

До спеціалізованої вченої
ради Д 26.207.03
Інституту проблем
матеріалознавства
ім. І.М. Францевича НАН
України

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію **ПРИСТАШ Миколи Сергійовича**
«Закономірності фазо- та структуроутворення матеріалів систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B в умовах іскро-плазмового спікання», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.16.06 – «Порошкова металургія і композиційні матеріали»

Актуальність теми дисертації

Актуальність напрямку досліджень структуроутворення матеріалів систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B з кожним роком підвищується у зв'язку з дефіцитом сировини для синтезу основних легуючих елементів для зносостійких матеріалів (вольфрам, молібден, кобальт та ін.), а також відсутністю в Україні розроблювальних родовищ цих стратегічних матеріалів та їх висока вартість на зовнішньому ринку. Аналіз огляду робіт показав, що використання металоматричних композиційних матеріалів (ММК) на основі заліза (клас карбідосталей) з рівномірно розподіленими тугоплавкими частинками ультрадисперсного діапазону, дає змогу отримати матеріали з високими функціональними властивостями. Для збереження ультрадисперсних структур у металоматричних композитах все ширше використовуються технологічні процеси електророзрядного спікання. Вони дозволяють забезпечити високі швидкості нагрівання, зменшити час витримки при максимальній температурі та отримувати вироби з більшою відносною щільністю та більш тонкою структурою, ніж при використанні традиційних методів консолідації, таких як гаряче та ізостатичне пресування. До таких методів впливу відноситься метод іскро-плазмового спікання (ІПС), який дозволяє отримати матеріали високої щільності за короткий проміжок часу та при тиску до 60 МПа. Однак, у існуючих джерелах недостатньо даних, які б дозволили керувати процесом створення ММК систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B в умовах ІПС. Тому, створення ММК систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B з високими фізико-механічними властивостями за рахунок керування процесами фазо- та структуроутворення у матеріалі в умовах іскро-плазмового спікання є актуальною задачею, як у науковому, так і прикладному застосуванні.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна

Достовірність одержаних результатів підтверджується експериментальними методами і забезпечена:

- використанням сучасного спеціалізованого обладнання для випробувань при крайовому дряпанні з відколюванням;
- розробкою методик для проведення дослідження та великим обсягом вибірки отриманих експериментальних результатів;
- узгодженістю результатів отриманих безпосередньо здобувачем і даними взятими з літературних джерел.

Мета дослідження полягає у розробці фізико-технологічних засад отримання метало-матричних композитів систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B з високими фізико-механічними характеристиками в умовах іскро-плазмового спікання.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. На підставі узагальнення результатів теоретичних та експериментальних досліджень вперше визначено зв'язок між збільшенням введеної в об'єм технологічної комірки потужності з 1,3 до 4 кДж/с шляхом зміни гармонійного складу струму при електрострумовій консолідації, із змінами структури та фізико-механічних властивостей ММК класу карбідосталей систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B, що дало змогу збільшити щільність консолідованих матеріалів з ~ 80 до 98 % від теор., твердість з ~ 35 до ~ 50–60 HRC, та підвищити їх стійкість проти абразивного зношування у 7 разів у порівнянні із швидкоріжучими сталями.
2. На основі розрахунків континуальної теорії спікання доведено та експериментально підтверджено, що збільшення швидкості нагрівання під час ППС порошку заліза з 10 до 20 °C/с дозволяє зменшити час ущільнення з 60 до 40 с, збільшити капілярний тиск з 0,5 до ~2 МПа, та збільшити твердість з 60 до 85 HRB за рахунок отримання більш дрібнозеренної структури.
3. Вперше встановлено, що зміна швидкості нагрівання з 10 °C/с до 20 °C/с при ППС консолідації композитів системи Fe – Ti – C – B із введеною потужністю 4 кДж/с за рахунок інтенсифікації процесів боридоутворення дозволяє підвищити їх щільність до 98 % від теоретичної, та твердість до ~ 60 HRC.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Металоматричний композит системи Fe – Ti – C – B, виготовлений за рекомендаціями, які представлені в дисертаційній роботі, був використаний в якості пластин для різання полімерної ізоляції та пробійників титанової фольги на державному підприємстві «Експериментальне виробництво Інституту імпульсних процесів і технологій». За результатами випробувань стійкість представленого композиту була на рівні інструментальної сталі Р6М5, але за рахунок того, що вартість матеріалу системи Fe – Ti – C – B в 4 рази менша, з економічної точки зору, це дозволить значно збільшити прибуток виробництва.
2. Отримані здобувачем науково-практичні результати використовуються під час підготовки фахівців за спеціальністю “Композиційні та порошкові матеріали, покриття” на кафедрі матеріалознавства та технології металів Інституту комп'ютерних та інженерно-технологічних наук Національного Університету Кораблебудування, у лекційному курсі дисциплін “Особливості виробництва

розміром ~ 60 мкм, V_4C_3 -M7 розміром від 5 до 7 мкм, та TiC -розміром від 2 до 5 мкм та їх сумішей у складі 75 % Fe – 25 % Ti, 50 % Fe – 50 % Ti, 25 % Fe – 75 % Ti, 75 % Fe – 20 % Ti – 5% V_4C_3 , 75 % Fe – 25 % TiC. Наноструктуровану шихту автор отримав шляхом ВЕР обробки сумішей порошків вихідного складу 75 % Fe – 25 % Ti, 50 % Fe – 50 % Ti, 25 % Fe – 75 % Ti та 75 % Fe – 20 % Ti – 5 % V_4C_3 у гасі, згідно умов карбідизації титану та режимів з питомою енергією в діапазоні від 6,25 до 18,75 МДж/кг відповідно складу суміші.

Для оцінки морфології частинок порошків та мікроструктури консолідованих зразків автор використовував оптичний мікроскоп БІОЛАМ-И та оптичний інвертований мікроскоп Axiovert 40 MAT (Carl Zeiss). Для дослідження наноструктур використовували растровий електронний мікроскоп РЕММА-102 та растровий електронний мікроскоп з високою роздільною здатністю EVO-50 (Carl Zeiss). Дослідження фазового складу шихти та консолідованих зразків виконувалось на дифрактометрі загального призначення ДРОН-3 ($Cu_{K\alpha}$) та багатоцільовому дифрактометрі Rigaku Ultima IV ($Cu_{K\alpha}$).

Консолідацію порошкових матеріалів виконували у захисному середовищі (вакуум 10^{-4} МПа) на універсальному експериментальному комплексі «ГЕФЕСТ», що розрахований на використання двох джерел струму, загальною потужністю до 10 кВт. Перше джерело електричного струму засноване на пропусканні суперпозиції постійного та імпульсного струму з частотою 10 кГц при робочій напрузі $U = 2$ В (метод ІПС), а друге – змінного струму промислової частоти 50 Гц при напрузі $U = 10$ В (метод Field Activated Pressure Assisted Synthesis). Керування процесом спікання, вимірювання температури, сили струму та напруги проводилось за допомогою спеціально створеного програмного забезпечення. Термопара для вимірювання температури була встановлена в поверхню графітової матриці (МПГ-6) та відтарована відносно температури зразка. Для дослідження впливу струму різного гармонічного складу було використано дані щодо консолідації обраних сумішей на обладнанні «ЕРАН 2/1» та «Імпульс БМ».

Процес консолідації реєструвався за допомогою осцилографу Tektronix. Отримані осцилограми оброблювались у програмі National Instruments Signal Express та імпортувались у програму MathCAD, що дозволило отримати криві електричної потужності спікання.

Стійкість до абразивного зношування консолідованих зразків визначалася ваговим методом на машині тертя СМЦ-2 за схемою «ролик-колодка». В якості ролика (контр-тіло) використовували рухливий алмазний круг 1A1 з зернистістю АС4 80/63. Визначення межі міцності отриманих зразків на згин виконували за методом визначення TRS на дослідній машині Р-5, твердість за Роквеллом визначалась на твердомірі ТР-5006.

У третьому розділі було досліджено особливості впливу струму різного гармонічного складу на властивості консолідованих циліндричних зразків діаметром 10 мм з сумішей Ш1 та Ш4 складу. Дослідження виконувались шляхом пропускання крізь порошкову засипку постійного струму (КС) та імпульсними методами впливу: ІПС, ВЕС та FAPAS. Консолідація у режимах КС, ІПС та FAPAS проводилась при температурі 1100 °С протягом 180 с під дією тиску у 60 МПа зі

швидкістю нагрівання $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$. Для методу ВЕС компактування відбувалась протягом 30 мкс при температурі $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ та одночасному впливі на зразки тиску до 600 МПа у керамічній матриці. В результаті було отримано криві залежності (точність апроксимації $\sim 50\%$) поруватості, твердості, втрати ваги при абразивному зношуванні та міцності на згин консолюдованих зразків від введеної потужності спікання, яка чисельно дорівнює інтегральній потужності процесу спікання за 1 с та складає для методу ВЕС - 1,3 кДж/с, FAPAS - 1,65 Дж/с, КС - 3 кДж/с, а для методу ІПС - 4 кДж/с.

Встановлено, що збільшення введеної потужності спікання з 1,3 кДж/с до 4 кДж/с за рахунок зміни гармонійного складу струму дозволяє зменшити поруватість зразків системи Fe - Ti - C з $\sim 20\%$ до 2% , а зразків системи Fe - Ti - C - B з $\sim 25\%$ до 5% , за рахунок процесів переносу рідкого металу між частинками шихти. Збільшення щільності консолюдованих зразків дозволило збільшити значення їх твердості з ~ 35 до 50 HRC, зменшити втрату ваги при абразивному зношуванні з 15% маси до 5% для системи Fe - Ti - C, та з 10% маси до 1% для системи Fe - Ti - C - B, а також підвищити міцність на згин зразків системи Fe - Ti - C з ~ 400 до ~ 820 МПа, а для системи Fe - Ti - C - B з ~ 400 до ~ 1100 МПа.

Отримані дані експериментально підтвердили перспективність використання методу ІПС для отримання ММК на основі заліза, зміцнених тугоплавкими компонентами, з високими показниками твердості та стійкості до абразивного зношування.

У четвертому розділі експериментально досліджено вплив дисперсності, фазового складу та кількості тугоплавких компонентів у складі шихти на фізико-механічні властивості консолюдованих матеріалів, отриманих в умовах ІПС. Також у четвертому розділі розглянуто шляхи підвищення фізико-механічних властивостей ММК на основі заліза, консолюдованих в умовах ІПС.

Для дослідження впливу дисперсності, фазового складу та кількості тугоплавких компонентів у складі шихти на властивості отриманих ММК використовувались суміші порошків вихідного складу $75\% \text{ Fe} - 25\% \text{ TiC}$ із середнім розміром часток 18 мкм та розміром тугоплавких компонентів TiC від 2 до 5 мкм та суміші з різним вмістом тугоплавких компонентів, яка отримана в результаті ВЕР обробки вихідних порошків. Режим ІПС консолюдації полягав у нагріві до $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$ та подальшої ізотермічної витримки під дією механічного тиску у 60 МПа до повного ущільнення протягом 3 хв.

Вплив розміру та складу дисперсної фази на фізико-механічні властивості матеріалу встановлювався шляхом консолюдації зразків системи вихідних порошків $75\% \text{ Fe} - 25\% \text{ TiC}$, зміцнених частинками розміром від 2 до 5 мкм, та зразків суміші №1 яка складається з $70\% \text{ Fe}$ зміцненого $20\% \text{ TiC}$ та $2\% \text{ Fe}_3\text{C}$ розміром від 100 до 600 нм. Результати досліджень показали, що дисперсність та склад зміцнюючої фази в досліджуваному діапазоні суттєво впливає на збільшення твердості з 23 до 48 HRC. При цьому гідрид титану, який був присутній у шихті суміші №1 після ВЕР обробки, в процесі ІПС повністю розкладається.

Встановлено, що кількість синтезованої при ВЕР обробці порошків тугоплавких компонентів не змінюється для системи Fe - Ti - C в процесі ІПС. Збільшення кількості тугоплавких компонентів у консолюдованих зразках з 24%

(№1) до 71% (№3), що призводить до падіння значень твердості з 48 до 15 HRC та зносостійкості, що може бути пов'язано з нестачею заліза для забезпечення повного зв'язування карбідів, та відсутністю додаткових легуючих компонентів типу хром, нікель, молібден та кобальт, що впливають на крайовий кут змочування та дозволяють отримати ММК на основі легуваних сталей з вмістом тугоплавких компонентів більше 30 %.

Введення 5% V_4C у систему Fe – Ti призвело до його часткової деструкції під час ІПС з виділенням додаткового тепла (після виходу на режим зафіксовано миттєве підвищення температури з 1100 до ~ 1500 °C) та утворенням карбідів та боридів вихідних компонентів, що дозволило підвищити механічні властивості консолидованих зразків, твердість яких склала 49 HRC, а втрата ваги при зношуванні досягає 1,8 %.

Виходячи з отриманих результатів було обрано склад порошоків систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B після ВЕР обробки для створення металоматричних композитів на основі заліза. Однак, не дивлячись на те, що отримані ІПС матеріали цих систем мали показники стійкості до абразивного зношування на рівні сталі Р6М5, значення твердості в них були на ~ 20 % нижче. Тому, на базі теоретичних та експериментальних досліджень була розглянута можливість підвищення фізико-механічних характеристик дисперснозміцнених металоматричних композитів систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B за рахунок впливу швидкості нагрівання під час ІПС на кінетику ущільнення та структуроутворення у матриці консолидованих зразків. Для цього була розглянута існуюча модель спікання, яка заснована на уявленнях теорії спікання континууму, та описує макроскопічне поведіння пористого тіла протягом спікання, пов'язуючи зовнішній тиск з компонентами тензора швидкостей деформації. Аналіз отриманих даних дозволив встановити, що збільшення швидкості нагріву з 10 до 20 °C/c дає можливість зменшити час ущільнення з 60 до 40 с, а використання швидкостей нагрівання вищих за 20 °C/c без подальшої ізотермічної витримки призводить до руйнування отриманих зразків. Аналіз кривих зміни розміру зерна в процесі ІПС при нагріванні до 1100 °C показав, що при швидкості 10 °C/c середній розмір зерна заліза збільшується з 2,4 до 16 мкм, а використання швидкості нагрівання 20 °C/c зменшує цей показник майже у 2 рази, та призвело до збільшення твердості зразків з 60 до 85 HRB.

Отримані залежності зміни поруватості та середнього розміру зерна заліза у часі під час ІПС з різними швидкостями нагрівання дозволили теоретично, на основі теорії спікання континууму, визначити залежність зміни капілярного тиску між частинками порошку заліза від щільності зразків. Для цього було розглянуто модель ущільнення циліндричного зразку у жорсткій матриці під дією зовнішнього осьового тиску 30 МПа. Сам матеріал розглядався таким, що має пори та лінійно в'язку безпористу фазу. В результаті було отримано залежності зміни капілярного тиску від зміни поруватості під час процесу ІПС зі швидкостями нагрівання 10, 15 та 20 °C/c. Встановлено, що капілярний тиск під час консолидації порошку заліза починає впливати на процес ущільнення коли загальна щільність зразків перевищує 80 %. Його значення залежить від швидкості нагрівання, і складає для 10 °C/c – 0,5

25 % Ti у масі з питомою енергією 6,25 МДж/кг. ІПС обраної шихти при осьовому

МПа, а для 20 °С/с – 2 МПа, що пов'язано з утворенням рідкої фази та зменшенням розміру пор, швидкість виведення яких залежить від швидкості нагрівання.

У п'ятому розділі зміна швидкостей нагрівання в діапазоні від 10 до 20 °С/с була застосована для ІПС досліджуваних сумішей, що дозволило отримати зразки із середнім розміром зерна у залізній матриці ~ 2,4 та ~ 1,5 мкм відповідно складу.

Однак, збільшення швидкості нагріву до 20 °С/с призвело до уповільнення дифузійних процесів, що протікають під час ІПС, та появи неоднорідності розподілу тугоплавких компонентів за об'ємом консолидованих зразків, що вплинуло на механічні властивості консолидованих компактів. Для системи Fe – Ti – C утворення неоднорідності в розподілі карбідів призвело до різкого падіння твердості з 50 до 30 HRC та міцності на вигин з 800 до 400 МПа через утворення областей без зміцнюючої фази. У той же час абразивна стійкість зразків підвищилася, втрата маси при контакті з алмазним кругом склала всього 1%, що характерно при використанні в якості матриці в'язкого заліза. Однак, для зразків системи Fe – Ti – C – B спостерігається зворотний ефект. Збільшення швидкості нагріву привело до збільшення твердості з 48 до 60 HRC, міцності на згин з 1100 до 1500 МПа та зносостійкості, що, як зазначалось у розділі 4, пов'язано з розкладанням карбіду бору з миттєвим підвищенням температури на ~400 °С та утворенням карбідів та боридів вихідних металів. Втрата маси при абразивному зношуванні для зразків, консолидованих зі швидкістю нагріву 20 °С/с склала 0,2%, що в 7 разів нижче ніж у зразків сталі Р6М5 (1,5 % маси).

Високі фізико-механічні властивості зразків ММК консолидованих шляхом ІПС шихти №Ш4 зі швидкістю нагріву 20 °С/с свідчать, що процес виділення додаткового тепла під час карбідо- і боридоутворення в процесі нагрівання дозволяє забезпечити міцні зв'язки між частинками в компактi. Однак не дослідженими залишились процеси, що відбуваються під час ізотермічної витримки зразків при температурі 1100°С протягом 3 хв. Для їх дослідження було проведено комплекс експериментів по консолидації порошкової шихти системи Fe – Ti – C – B зі швидкістю нагріву 20 °С/с до досягнення температури 1100 °С і без ізотермічної витримки, та зі збільшенням часу витримки з кроком 60 с до 3 хв. Аналіз експериментальних даних та фазового складу показав, що зі збільшенням часу витримки збільшується вміст боридних фази вихідних металів в складі зразка, що призводить до підвищення твердості і зносостійкості (Рис. 9). Склад суміші після консолидації згідно методики RIR складає приблизно 65 % Fe – 17 % TiC – 8% (Fe₃C, Fe₂Ti) – 10 % (Ti₂B, FeB). Оскільки шихта для виготовлення систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B була синтезована під час ВЕР обробки сумішей що мають у своєму складі 70% заліза у гасі, відбувається її часткове легування вуглецем. Це дозволило провести для таких ММК термічну обробку згідно діаграми стану залізо-вуглець та розробити загальні рекомендації щодо створення ММК обраних систем, зміцнених тугоплавкими компонентами, що мають високі показники твердості та стійкості до абразивного зношування, які полягають у наступному:

– для отримання ММК системи Fe – Ti – C рекомендовано використовувати шихту яка була отримана шляхом ВЕР обробки вихідної суміші складу 75 % Fe – 25 % Ti у гасі з питомою енергією 6,25 МДж/кг. ІПС обраної шихти при осьовому

тиску 60 МПа, швидкості нагрівання 10 °С/с з витримкою при 1100 °С протягом 180 с та подальшою термообробкою, яка згідно літературним даним полягає у гартуванні у воду при нагріванні до температури 830 °С, та низькотемпературного відпуску при 220 °С протягом 120 с. Це дозволить отримати матеріал зміцнений карбідами, щільністю ~ 98 %, твердістю 53 HRC та зносостійкістю на рівні сталі Р6М5.

Для отримання ММК на основі системи Fe – Ti – C – В автор рекомендує використовувати шихту яка була отримана шляхом ВЕР обробки вихідної суміші складу 75 % Fe – 20 % Ti – 5% В₄С у гасі з питомою енергією 5 МДж/кг. ІПС обраної шихти при осьовому тиску 60 МПа, швидкості нагрівання 10 °С/с з витримкою при 1100 °С протягом 180 с та подальшою термообробкою, відповідною системі Fe – Ti – C. Це дозволить отримати матеріал, що має високу (~ 98 %) щільність, твердість до 65 HRC, міцність на згин ~ 1500 МПа, та втрату ваги при абразивному зношуванні ~ 0,2 % маси (що у 7 разів вище ніж у сталі Р6М5).

Для встановлення можливості практичного використання результатів досліджень було запропоновано виготовлення пластин ріжучого інструменту для полімерних ізоляційних матеріалів (поліамід, поліетилен) та пробійників для титанової фольги на основі металоматричного композиту системи Fe – Ti – C – В. Для цього, згідно наданим рекомендаціям, були виготовлені зразки, зовнішнім діаметром 10 та 20 мм, з яких, були отримані ріжучі пластини, пробійники та матриці пробійників. Отримані вироби показали свою ефективність при виготовленні ізоляції та перфорації фольги на рівні інструментальних сталей Р6М5 та Р6, що дозволило підприємству «Експериментальне виробництво Інституту імпульсних процесів і технологій» відмовитись від закупівлі витратних елементів обладнання.

Оцінка змісту дисертації та її завершеності у цілому

Представлена до захисту дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням. Тема дисертації відповідає змісту проведених досліджень. Структура роботи, обсяг основного тексту, порядок викладення та оформлення матеріалів дисертації та автореферату відповідає вимогам, що пред'являються до дисертаційних робіт.

Сформульовані у роботі до розв'язання задачі послідовно вирішені здобувачем і таким чином досягнуто поставлену мету дослідження. Результати роботи в достатній мірі висвітлені в публікаціях, обговорювалися на конференціях і семінарах.

Зауваження щодо змісту і оформленню дисертації:

1. В дисертації на с.6(Анотація) автор декларує, що збільшення введеної потужності при консолідації сумішей систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – В з 1,3 до 4 кДж дає збільшення твердості з 20 до 50 HRCа в авторефераті на с.3 в науковій новизні це збільшення у іншому діапазоні від 35 до 50-60 HRC. Це деяка неузгодженість;
2. По тексту дисертації автор неодноразово механізм консолідації пояснює дифузійними процесами, але доказів цього не наводить. До того ж, процеси дифузії досить повільні відносно короткотривалих процесів електро-розрядного спікання;

3. В розділі 2 на с.65 подрібнення зерен сумішей після ВЕР обробки для шихт №1-3 питома поверхня порошоків збільшується у 3-3,5 рази не звертаючи уваги на значну зміну % відсотків вмісту Fe та Ti й різниці їх пластичних властивостей, а в шихті №4 з 75 %Fe і 25%TiC тільки на 20%. До того ж, автор не наводить величину тиску, який використовується при ВЕР обробці;
4. В розділі 2.8 на с. 72 для випробувань на стійкість абразивному зношуванню не слід використовувати алмазні круги для матеріалів на основі м'яких металів, тому що у цьому випадку м'які метали «засалюють» алмазний круг й його абразивна здатність погіршується;
5. В розділі 3 наведені режими консолідації композитів струмом різного гармонійного складу, але досліджувались тільки суміші шихт №1 75%Fe+25%Ti та №4 75%Fe + 20%Ti_5%B4C. Проведення такого дослідження при різних методах спікання FAPAS, ВЕС та ІПС всіх п'яти сумішей дало б більш повноцінне уявлення про зміну фазового складу та механічних властивостей спечених композитів.

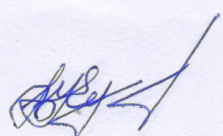
ЗАГАЛЬНА ОЦІНКА ДИСЕРТАЦІЇ

Дисертаційна робота ПРИСТАША Миколи Сергійовича «Закономірності фазо- та структуроутворення матеріалів систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B в умовах іскро-плазмового спікання», є завершеною науковою роботою, в якій була розв'язана важлива науково-технічна задача, яка полягала у збільшення твердості, щільності та зносостійкості металоматричних композитів у системах Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B за рахунок збільшення введеної потужності електричного струму при іскро-плазмовому спіканні шихти.

Зазначені вище зауваження не зменшують загального позитивного враження від виконаної ПРИСТАШЕМ Миколою Сергійовичем дисертаційної роботи. Представлена робота повністю відповідає вимогам пп.9, 11 та 13 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 (№ 40 від 12.01.2017), а її автор – ПРИСТАШ Микола Сергійович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.16.06 – «Порошкова металургія і композиційні матеріали».

Офіційний опонент,

Старший науковий співробітник відділу
«Комп'ютерного моделювання та механіки
композиційних матеріалів» Інституту надтвердих
матеріалів імені В. М. Бакуля НАН України, к.т.н.

 В.Г. Кулич

Підпис к.т.н. Кулича В.Г. засвідчую
Вчений секретар Інституту
надтвердих матеріалів
імені В. М. Бакуля НАН України,
к. т. н.



 В. В. Смоквина

Вчений секретар Інституту
надтвердих матеріалів
імені В. М. Бакуля НАН України,
к. т. н.



В. В. Смоквина

Дана дисертація на дисертацію ПРИБАШ Миколи Сергійовича
«Вплив швидкості фазо- та структуроутворення матеріалів систем Fe – Ti – C та
Fe – Ti – C – B в умовах іскро-плазмового спікання», представлена на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю
25.10.06 – «Порошкова металургія і композиційні матеріали»

Актуальність теми дисертації

Актуальність напрямку досліджень структуроутворення металевих систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B з кожним роком підвищується у зв'язі з дефіцитом сировини для синтезу основних легуючих елементів для важливих матеріалів (вольфрам, молибден, кобальт та ін.), а також відсутністю в Україні родовищ цинку, стратегічних матеріалів та їх висока вартість на міжнародному ринку. Аналіз огляду робіт показав, що металоматричні композиційні матеріали (ММК) на основі заліза (клас карбідосталей) з рівномірно розподіленими тугоплавкими частинками ультрадисперсного діапазону, дає змогу отримати матеріали з високими функціональними властивостями. Для збереження ультрадисперсних структур у металоматричних композиціях все ширше використовуються технологічні процеси електророзрядного спікання. Вони дозволяють забезпечити високі швидкості нагрівання, зменшити час витримки при мінімальній температурі та отримувати вероби з більшою відносною щільністю та більшою тонкою структурою, ніж при використанні традиційних методів консолідації, таких як гаряче та ізостатичне пресування. До таких методів впливу відноситься метод іскро-плазмового спікання (ІПС), який дозволяє отримати матеріали високої щільності за короткий проміжок часу та при тиску до 60 МПа. Однак, у існуючих джерелах недостатньо даних, які б дозволили керувати процесом створення ММК систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B в умовах ІПС. Тому, створення ММК систем Fe – Ti – C та Fe – Ti – C – B з високими фізико-механічними властивостями за рахунок керування процесами фазо- та структуроутворення у матеріалі в умовах іскро-плазмового спікання є актуальною задачею, як у науковому, так і прикладному застосуванні.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій,

їх достовірність і новизна

Достовірність одержаних результатів підтверджується експериментальними методами і забезпечена: