**Звіт про науково-дослідну роботу: „ Закономірності (особливості) твердорозчинного, композиційного та дисперсного зміцнення у полікомпонентних сплавах з різним типом кристалічної гратки”**

**Мета роботи** - встановити закономірності та принципи формування структури, фазового складу та їх вплив на фізико-механічні властивості наведених вище груп матеріалів.

Терміни виконання наукової роботи: початок І кв. 2016 р.

закінчення IV кв. 2018 р.

**Керівник роботи**: Фірстов Сергій Олексійович, д.ф.-м.н., академік НАНУ, (Email:fsa@ipms.kiev.ua)

**Скорочений зміст висновків рецензентів.**

Вперше визначено вплив термодинамічних характеристик ВЕС, зокрема ентальпії змішування, на механічні властивості. Так показано, що для ВЕС з підвищеними характеристиками жароміцності є притаманною негативна ентальпія змішування, а для ВЕС на основі ОЦК-гратки, яким притаманні високі характеристики пластичності, характерними є позитивні значення ентальпії змішування.

Визначено, що на відміну від бінарних і полікомпонентних твердих розчинів з ГЦК-граткою, збільшення концентрації розчиненого легуючого елемента призводить до більш різкої залежності термічної компоненти критичного напруження зсуву від температури у порівнянні з чистими ГЦК-металами, а в полікомпонентних твердих розчинах з ОЦК-граткою у порівнянні з чистими ОЦК-металами спостерігається посилення термічної складової, тоді як для бінарних ОЦК-сплавів відбувається її послаблення.

**Пропозиції про подальше використання результатів роботи.**

Рекомендувати продовжити роботи в напрямку вивчення закономірності формування підвищених механічних властивостей, зокрема, міцності, жароміцності, жаростійкості у складнолегованих (у тому числі, високоентропійних) сплавах із зниженою питомою вагою.

Дані про реєстрацію роботи: №

**РЕФЕРАТ**

**Об’єкт дослідження** – створення наукових основ структуроутворення та зміцнення полікомпонентних матеріалів, які включають високоентропійні близькі до еквіатомних сплави (ВЕС), групи сплавів титану, у тому числі, з евтектичним зміцненням, а також сплави, зміцнені МАХ-фазами.

**Мета роботи** – встановити закономірності та принципи формування структури, фазового складу та їх вплив на фізико-механічні властивості наведених вище груп матеріалів.

**Методи дослідження** – методи структурного аналізу, вимірювання фізико-механічних властивостей. Комп’ютерне моделювання.

Вивчено вплив пікорівневих дисторсій кристалічної (ОЦК, ГЦК) гратки на особливості зміцнення твердих розчинів та їх властивості, з’ясовано їх особливості у порівнянні з бінарними системами. Виконано термоактиваційний аналіз мікромеханізмів пластичності. Обговорюється природа можливого додаткового зміцнення ВЕСів за рахунок ТО, подрібнення зерна, введення додаткових (високоентропійних) фаз; вивчення особливостей будови меж поділу ВЕСів. Досліджено жароміцність, термічну стабільність, жаростійкість, втому та опір зносу обраних сплавів. Проведено подальшу розробку і удосконалення нових полікомпонентних евтектичних систем Ti-Si-X та композитів, зміцнених МАХ-фазами.

Встановлено закономірності та механізми структуро- і фазоутворення, сформульовані принципи отримання сплавів з підвищеною жароміцністю та пластичністю у порівнянні із кращими зразками жароміцних сплавів з низькою питомою вагою. ПОЛ

**Ключові слова**: ПОЛІІКОМПОНЕНТНІ СПЛАВИ, ЕНТРОПІЯ, ЕКВІАТОМНІСТЬ, МОДЕЛЮВАННЯ, in situ КОМПОЗИТИ, МАХ-ФАЗИ, ВЛАСТИВОСТІ.

**Публікації**

Фирстов С.А. Особенности структуры и твердорастворного упрочнения высокоэнтропийного сплава CrMnFeCoNi / С.А. Фирстов, Т.Г. Рогуль, Н.А. Крапивка и др. // Порошковая металлургия. – 2016. – №3/4 (508). – С.127-141.

Фирстов C.А. Влияние пластической деформации на фазовый состав и свойства высокоэнтропийных сплавов/ Фирстов C.А., Горбань В.Ф., Крапивка Н.А., Даниленко Н.И // Міжвузівський збірник ЛНТУ «Технічні науки» Наукові нотатки Луцьк, 2016, с.326-338.

L. R. Shaginyan, Properties of Coatings of the Al–Cr–Fe–Co–Ni–Cu–V High Entropy Alloy Produced by the Magnetron Sputtering/ • L. R. Shaginyan, V. F. Gorban’, N. A. Krapivka, S. A. Firstov, and I. F. Kopylov  // Journal of Superhard Materials, 2016, Vol. 38, No. 1, pp. 25–33.

Фирстов С.А. Термоактивационный анализ температурной зависимости напряжения течения в твердых растворах с ГЦК-решеткой / С.А. Фирстов, Т.Г. Рогуль // Металлофиз. новейшие технол. / Metallofiz. Noveishie Tekhnol. – 2017. – Т. 39, № 1. – С. 33-48.

Фирстов С.А. Композиционный подход к описанию твердорастворного упрочнения в бинарных растворах с неограниченной растворимостью компонентов / С.А. Фирстов, Т.Г. Рогуль // Допов. Нац. акад. наук Укр. –2018. – № 8. – С. 58-64.

Фирстов С.А. Термоактивационный анализ температурной зависимости напряжения течения в твердых растворах с ОЦК-решеткой  / С.А. Фирстов, Т.Г. Рогуль // Металлофиз. новейшие технол. / Metallofiz. Noveishie Tekhnol. –2018. – Т. 40, № 2. –  С. 219-233.

Юркова А.И. Структура и механические свойства высокоэнтропийных AlCuNiFeТі и AlCuNiFeCr сплавов, полученных механическим легированием с последующим спеканием под давлением/Юркова А.И., Чернявский В.В., Горбань В.Ф. // ПМ 2016 №3/4 с.37-52.

Горбань В. Ф. Получение и механические свойства высокоэнтропийного карбида на основе многокомпонентного сплаваTiZrHfVNbTa/ • В. Ф. Горбань, А. А. Андреев, Г. Н. Картмазов, А. М. Чикрыжов, М. В. Карпец, А. В. Доломанов, А. А. Островерх, Е. В. Канцыр. //Сверхтв. Матер. № 3, 2017 с. 24–31.

Горбань В. Ф. Высокоэнтропийные сплавы-электронная концентрация- фазовый состав-параметр решетки-свойства/ В. Ф. Горбань, Н. А. Крапивка, С. А. Фирстов // ФММ, 2017, том 118, № 8, с. 1–13.

Горбань В. Ф. Влияние температуры на характеристики износа высокоэнтропийных сплавов/ В. Ф. Горбань, Н. А. Крапивка, М. В. Карпец, А. Д. Костенко, А. Н. Самелюк, Е. В. Канцыр // ТРЕНИЕ И ИЗНОС Том 38, № 4 Июль—август 2017 -.с.335-340.

Горбань В.Ф. Износостойкость высокоэнтропийных сплавов/ Горбань В.Ф., Карпец М.В., Крапивка Н.А., Костенко А.Д., Фирстов С.А.  // П.М.2017,№3/4, с.32-37.

Мисливченко О. М. Вплив відпалу на еволюцію фазового складу, структури та фізико-механічних властивостей високоентропійного стопу CrMnFeCoNi2Cu/ О. М. Мисливченко, М. О. Крапівка, В. Ф. Горбань, М. В. Карпець. // Металлофизика и новейшие технологии2017, т. 39, № 5, сс633–644.

Горбань В.Ф. Получение и механические свойства высокоэнтропийного карбида на основе многокомпонентного сплава TiZrHfVNbTa Горбань В.Ф.,  Андреев А.А., Чикрыжов А.М., Карпец М.В., Доломанов А.В. , Островерх А.А // Сверхтв. Матер. № 3, 2017 с. 24–31

Горбань  В. Ф. Структурное состояние литых высокоэнтропийных сплавов с ГЦК-решёткой и его влияние на характеристики твёрдости/ В. Ф. Горбань, А. Н. Мысливченко, Н. А. Крапивка // Металлофизика и новейшие технологии 2017т. 39, №12, с. 1589-1598.

Podolskiya A.V. Mechanical properties and thermally activated plasticity of the Ti30Zr25Hf15Nb20Ta10 high entropy alloy at temperatures 4.2–350 K/ A.V. Podolskiya, E.D. Tabachnikova, V.V. Voloschuka, V.F. Gorban, N.A. Krapivka , S.A //Materials Science and Engineering: A Volume 710, 5 January 2018, Pages 136-141.

Горбань В.Ф. Высокоэнтропийные покрытия-структура и свойства/ Горбань В.Ф., Андреев А.А., Столбовой Фирстов С.А., Карпец М.В., Даниленко Н.И. /С.М. 2018 М.40-№2-с.88-101.

Горбань В. Ф.,  Роль различных параметров в формировании физико-механических свойств высокоэнтропийных сплавов с ОЦК решеткой/ В. Ф. Горбань, Н. А. Крапивка, С. А. Фирстов, Куриленко Д.В.

//ФММ 2018, т.119-№5 с.504-509.

Горбань В. Ф. Структурний стан та властивості нітридних покриттів на основі високоентропійного сплаву Ti30Zr25Nb20Hf15Ta10Y5/ В. Ф. Горбань, А. О. Андреєв, М. В. Карпець, В. А. Столбовий, О. В. Канцир, О. А. Рокицька, О. І. Бужинець // Сверхтвердые Материалы. 2018 № 1, стр. 30–3

Шагинян Л.Р., Свойства пленок сплава Cr-Co-Cu-Fe-Ni полученных магнетронным распылением/ Шагинян Л.Р., Бритун В.Ф.рапивка Н.А.Фирстов, С.А. Котко, А.В.Горбань В.Ф. // Порошковая Металлургия 2018, №5/6, С.56-67.

Danilenko M.I., Nanoklasters in HEA coatings/ Danilenko M.I.,Gorban V.F., Firstov S.  Materials of SNM-, p. 47-49.

Sobol  O.V. The Effect of Constant and High Voltage Pulse Bias Potentials on the Structure and  Properties of Vacuum-Arc (TiVZrNbHf)Nх Coatings/O.V. Sobol,, А.А. Postelnyk1, R.P. Mygushchenko1, V.F. Gorban, V.A. Stolbovoy, A.V. Zvyagolskiy// Журнал нано- та електронної фізики Vol. 10 No 2, 02035(6pp) (2018).