Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара Кафедра експериментальної фізики та фізики металів

## ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ НАНОСТРУКТУРНИХ ТА АМОРФНИХ СПЛАВІВ В УМОВАХ ШВИДКОГО ОХОЛОДЖЕННЯ З РІДИННОГО ТА ПАРОПОДІБНОГО СТАНІВ

**Предмет дослідження** – швидке охолодження металів і сплавів з рідини та пари.

**Об'єкт дослідження** – загартовані з рідини та пари чисті метали і сплави, мікродроти систем перехідний метал–металоїд та системи з незмішуваними у рідкому стані компонентами: метал–метал, феромагнетик – діамагнетик (парамагнетик), стрес-матеріали з нано- та аморфних мікродротів, сплав Pb-Ca-Sn.

Метою науково-дослідної роботи є: 1) розробка кінетикотермодинамічних умов надшвидкого охолодження з рідини та пари при формуванні мікроморфології структури і нових метастабільних фаз; оптимізація і поліпшення фізичних властивостей нових аморфних та нанокристалічних сплавів; впливу ступеню переохолодження на механічні характеристики та морфологічні зміни у структурі акумуляторного сплаву; 2) комп'ютерних моделей фізичних створення процесів утворення нанокристалів під час конденсації плівок та під час термообробок аморфних матеріалів на початкових і наступних стадіях їх зростання.

**Методи дослідження** – електронно-мікроскопічний, рентгенографічний, металографічний та магнітометричний методи, побудова політерм електроопору, комп'ютерне моделювання за методами Монте-Карло та молекулярної динаміки.

## Результати досліджень Електростатичний прискорювач іонів





Структура поверхні розпилюваного матеріалу

А- анод; К- катод; Т- мішень; п- підкладка; Ссистема сотових комірок;
W, Ад- зразки розпилюваних материалів у вигляді паралелепіпедів

### ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРНИХ ТА ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АКУМУЛЯТОРНОГО СПЛАВУ

#### СИСТЕМИ **PB-SN-CA**



Мікроструктура свіжопрокатаних стрічок наявністю характеризується крупних витягнутих у напрямі прокатки зерен з великою кількістю дефектів на поверхні (рис. 3, а). Витримка промислового зразка при 80°С протягом ~3200 годин викликає перехід до крупнокристалічної структури без чіткої орієнтації у присутності порівняльних дрібних зерен в структурі стрічки, що свідчить про протікання процесів рекристалізації у сплаві та підтверджується механічними випробуваннями, розупорядкування витриманих протягом 3200 годин прокатаних стрічок

### Система Pb-Sn-Ca



профілю головного піку структурного фактора рідкого Рb при T=350°C: а) модельний профіль тетраедра, б) модельний профіль октаедра, в) експериментальний профіль Pb Рис. 5. Зміна мікротвердості промислової і ЗРСстрічки в ході витримки при 80°С

### Квазікристалічний сплав Al<sub>60</sub>Cu<sub>28</sub>Fe<sub>12</sub>



Рис. 6. Структура сплаву Al<sub>60</sub>Cu<sub>28</sub>Fe<sub>12</sub>: *a*) отриманого литтям при швидкостях охолодження 10 и1000°К/с ×500; б) свіжо-напиленої плівки, ×5000; *в*) плівки, ×40 тис.

г) електронограма, мікро-дифракція, 75 кВ

### СТРУКТУРА ТА ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В МІКРОДРОТІ

#### ПРИ ТЕРМООБРОБЦІ





Рис. 8. Профіль головного максимуму інтенсивності при відпалі 550 С(5 хв), σ = 240 МПа

### МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ



Рис. 9. Зображення найбільш розповсюджених типів кластерів та їх багатогранники, модель сплаву Al<sub>50</sub>Ni<sub>50</sub>

# Висновки

- 1. Стрічки акумуляторного сплаву, які отримані методом гартування з рідкого стану, мають аналогічну міцність, але вищі пластичні характеристики в порівнянні із стрічками, проведеними традиційним промисловим методом деформаційного зміцнення сплавів (прокаткою).
- 2. Структура ЗРС-стрічки відрізняється дрібнішими розмірами зерна в порівнянні з литим зразком, що позитивно позначається на рівні міцності та може сприяти підвищенню такої важливої характеристики, як корозійна стійкість.
- Показано, що формування наномасштабних (9-10 нм) кристалів фази α-MnBi в плівці сплаву Mn-52 ат.% Bi, отриманої гартом розплаву від температури 1923 К, призводить до збільшення коерцитивної сили на 60% у порівнянні з *Hc* плівок, загартованих від температури 1175К, розміри феромагнітних включень в яких складали 5–10 мкм.
- 4. Всі досліджені зразки потрійних систем Al-Cu-Fe, Al-Co-Cu i Al-Co-Ni містять квазікристали, про що свідчить проведений фазовий аналіз, а також характер зміни опору, як при зростанні температури, так і під час охолоджування (негативне значення TKC). Той факт, що у зразків спостерігається порівняно невелике значення поверхневого опору, на наш погляд, свідчить про те, що в його структурі присутня також металева фаза з позитивним значенням TKC. При нагріві і охолоджуванні зміни опору квазікристалічної і металевої фаз взаємно компенсуються. Відповідальними за цей фазовий перехід може бути як кристалізація аморфної фази, так і збільшення вмісту металевої складової в зразку. Зміна електричних властивостей також обумовлена збільшенням розмірів структурних складових і досягненням більш рівноважного стану. В той же час дослідження плівкових зразків демонструє досить їх високу температурну стійкість.

- 5. Встановлено, що оптимальні магнітні властивості (Hc=65 A/м) мікродроту досягаються при відпалі 520°С (5 хв.).
- 6. Структурні дослідження трьох сплавів системи Cu-C показали, що в основі структури сплавів є решітка металу, а атоми вуглецю заповнюють її пустоти. Заповнення пустот проходить поетапно за розміром від більших до менших. В залежності від положень пустот їх заповнення атомами вуглецю призводить до зміни періоду кристалічної решітки. Заповнення октаедричних збільшує, а тетраедричних зменшує період кристалічної решітки. При заповненні обох видів пустот період кристалічної решітки набуває близьких значень чистого металу.
- 7. Запропоновано уточнення теорії нуклеації з урахуванням розмірних залежностей різниці хімічних потенціалів двох фаз і поверхневого натягу. Показано, що розміри критичних зародків більші за ті, що передбачені класичною теорією, і мають нижню межу. За даними моделювання, а саме температурної залежності розмірів критичних зародків, визначено поверхневий натяг міжфазної межі і його температурні залежності.
- 8. Установлено, що в широкому інтервалі температур кінетика росту нанокристалів у вивчених моделях не описується відомими теоріями. Механізм зростання нанокристалів у моделях полягає в колективних переміщеннях атомів. Росту кристалів перешкоджають існуючі в аморфній фазі кластерні утворення. Ділянки міжфазної межі переміщаються після їх перебудови з наведенням локальної структурної й орієнтаційної відповідності кристалічній фазі.