Sc и Ni-Y / [М. А. Шевченко, М. И. Иванов, В. В. Березуцкий та ін.]. // Журн. физ. химии. - 2014. - №88. - С. 909-914. - DOI: 10.1134/S0036024414060284).

Термодинамические свойства жидких сплавов Ni-Eu и Ni-Yb / В. В. Березуцкий, М. А. Шевченко, М. И. Иванов, В. С. Судавцова. // Журнал физической химии. - 2014. - №88. - С. 1297-1306.-DOI: 10.1134/S0036024414090064).

Оцінки координат кривої ліквідуса діаграм стану подвійних систем / [М. О. Шевченко, В. Г. Кудін, В. В. Березуцький та ін.]. // Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении. Труды ИПМ им. И.Н. Францевича НАНУ. - Киев, -№16.-С. 43-51.

Thermodynamic properties of alloys of the binary Al-Sm, Sm-Sn and ternary Al-Sm-Sn systems / [M. O. Shevchenko, V. V. Berezutski, M. I. Ivanov та ін.]. // J. Phase Equil. Diff.. -- №36. - C. 39-52. - DOI: 10.1007/sl 1669-014-0353-3.

Термодинамические свойства сплавов двойных систем Al-Се и Ce-Fe / [М. И. Иванов,

В. Березуцкий, М. А. Шевченко та ін.]. // Порошковая металлургия. - 2015. - №54. - 99-114.-DOI: 10.1007/sl 1106-015-9683-х).

Термодинамические свойства сплавов двойных систем Al-Се и Ce-Fe /[В. Г. Кудин, М. И. Иванов, В. В. Березуцкий та ін.]. // Порошковая металлургия. - 2015.- №54. - С. 99-114.

Термодинамические свойства сплавов систем Co-Sc и Co-Y / [М. А. Шевченко, М. И. Иванов, В. В. Березуцкий та ін.]. // Журнал физической химии. - 2015. - №89. - С. 905-914.

Термодинамічні властивості сплавів подвійної системи Eu-In / В. В. Березуцький, М. І. Іванов, М. О. Шевченко, В. С. Судавцова. // Порошковая металлургия. - 2014. - №53.-С. 93-103.

Термодинамічні властивості сплавів подвійної системи Се-In / М. І. Іванов, В. В. Березуцький, М. О. Шевченко, В. С. Судавцова. // Порошковая металлургия. - 2015. - №54.-С. 84-92.

Термодинамічні властивості сплавів подвійної системи Ce-Ni / [М.І. Іванов,В.В. Березуцький, М. О. Шевченко та ін.]. // Порошковая металлургия. - 2015. - №9-10. -С. 106-116.

Balanetskyy S. The Al-Rich Region of the Al-Fe-Mn Alloy System / S. Balanetskyy,

Pavlyuchkov, T. Ya. Velikanova a. o. // J. Alloys Comp. - 2015. - Vol. 619. - P. 211-220.

Grushko B. Al-rich Region of Al-Pt / B. Grushko, D.Kapush, J. Su a. o. // // J. Alloys and Compounds. - 2013. - Vol. 580. a- P. 618-625.

Grushko B. A. Refinement of the Al-Ni-Pt Phase Diagram / B. Grushko, D. Kapush // J. Alloys and Compounds. - 2014. - Vol. 594. - P. 127-132.

Grushko B. A Study of the Al-Pd-Pt Alloy System / B. Grushko, D. Kapush, S. Samuha a. o.// J. Alloys and Compounds. - 2014. - ol. 600. - P. 125-129.

Crystal Structures of the Al-Ti-Pt T5 and Тб Phases Solved by Zonal Precession Electron Diffraction / [S. Samuha, D. Pavlyuchkov, O. Zaikina та ін.]. // J. Alloys and Compounds. - 2015.- 621. -C. 47-52.

Grushko B. Binary Origin of the Al-Cr-Si тз-Phase / B. Grushko, D. Pavlyuchkov. // J. Alloys and Compounds. - 2015. - 622. - C. 327-332.

Строение сплавов и диаграмма фазовых равновесий системы Hf-Ru-Rh. I. Поверхность солидуса частичной системы Hf-HfRu-HfRh / [Л. С. Крикля, К. Е. Корниенко, , В. Г. Хоружая та ін.]. // Порошковая металлургия. - 2015. - №9/10. - С. 80-97.

Строение сплавов и диаграмма фазовых равновесий системы Hf-Ru-Rh.

II. Поверхность ликвидуса, диаграмма плавкости и политермические разрезы частичной системы Hf-HfRu-HfRh / [Л. С. Крикля, К. Е. Корниенко, В. Г. Хоружая та ін.]. // Порошковая металлургия. - 2015. - №11/12. - С. 68-80.

Строение сплавов и диаграмма фазовых равновесий системы Hf-Ru-Rh. III. Поверхность солидуса частичной системы Ru-HfRu-HfRh-Rh / [Л.С. Крикля,К. Е. Корниенко, В. Г. Хоружая та ін.]. // Порошковая металлургия (у друці).

Строение сплавов и диаграмма фазовых равновесий системы Hf-Ru-Rh.IV. Поверхность ликвидуса и диаграмма плавкости частичной системы Ru-HfRu-HfRh-Rh / [Л. С. Крикля, К. Е. Корниенко, В. Г. Хоружая та is.]. // Порошковая металлурги: (у друці).

Крикля Л. С. Строение сплавов и диаграмма фазовых равновесий системы Hf-Ru-Rh V. Политермические разрезы частичной системы Ru-HfRu-HfRh-Rh / Л. С. Крикля К. Е. Корниенко, В. Г. Хоружая. // Порошковая металлургия (у друці).

Вдовиченко О.В., Подрезов Ю.М., Буланова М.В., Фартушна Ю.В. Дослідженш механічної поведінки інтерметаліду ТізSn в області гомогенності // Современные проблемы физического материаловедения. - 2013. - Вып. 22. - С. 81-86.

Швец В.А. Особенности анодного окисления интерметаллидов системы Zr-Ni в щелочном электролите после обработки поверхности атомарным водородом в условиях катодной поляризации / В.А. Швец, Е.Л. Семенова, В.А. Лавренко В.Н. // Порошковая металлургия. - 2013, № 5/6. - С. 124-128.

Семенова О.Л. До будови діаграми стану системи Co-Zr / О.Л. Семенова, В.М. Петюх, О.С. Фомічов // Порошковая металлургия, 2015, № 9/10. - С. 96-105.

Semenova O.L. Ni-Sc Binary Phase Diagram Evaluation / O.L. Semenova // MSI Eureka, Effenberg, G. (Ed.), MSI, Materials Science International Services GmbH, Stuttgart (2013), Document ID: 20.20121.1.3.

Кудрявцев Ю.В. Будова сплавів системи Rh-Sc-Ti по перетину 50 % (ат.) Rh та в області складів, близьких до нього / Ю.В. Кудрявцев, В.М. Петюх, О.С. Фомічов // Порошковая металургія. - 2013. - № 7/8. - С. 101-114.

Kudriavtsev Yu.V. High Temperature Thermomechanical Properties of Titanium-Rhodium based alloys Containing Scandium / Kudriavtsev Yu.V. // Platinum Metals Rev. 2014. - Vol. 58,N 11. -P. 20-30.

Witusiewicz V.T. Thermodynamic description of the Al-C-Ti system / V.T. Witusiewicz, B. Hallstedt, A.A. Bondar, U. Hecht, S.V. Sleptsov, T.Ya. Velikanova // J. Alloys Compd. -- V. 623.-P. 480-496.

Слепцов C.B. Спільна кристалізація МАХ-фаз у системі Ti-Al-C / С.В. Слепцов, А.А. Бондар, В.Т. Вітусевич, У. Хехт, Б. Халлстедт, В.М. Петюх, О.І.Довбенко, Т.Я. Великанова // Порошковая металлургия. - 2015. - № 7-8. - С. 111-124.

Witusiewicz V.T. Thermodynamic re-modelling of the ternary Al-Cr-Ti system with refined Al-Cr description / V.T. Witusiewicz, A.A. Bondar, U. Hecht, T.Ya. Velikanova // J. Alloys Compd. - 2015. - V. 644. - P. 939-958.

Ремез M.B. Структура та властивості сплавів на основі ТіАІ, легованих ніобієм та хромом / М.В. Ремез, Ю.М. Подрезов, А.А. Бондар, В.Т. Вітусевич, У. Хехт, В.М. Вобліков, Н.І. Циганенко, ЯЛ. Свич, Т.Я. Великанова // Порошковая металлургия. -- № 1-2 (у друці).

Кублій В. 3. Фазові рівноваги в області багатих на молібден сплавів системи Mo-Ni-B при температурах плавлення-кристалізації / В. 3. Кублій, С. В. Уткін, С. В. Слепцов, О. І. Довбенко, А. А. Бондар // Современные проблемы физического материаловедения. Вып. 22: Труды Ин-та пробл. материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины. Сер. “Физико-химические основы технологии порошковых материалов” / Под ред. В. В. Скорохода и др. - Киев: Ин-т пробл. материаловедения им. И. Н. Францевича, 2013.-С. 10-22.

Потажевська О. А. Структура сплавів системи Nb-Mo-B в області Nb-NbB-MoB-Mo та фазові рівноваги в області плавлення-кристалізації / О. А. Потажевська, А. А. Бондар, Л. А. Дума, В. Б. Соболев, Т. Я. Великанова // Порошковая металлургия. - 2015. - № 11-12. - С. 100-113.

Потажевська О. А. Структура та властивості металоборидних евтектичних сплавів систем Ті-Мо-В та Nb-Mo-B / О. А. Потажевська, А. А. Бондар, О. О. Білоус та ін. // Современные проблемы физического материаловедения / В. В. Скороход, Г. Г. Гнесин, А. В. Рагуля и др. (ред.). - Киев: Ин-т пробл. материаловедения, 2015. - Вып. 24. - С. 7-15.

Witusiewicz V. Т. Thermodynamic modeling of the ternary B-Mo-Ti system with refined B- Mo description / V.T. Witusiewicz, A.A. Bondar, U. Hecht, O.A. Potazhevska, T.Ya. Velikanova // J. Alloys Compd. - 2016. - 655. - P. 336-352.

Potazhevska O. A. Structure of B-Mo-Nb alloys and phase equilibria in the range of melting- solidification / O. A. Potazhevska, A. A. Bondar, L. A. Duma, V. B. Soboliev, T.Y. Velikanova // J. Phase Equilib. Diff. - 2016 (In press).

Dybkov V. I. Thermochemical bonding of iron-chromium alloys // Chemistry Journal. - 2015. - V.1,No.3.-P.81-89(AIS PSF open online publication <http://www.publicscienceframework.org/joumal/allissues/7041>).

Dybkov V. I. Boride coatings of Fe-Cr alloys and chromium steels // International Journal of Materials Chemistry and Physics. - 2015. - V. 1, No. 1. - P. 43-66 (AIS PSF open online publication <http://www> .aiscience.oTg/jowcnal/ijmcp.htmV).

Дибков В. І. Термохімічне борування сплаву Fe-5% Cr // Порошковая металлургия. - 2015.-№ 11-12.-С. 27-42.