**Звіт про науково-дослідну роботу: „Фізико-хімічні принципи створення наноструктурованих металічних сплавів на основі імпульсної обробки їх розплавів”**

**Мета роботи** - розробка фізико-хімічних принципів створення наноструктурованих (за кластерним механізмом) легких металічних систем сплавів на основі магнію та алюмінію з покращеними функціональними і фізико-механічними характеристиками, в т.ч. релаксаційної стійкості, термічної стабільності та жароміцності.

Терміни виконання наукової роботи: початок І кв. 2017р.

 закінчення IV кв. 2019 р.

**Керівник роботи**: Ткаченко Володимир Григорович, д.ф.-м.н., (Email:icems@ipms.kiev.ua)

 **Скорочений зміст висновків рецензентів.**

 Авторами в рамках кластерної моделі рідких металічних сплавів сформульовані фізико-хімічні засади нанодисперсного зміцнення сплавів на основі магнію та алюмінію. На цій основі розроблено новий стійкий до повзучості магнієвий сплав в системі Mg–Al–Ca–Ce–Er, що містить в матриці і на міжфазних межах включення нанорозмірної тугоплавкої фази, ймовірно Al53Mg27Er14Ce5. Завдяки високим характеристикам (0,35% сумарної деформації при 150 0С і 70 МПа за 200 годин), покращеній рідкоплинності і низькій вартості сплав перспективний для лиття автомобільних деталей під тиском і конкурентоспроможний на світовому ринку. Розроблена ноу-хау технологія введення нанорозмірних тугоплавких частинок, зокрема ZrO2, яка забезпечує їх рівномірний розподіл в магнієвій матриці. Введення 1–2 % ZrO2 збільшило при кімнатній температурі міцність з 230 до 254 MПa з одночасним збільшенням пластичності з 12.8 до 14%.

 Встановлено ефект модифікування фазового складу і морфології структурних складових сплаву Al–7Si–4Fе магнітоімпульсною обробкою (МІО) розплаву в процесі його кристалізації. Уперше виявлено розділення кристалізації евтектичної компоненти на два послідовні етапи, які відповідають реалізації різних механізмів затвердіння. Висунена гіпотеза про те, що в умовах швидкої нерівноважної кристалізації послідовна реалізація роздільного і абнормального механізму евтектичної кристалізації пов’язана із співвідношенням в розплаві долі кластерів Al1–хSiх, що володіють, відповідно, металевим або ковалентним зв’язком. Вагомими як в науковому та к практичному плані є дослідження особливостей кінетики кристалізації сплаву Al–3Fe–3Ni, що обумовлені послідовністю введення легуючих елементів. Авторами висунена концепція, що істотне пересичення твердого розчину атомами нікелю пов&apos;язано з впровадженням в алюмінієву матрицю сплаву Al–3Ni–3Fe кластерів типу Al3Ni, що підтверджується наявністю двох екзотермічних піків на кривих ДСК в області перед кристалізації сплаву і пояснює аномально високе значення модуля Юнга і високу межу плинності сплаву. Заслуговує на окрему увагу ідея підвищення модуля Юнга магнієвих сплавів за рахунок введення в магнієву матрицю ікосаедричної нанорозмірної фази. Синтезований квазікристалічний сплав Mg80Cd15Ca5, що володіє високим модулем Юнга Е =63–80 ГПа і на цій основі модифіковано промисловий сплав АМ50 (Е = 41-43 ГПа) з модулем Юнга, що перевищує  50 ГПа.

Поставлена в роботі мета досягнута, робота виконана на високому професійному рівні і в повному обсязі.

 **Пропозиції про подальше використання результатів роботи.**

Результати роботи можуть бути використані на профільних підприємствах автомобільної та авіакосмічної промисловостей .

Дані про реєстрацію роботи: № 0117U000257

 **РЕФЕРАТ**

**Об’єкт дослідження** - метали з ГЦК, ОЦК і ГЩУ гратками в різному структурному стані, тугоплавкі сполуки (масивні та покриття), ковалентні кристали, аморфні сплави, інтерметаліди, високоентропійні сплави в якості покриттів, квазікристали і промислові сплави.

**Мета роботи** - визначення механічних властивостей та опору зносу матеріалів з різним типом міжатомного зв’язку та різною кристалічною структурою із застосуванням вдосконаленої теорії індентування.

**Методи дослідження**: комплекс методів індентування, в тому числі методи на тертя та знос, механічні випробування на стиск, балістичні випробування, оптична, скануюча мікроскопія, рентгеноструктурний аналіз.

Розроблена методика визначення границі плинності зразка на основі розвиненої моделі проникаючого ядра індентування.

Розроблено теорію визначення бронестійкості матеріалів методом індентування.

Відпрацьована методика дослідження покриттів, яка встановлює взаємозв’язок адгезійної міцності, зносостійкості та сили тертя при зміні навантаження в контакті від квазістатичного до динамічного та поведінку матеріалів в умовах, наближених до експлуатаційних.

Трибологічні випробування виливаного пористого алюмінію засвідчили, що його можна розглядати в якості "самозмащувального підшипника ковзання".

**Ключові слова**: ТВЕРДІСТЬ, ІНДЕНТОР, МІЦНІСТЬ, ПЛАСТИЧНІСТЬ, ДЕФОРМАЦІЯ, ЗНОС, МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ІНДЕНТУВАННЯ.

 **Публікації**

 V.G. Tkachenko. Cluster compounds formation in metal alloys crystals. Materials Today Communications. –2019.–V. 21.–р.1–8.

Maksymchuk I.M., Khrypliviy A.O., Frizel V.V. Influence of magneto-pulsed melt treatment on crystallization kinetics, phase composition and morphology of structural units of Al-7Si-4Fe alloy . 6th Іnternational conference  HighMathTech 2019 Book of Abstracts October 28-30, 2019 Kyiv, Ukraine . c.45.

Maksymchuk I.M., Khrypliviy A.O., Frizel V.V. Features of crystallization kinetics and properties of Al-3Fe-3Ni alloy due to the order of introduction of the alloying elements. 6th Іnternational conference  HighMathTech 2019 Book of Abstracts October 28-30, 2019 Kyiv, Ukraine .c.43.

Maksymchuk I.M., Tkachenko V.G., Malka O.M., Khrypliviy A.O., Frizel V.V., Khokhlova J.A., Khokhlov M.A. Nanostructured magnesium alloy of Mg-Al-Ca system with high creep resistance at elevated temperatures and stresses. 6th Іnternational conference  HighMathTech 2019 Book of Abstracts October 28-30, 2019 Kyiv, Ukraine . c.44 .

Ю.М. Подрезов, О.М. Малка, П.М. Романко, К.О.Валуйська. Температурна залежність псевдо пружної поведінки в циклі навантаження – розвантаження магнію та сплаву Mg-9Al-0,2Ca-0,08Ti. Электронная микроскопия и прочность материалов. –2017. –вып. 23. –С.53-66.

И.Н. Максимчук, А.А.Хрипливий, В.В. Фризель, П.М.Романко. Особенности кинетики кристаллизации сплава Al-3Fe-3Ni обусловленные порядком введения легирующих элементов. Вісник матеріалознавчого товариства. –2019 ( у друці).

И.Н. Максимчук, А.А.Хрипливий, В.В. Фризель, П.М.Романко. Модифицирование фазового состава и морфологии структурных составляющих сплава Al–7Si–4Fe магнитоимпульсной обработкой расплава в процессе его кристаллизации. Металлофизика и новейшие технологии. – 2019 ( у друці).