

ВІДЗИВ

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Марича Мирослава Васильовича “Особливості структуроутворення та формування властивостей при виготовленні полікомпонентних еквіатомних сплавів на основі системи Ti-Cr-Fe-Ni”, представленої до захисту на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.06 – порошкова металургія і композиційні матеріали

Актуальність теми дисертації.

Науково-технічний розвиток суспільства невідривно пов'язаний з використанням нових матеріалів з покращеними фізико-механічними властивостями. Це вимагає створення сплавів нетрадиційного хімічного складу, серед яких особливе місце займають високоентропійні сплави, для яких характерні підвищені значення ентропії змішання у порівнянні з традиційними багатокомпонентними сплавами. Як показують результати досліджень, у тому числі і таких, що виконуються у Інституті проблем матеріалознавства НАН України, у таких сплавах забезпечується висока термічна стабільність фазового складу, структурного стану, що обумовлює поєднання високих механічних, хімічних і функціональних властивостей. За відносно невеликий часовий період накопичено значний обсяг теоретичних і експериментальних даних щодо механізмів і процесів структуроутворення високоентропійних сплавів, формування і еволюції фазового складу, впливу структурного і фазового стану на властивості сплавів, але проблема створення матеріалів зі стабільними і прогнозованими властивостями і отримання конкурентоздатних виробів залишається на порядку денному. Сучасний погляд на зазначену проблему полягає у тому, що її вирішення потребує послідовним розв'язанням низки складних задач з використання комплексного підходу, який базується на розробці матеріалів з новим або удосконаленим хімічним складом та ефективних технологій їх виготовлення і подальшої термічної і термомеханічної обробки.

Тому дисертація Марича М.В., спрямована на створення нових полікомпонентних сплавів системи Ti-Cr-Fe-Ni з високим і прогнозованим комплексом фізико-механічних властивостей і розробку технології їх виготовлення з використанням методів порошкової металургії на основі визначених закономірностей формування структури та фазоутворення, є актуальною і своєчасною.

Оцінка змісту дисертації.

Дисертація має обсяг основної частини 175 сторінок, складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків та списку використаних джерел з 151 найменувань, містить 5 додатків. Дисертація має струнку загальну структуру, логічно побудована і являє собою комплексну роботу, яка містить результати досліджень процесів і закономірностей формування структури, фазового і

хімічного складу сплавів, впливу механічної активації на фізичні і технологічні властивості порошків, властивостей високоентропійних сплавів на основі системи Ti-Cr-Fe-Ni, отриманих з використанням різних технологічних методів і режимів, обґрунтування раціональної технології, узагальнення і практичної апробації.

Основний зміст роботи ретельно і вірно відображений у авторефераті.

У вступі належним чином відображено актуальність проблеми, визначено мету та задачі дослідження, наукову новизну і практичну цінність роботи, наведено відомості щодо апробації роботи та публікації за темою дисертації.

У першому розділі дисертації виконано кваліфікований аналіз сучасного стану досліджень високоентропійних сплавів, критеріїв їх утворення, підходів до визначення компонентів, процесів формування структури і фазового складу. Критично проаналізовано технологічні методи отримання і обробки сплавів, а також рівень механічних і експлуатаційних властивостей і можливість керувати ним. В результаті визначено не тільки досягнуті успіхи, але і існуючі протиріччя даних різних дослідників, обґрунтовано задачі і напрямки даного дисертаційного дослідження.

Базуючись на висновках першого розділу роботи у другому розділі здійснено і обґрунтовано вибір основних і додаткових компонентів сплавів, що досліджуються. Обговорюється комплекс експериментальних методів, які використовуються в роботі для дослідження властивостей вихідних порошкових компонентів, структури, фазового складу і властивостей отриманих ВЕС. Використовуються методи оптичної і електронної мікроскопії, рентгенофазового, рентгеноструктурного, мікрорентгеноспектрального і термічного аналізів, визначення механічних і функціональних властивостей. Також обґрунтовано технологічні схеми отримання високоентропійних сплавів, які використовувались у роботі.

У наступному розділі наведені результати досліджень явищ і процесів, що відбуваються у порошковій суміші при механічному подрібненні вихідних компонентів сплавів, формуванні заготівок, спіканні та гарячому штампуванні. Встановлено особливості впливу обробки у планетарному млині на властивості порошку (гранулометричний склад, насипну щільність) та щільність пресованих заготівок. Дослідження зміни параметрів тонкої структури при механічній активації під час оброблення у млині дозволили зробити висновок щодо істотного спотворення ґратки металів в процесі деформації, що призводить до подрібнення областей когерентного розсіяння. На жаль, автором не наведені дані щодо зміни параметрів тонкої структури при зміні режимів обробки у млині. Являє інтерес визначене, але не пояснене, явище зменшення щільності заготівок, спечених з механоактивованих порошків, у порівнянні з заготівками з неактивованих порошків.

Важливими для розробки нових високоентропійних сплавів з високими і керованими властивостями та технологій їх отримання є результати досліджень процесів формування структури і фазового складу сплавів різного складу, виготовлених за різними схемами і режимами, які наведені у четвертому розділі дисертації. Доведено утворення у спеченому сплаві фаз чотирьох основних типів, які характеризуються різним вмістом елементів та різним рівнем мікротвердості –

від 2 до 5,7 ГПа. При цьому фази, що формуються у спеченому еквіатомному сплаві TiCrFeNiCu, є твердими розчинами з різними типами кристалічних ґраток. Тип мікроструктури і фазовий склад сплаву після гарячого штампування суттєво відрізняються від таких для матеріалу після спікання. У сплаві визначено лише 3 основні фази. Результати досліджень сплаву TiCrFeNiC дозволили зробити висновок, що фазовий склад спеченого сплаву характеризується наявністю двох твердорозчинних високоентропійних фаз заміщення з ОЦК і ГЦК структурами і двох карбідних фаз. Показано, що гаряче штампування призводить до ефективного диспергування та підвищення мікротвердості структурних елементів сплавів у порівнянні зі спеченими сплавами аналогічних компонентних складів.

У останньому розділі дисертації обговорюються результати випробувань механічних, триботехнічних властивостей та тріщиностійкості отриманих сплавів, а також апробації у виробничих умовах. Установлено, що твердість і міцність гарячештампованих сплавів значно вища за такі характеристики сплавів, отриманих спіканням. Серед гарячештампованих сплавів максимальну міцність і твердість мають сплави системи TiCrFeNiC. Проведено порівняння характеристик міцності гарячештампованого сплаву TiCrFeNiC з аналогічними характеристиками деяких високоентропійних сплавів іншого хімічного складу, що містять Co, W, Hf, Ta, Nb і отримані іншими розробниками з використанням інших методів. Показано, що ці властивості отриманого сплаву перевищують значення для більшості сучасних ВЕС. Проведено випробування сідел клапанів насосів для перекачування високов'язких середовищ при підвищених температурах. Результати випробувань свідчать, що зносостійкість сідел клапанів, виготовлених із сплаву системи Ti-Cr-Fe-Ni-C, у 1,62 рази вища за зносостійкість сідел клапанів серійного виробництва з сталі 40X10C2M.

Наукова новизна результатів.

Серед результатів, які отримані при виконанні досліджень і, безумовно, мають наукову новизну, слід зазначити наступне:

Встановлено особливості впливу механічної активації шляхом розмелювання на особливості структурно-фазового стану еквіатомних порошкових сумішей. Показано, що хімічна взаємодія між компонентами в процесі розмелювання відсутня, однак зі збільшенням тривалості розмелювання відбувається накопичення дефектів кристалічної будови і істотне спотворення кристалічних ґраток всіх компонентів, що має сприяти інтенсифікації сплавоутворення на подальших стадіях термічного синтезу та термомеханічної обробки сплаву.

Встановлено закономірності фазоутворення високоентропійних сплавів TiCrFeNiCu, TiCrFeNiCuC та TiCrFeNiC при гарячому штампуванні і доведено, що для першого сплаву характерна наявність двох фаз з ГЦК та ОЦК структурою та інтерметалідів, у сплавах інших складів визначені дві твердорозчинні фази заміщення з ГЦК і ОЦК структурами з дисперсними включеннями карбідів TiC і Cr₃C₂.

Науково обґрунтовано ефективність застосування методу гарячого штампування та визначені раціональні режими процесу отримання

полікомпонентних еквіатомних сплавів методами порошкової металургії, що дозволило забезпечити практично безпористий стан матеріалу та більш високий рівень основних механічних характеристик у порівнянні зі спеченими сплавами.

Доведено, що використання методу гарячого штампування та відпалу при 1200 та 1250°C призводить до утворення шаруватої структури із шарами товщиною від 1 до 10 мкм, що розташовані у напрямку, перпендикулярному напрямку штампування.

Новизна результатів вірно відображена у висновках дисертації.

Практична цінність результатів дисертації.

Результати дисертаційного дослідження є важливими і у прикладному плані.

На основі результатів досліджень і встановлених закономірностей явищ і процесів розроблено склади високоентропійних сплавів систем TiCrFeNiCu, TiCrFeNiCuC та TiCrFeNiC. Запропоновані та обґрунтовані технологічні схеми і режими отримання сплавів розроблених складів, застосування яких забезпечує отримання ВЕС з високими механічними та експлуатаційними властивостями.

Проведено випробування у промислових умовах сідел клапанів насосів для перекачування високов'язких середовищ при підвищених температурах, виготовлених із сплаву системи Ti-Cr-Fe-Ni-C з використанням методу гарячого штампування. Результати випробувань свідчать, що зносостійкість сідел клапанів з розробленого сплаву у 1,62 рази вища за зносостійкість сідел клапанів серійного виробництва зі сталі 40X10C2M.

Достовірність та обґрунтованість результатів.

Використання комплексу сучасних та взаємодоповнюючих методів вивчення структури й властивостей матеріалів, дослідження технологічних методів і режимів забезпечують високу достовірність отриманих результатів.

Наукові положення, висновки та рекомендації, розвинуті у дисертації, добре обґрунтовані, базуються на глибокому аналізі явищ та процесів, що досліджуються, проведеному на сучасному рівні комплексі експериментальних досліджень та практичною реалізацією результатів роботи. Висновки, що сформульовані в роботі, не суперечать класичним уявленням щодо формування структури та властивостей полікомпонентних сплавів.

Зауваження до дисертації.

Відзначаючи хороший рівень роботи, наукове та прикладне значення результатів доцільно зробити деякі зауваження:

- у дисертації стверджується, що «фракційний склад зміщується в сторону ультрадрібних фракцій» (рис. 3.3), стор. 85, але наведені на рис. 3.3 дані свідчать про відносно невелику кількість саме ультрадисперсних (з розміром не більше 1 мкм) частинок порошкової суміші;

- при розмелюванні збільшується кількість дефектів кристалічної решітки. При нагріванні до температури гарячого штампування ці дефекти відпалюються?

Як вони сприяють «прискоренню сплавоутворення»? Необхідно було б довести, що дефектність зберігається до температур термомеханічної обробки;

- на стор. 95 зазначено, що великі значення усадки при спіканні обумовлені значним деформаційним зміцненням та активацією поверхні порошоків в процесі розмелу. На мій погляд, у даному випадку при температурі 1200°C відбувається класичне рідиннофазове спікання у присутності розплаву міді або розплаву евтектичного складу. А активне утворення контактів між твердими частинками при більш низькій температурі, пов'язане з підвищеною дефектністю структури та активацією поверхні частинок після подрібнення, як раз буде стримувати усадку на першій стадії рідиннофазового спікання (як один, але не єдиний фактор);

- автором не приділено належної уваги визначенню впливу фракційного складу вихідних компонентів і суміші на особливості процесів ущільнення заготовок, структуру і властивості отриманих сплавів. Наприклад, з чим пов'язана значна різниця щільностей заготовок, спечених з механоактивованих порошоків і порошоків без розмелу?

- у дисертації розроблені раціональні режими отримання досліджуваних сплавів, при використанні яких забезпечується достатньо високий рівень властивостей. Доцільно було б вирішити задачу оптимізації технологічних режимів, що дозволить отримати максимально високий комплекс характеристик;

- у другому розділі дисертації бажано було б навести методики статистичної обробки експериментальних результатів для кращого розуміння рівня достовірності результатів і обґрунтованості висновків;

- на стор. 98 йдеться про «змащувальні властивості графіту при внутрішньому терті». Що автор має на увазі під «внутрішнім тертям»?

- слід уважніше ставитись до оформлення дисертаційних матеріалів: при обговоренні актуальності теми дослідження на стор. 17 дисертації у першому абзаці наведені посилання на першоджерела інформації, але у першому абзаці автореферату цей же текст подається без посилання на першоджерела;

- краще використовувати термін диференціальний термічний аналіз замість диференційний;

- автор інколи використовує позасистемні одиниці виміру, наприклад г/см³, °C/хв.

Але зазначені зауваження не стосуються основних положень, висновків і рекомендацій дисертації, не знижують наукової та практичної цінності виконаної роботи.

Повнота викладу результатів дисертації у публікаціях та апробація на наукових конференціях

Основні положення дисертації опубліковані у 7 статтях в українських та зарубіжних журналах, з них дві у журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus. На підставі аналізу опублікованих автором робіт, а також доповідей на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях можна з упевненістю сказати, що матеріали дисертації достатньо повно висвітлені у статтях та

доповідях, пройшли широку апробацію. На мою думку, технічні рішення, отримані у даному дослідженні, можуть бути патентовані.

Автореферат відповідає змісту дисертації, його написано у відповідності до існуючих нормативних вимог.

Загальний висновок.

Проведений аналіз змісту і основних положень дисертації Марича М.В. показує, що робота являє собою завершене дослідження, в ній отримані нові результати, які ефективно вирішують наукову і прикладну задачу розробки нових високоентропійних сплавів з високими властивостями та ефективних технологій їх виготовлення з використанням методів порошкової металургії на основі визначених закономірностей формування структури та фазоутворення.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.16.06 – порошкова металургія і композиційні матеріали, тому що в ній досліджуються процеси підготовки порошків для використання у технологічних процесах, способи формування заготовок та виробів з порошків, спікання і термомеханічне оброблення, закономірності формування структури порошкових композицій.

Враховуючи викладене, вважаю, що дана дисертація за своїм змістом і обсягом, науковою та практичною значимістю, кількістю та якістю публікацій повністю відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 №567 (зі змінами) до кандидатських дисертацій, має бути оцінена позитивно, а її автор, Марич Мирослав Васильович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.06 – порошкова металургія і композиційні матеріали.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри технології виробництва
літальних апаратів Дніпровського
національного університету
імені Олеся Гончара

А. Ф. Санін

А. Ф. Санін
10.04.2020

Підпис проф. Саніна А.Ф. засвідчую.

Проректор з наукової роботи
ДНУ, д.х.н., професор

С.І.Оковитий

