

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ІНЖЕНЕРНО-ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА
ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ

Магістерська дисертація

зі спеціальності 8.05040303 Композиційні та порошкові матеріали, покриття
на тему:

**Структура та механічні властивості багатоконпонентних
високоентропійних AlCuNiFeCr та AlCuNiFeTi сплавів отриманих
методом механічного легування**

**Structure and mechanical properties of multicomponent high entropy
AlCuNiFeCr and AlCuNiFeTi alloys obtained by mechanical alloying**

Виконала: студентка 6-го
курсу, групи ФК – 31м

Кравченко Олександра
Ігорівна

Науковий керівник

д.т.н., професор Юркова О.І.

Київ 2015 р.

РЕФЕРАТ

Робота вміщує: 117 сторінок, 39 рисунків, 17 таблиць, 65 посилань на літературні дані.

Об'єкт дослідження – високоентропійні багатоконпонентні AlCuNiFeCr і AlCuNiFeTi сплави.

Метою роботи є дослідження структури та механічних властивостей багатоконпонентних високоентропійних AlCuNiFeCr та AlCuNiFeTi сплавів отриманих методом механічного легування з подальшою консолідацією спіканням під тиском

В процесі механічного легування було досліджено структуру та фазовий склад багатоконпонентних високоентропійних AlCuNiFeCr та AlCuNiFeTi сплавів. Встановлено, що обидва сплави мають однофазний склад ОЦК-твердого розчину з нанокристалічною структурою.

Після спікання під тиском 5 ГПа при температурі 800 °С протягом 0,5 годин високоентропійні AlCuNiFeCr та AlCuNiFeTi сплави мають стабільну ОЦК структуру з незначним вмістом ГЦК та ГЦК1 фаз. За даними рентгеноструктурного аналізу встановлено збереження нанокристалічного структурного стану після консолідації в AlCuNiFeTi сплаві.

Методом мікроіндентування встановлено, що високоентропійні AlCuNiFeCr та AlCuNiFeTi сплави після спікання під тиском мають високу мікротвердість, границю пропорційності (пружності) та границю текучості.

Ключові слова (словосполучення): *порошок, механічне легування, нанокристалічна структура, фазовий склад, спікання під тиском, багатоконпонентний високоентропійний сплав.*

ABSTRACT

The work contains 117 pages, 39 figures, 17 tables, 65 references to the published data.

Object of study – high entropy multicomponent AlCuNiFeCr and AlCuNiFeTi alloys.

The aim is to study the structure and mechanical properties of multicomponent high entropy AlCuNiFeCr and AlCuNiFeTi alloys obtained by mechanical alloying which followed consolidation by sintering under pressure.

In the process of mechanical alloying was investigated structure and phase composition of multicomponent high entropy AlCuNiFeCr and AlCuNiFeTi alloys. It was established that both alloys are single phase BCC-structure solid solution with nanocrystalline structure.

After sintering under pressure 5 GPa at 800 for 0.5 hours °C high entropy AlCuNiFeCr and AlCuNiFeTi alloys have stable BCC structure with little content FCC and FCC1 phases. According to X-ray diffraction saving installation nanocrystalline structure state after consolidation AlCuNiFeTi alloy.

Technique of microindentation found that high entropy AlCuNiFeCr and AlCuNiFeTi alloys after sintering under pressure has high microhardness, yield limit (elasticity) and yield strength.

Key word: *powder, mechanical alloying, nanocrystalline structure, phase composition, sintering under pressure, multicomponent high entropy alloy.*

ВИСНОВКИ

1. В роботі методом механічного легування у планетарному млині отримано багатокомпонентні високоентропійні AlCuNiFeCr та AlCuNiFeCrTi сплави.
2. Встановлено, що обидва сплави після МЛ складаються з ОЦК-твердого розчину з нанокристалічною структурою. Висока ентропія змішування зменшує вільну енергію Гіббса еквіатомних п'ятикомпонентних AlCuNiFeCr та AlCuNiFeCrTi сплавів, сприяє зменшенню тенденцію до впорядкованості та сегрегації, полегшує формування твердого розчину та збільшує його стабільність в порівнянні з інтерметалідами та іншими впорядкованими фазами.
3. Мікроренгеноспектральний аналіз підтвердив однорідність хімічного складу консолюдованих AlCuNiFeCr та AlCuNiFeTi сплавів. Концентраційне відхилення кожного елемента у сплавах не перевищує 2,5 ат.% від номінального вмісту.
4. Після спікання під тиском 5 ГПа при температурі 800 °C протягом 0,5 годин сплави мають трьохфазну структуру, що складається в основному з ОЦК-твердого розчину заміщення та невеликої кількості двох ГЦК та ГЦК1-твердих розчинів. При цьому структура AlCuNiFeTi сплаву залишається нанокристалічною, що свідчить про його більш високу термодинамічну стабільність в порівнянні зі сплавом AlCuNiFeCr.
5. Результати мікромеханічних випробувань засвідчили високий рівень характеристик міцності AlCuNiFeCr та AlCuNiFeTi сплавів: мікротвердість HV складає $9,2 \pm 0,4$ і $11,2 \pm 0,6$ ГПа; границя пропорційності (пружності) σ_e складає 2,8 та 3,5 ГПа; верхня границя текучості σ_s^h складає 3,3 та 4,05 ГПа; а нижня границя текучості σ_s^l – 2,9 та 3,6 ГПа, відповідно. Високі характеристики міцності забезпечуються ефектами твердорозчинного та наноструктурного зміцнення. При цьому присутність Ti у сплаві значно підвищує його механічні характеристики.
6. Розроблені заходи, що забезпечують здорові умови праці, та засади забезпечення безпеки в надзвичайній ситуації.

CONCLUSIONS

1. In the work was received multicomponent high entropy AlCuNiFeCr and AlCuNiFeCrTi alloys by mechanical alloying in planetary mill .

2. Established that both alloys after MA has structure of BCC solid solution with nanocrystalline structure. High entropy of mixing reduces the Gibbs free energy equiatomic five component AlCuNiFeCr and AlCuNiFeCrTi alloys, reduces the tendency to ordering and segregation facilitates the formation of a solid solution and increases its stability compared to the ordered intermetallic and other phases.

3. X-ray analysis confirmed the uniformity of chemical composition consolidated AlCuNiFeCr and AlCuNiFeTi alloys. Concentration deviation of each element in alloys does not exceed 2.5 at.% of the nominal content.

4. After sintering under pressure 5 GPa at 800 °C for 0.5 hours alloys have a three-phase structure consisting mainly of BCC-solid solution substitution and a small amount of two FCC and FCC1-solid solutions. The AlCuNiFeTi alloy has nanocrystalline structure that indicates its higher thermodynamic stability compared to alloy AlCuNiFeCr.

5. The results of micromechanical tests showed high strength characteristics and AlCuNiFeCr AlCuNiFeTi alloys, microhardness HV is $9,2 \pm 0,4$ and $11,2 \pm 0,6$ GPa; yield limit (elasticity) σ_e is 2.8 and 3.5 GPa; high yield strength σ_s^h is 3.3 GPa and 4.05; and the lower yield strength σ_s^l - 2,9 and 3.6 GPa, respectively. High strength characteristics caused by effects of solid solution and nanostructured strengthening. Thus the presence of Ti in this alloy significantly improves its mechanical characteristics.

6. The developed measures to ensure healthy working conditions, and the principles of safety in an emergency.