

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію

Шевчука Максима Борисовича ”Закономірності формування структури та експлуатаційних властивостей зносостійких композиційних матеріалів з карбідів перехідних металів та самофлюсівних сплавів”, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.06 – Порошкова металургія та композиційні матеріали

Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота Шевчука М.Б. присвячена розробці теоретичних та технологічних засад формування структури та властивостей композиційних зносостійких матеріалів за участю карбідів перехідних металів (КПМ), відходів твердих сплавів і самофлюсівних сплавів, що забезпечують необхідні умови отримання виробів з них із заданими властивостями. Актуальність роботи складається з декількох факторів, одним з яких є принцип вибору та отримання вихідних матеріалів, який заснований на природі їх фізико-механічних властивостей, структурі гранул з КПМ та їх сплавів, адгезійних властивостей розплавів металеві складові. Вперше вивчено процес змочування в різних газових середовищах розплавами самофлюсівного сплаву на основі заліза поверхонь КПМ і сплавів на їх основі. Отримані фундаментальні дані з контактної взаємодії різних видів тугоплавких сполук, твердих сплавів та металеві зв'язки, що базуються на впливі на ці процеси електронної будови елементів та міжатомної взаємодії між ними, дозволяють науково обґрунтовано визначити склад та умови створення композиційних матеріалів (КМ) та товстошарових покриттів з матеріалів за участю самофлюсівних сплавів. Виявлений механізм розчинності тугоплавких сполук та їх сплавів в розплавах самофлюсівних сплавів заліза з утворенням вторинних структур, що має важливе значення для прогнозування кінцевих структур матеріалів при створенні КМ та товстошарових покриттів з них з наперед заданими властивостями. Визначає актуальність роботи і дослідження процесів отримання КМ і товстошарових покриттів з них з заданими

властивостями самодовільним просоченням, просоченням під дією відцентрових сил та суміщенням процесу формування покриття з процесом литва деталі з метою оптимізації параметрів їх отримання.

На основі виконаних М.Б. Шевчуком досліджень відкриваються нові напрямки у вирішенні складного науково-технічного завдання створення нових композитів та покриттів, що забезпечують працездатність деталей і інструменту в умовах інтенсивного зношування та дії ударних навантажень. Це свідчить про безумовну актуальність роботи та її важливість у науковому та прикладному аспектах. Саме тому у світі, в цілому, виконується великий об'єм досліджень умов створення композитів на основі КППМ, відходів твердих сплавів та самофлюсівних сплавів на основі заліза. Однак, незважаючи на велику кількість робіт в цій галузі, у більшості яких досліджено конкретні питання прикладного змісту, отримані експериментальні та теоретичні результати досить суперечливі та не дозволяють, до теперішнього часу, встановити загальні закономірності, які б пов'язували конкретні технологічні параметри з фізико-хімічними процесами контактної взаємодії, фазоутворенням, структуроутворенням складних композитів та товстошарових покриттів, і завдяки цьому керувати властивостями отриманих матеріалів.

Таким чином, дисертаційна робота М.Б.Шевчука, в якій на різних типах вихідних матеріалів з залученням широкого діапазону дослідницьких методів, теоретичних результатів та технологічних впливів наведено систематичні, комплексні дослідження фізико-хімічних процесів, що супроводжують розробку композиційних матеріалів за участю карбідів перехідних металів, їх сплавів та самофлюсівних сплавів на основі заліза у взаємозв'язку з отриманими властивостями є актуальною та важливою для фізичного матеріалознавства.

Робота викладена на 202 сторінках, містить 100 рисунків, 39 таблиць, список використаних джерел із 138 найменувань.

Перший розділ представляє собою огляд літературних даних по отриманню зносостійких композиційних матеріалів. В огляді вивчено стан питання щодо дослідження зносостійких матеріалів. Розглянуто основні типи відомих зносостійких матеріалів, проаналізовано їх переваги та недоліки. Проведено

аналіз впливу фізико-механічних властивостей, хімічного складу та структури матеріалів на зносостійкість. Показано, що необхідний комплекс властивостей мають матеріали, отримані методами порошкової металургії.

Розглянуті закономірності синтезу, формування структури та властивостей КМ для роботи в умовах інтенсивного абразивного зношування та високих навантажень. Показано, що ключовими в проблемі створення композиційних гетерофазних матеріалів є змочування, хімічна взаємодія, розчинення компонентів, які забезпечують утворення міцного зв'язку, адгезії на границях фаз. Термодинамічна, хімічна, термомеханічна сумісність фаз визначають працездатність композитів в широкому діапазоні температур.

На основі аналізу технологій одержання композицій з покращеною структурою було вибрано такі технології, як метод просочення під дією гравітаційних сил, що дозволяє синтезувати матеріали з високою щільністю; та відцентрової сили, що наближає щільність матеріалу до теоретичної та дає змогу формувати структуру з високою щільністю упаковки частинок.

В результаті аналізу літературних даних зроблено висновок, що доцільним є проведення досліджень по розробці та оптимізації методів синтезу композиційних матеріалів, вивчення механізмів формування структури та властивостей цих композицій під дією гравітаційних та відцентрових сил.

У другому розділі висвітлено методики дослідження фізико-механічних властивостей, хімічного складу та структури матеріалів. В роботі поряд із застосуванням сучасних стандартних методик розроблено методики та створено діючі стенди для дослідження процесів змочування, стійкості при зношуванні закріпленими та вільними абразивами, отримання товстошарових покриттів на деталях обертання за допомогою відцентрових сил. В цілому, як технологія отримання, так і методи аналізу отриманих зразків матеріалів дозволили автору вирішити поставлені задачі.

У третьому розділі виконано дослідження вихідних матеріалів для виготовлення зносостійких композицій з гранул КПМ та самофлюсівних сплавів на основі заліза (СФЗ). Досліджено структуру та властивості гранул, отриманих грануляцією пластифікованих сумішей порошків КПМ, плавленням за допомо-

гою витратних електродів з карбідів в низькотемпературній плазмі з наступним подрібненням отриманих зливків, відцентровим розпилюванням електродів з карбідів, формуванням карбідів з наступним спіканням і подрібненням. Автором також проведено дослідження СФЗ, які є високолегованими сплавами на основі заліза, і, по суті, представляють собою композиційний матеріал, який складається з металевої матриці на основі заліза і евтектики, армованої зернами карбідів та боридів.

Аналіз отриманих даних, викладених в розділі 3, дозволив зробити висновок, що особливу перспективу для створення КМ та товстошарових покриттів з них складають литі тугоплавкі сполуки та відходи твердих сплавів. Тому основними об'єктами подальших досліджень були саме ці матеріали.

У четвертому розділі наведено результати дослідження змочуваності та взаємодії КПМ та їх сплавів і матеріалів конструкцій, на яких створюються товстошарові покриття – сталей та чавунів з розплавами СФЗ. За об'ємом і значимістю четвертий розділ є найбільш вагомим в роботі, оскільки в ньому розглянуто питання взаємодії металевої зв'язки зі зміцнюючою фазою, з урахуванням основних принципів вибору матеріалу металевої зв'язки. Було досліджено вплив на крайовий кут змочування температури, часу ізотермічної витримки, пористості зразків та середовища змочування (повітря, аргон). Встановлено також вплив на кут змочування вмісту металевої зв'язки в твердому сплаві. Крім того, за експериментальними даними по визначенню кута змочування також були проведені розрахунки по визначенню поверхневого натягу розплаву самофлюсівного сплаву та роботи адгезії. Результати дослідження змочуваності в системах, що вивчались, дозволили оптимізувати склад, температурні та кінетичні режими отримання композиційних матеріалів з наперед заданими властивостями методом просочення. Було досліджено процеси взаємодії ряду твердих сплавів з СФЗ, вивчено характер взаємодії, фазовий склад та структуру зони взаємодії, а також вплив температури та часу взаємодії на процес фазо- та структуроутворення.

Було підтверджено, що ступінь взаємодії між компонентами композиційних матеріалів у значній мірі залежить від змочуваності розплавами металевих

зв'язок твердої складової композиції. В розділі також наведено результати вивчення процесів взаємодії сталей та чавунів з розплавами СФЗ залежно від температури та часу взаємодії.

В п'ятому розділі наведено результати вивчення впливу якісного та кількісного складу КМ і технологічних параметрів на структуру і властивості отриманих виробів просоченням, просоченням з одночасним литвом виробів у форми і просоченням під дією відцентрових сил.

Експериментально та розрахунково було встановлено об'єм рідкої складової та час просочення для майже 100% щільності КМ. Автором встановлено, що використовуючи різний вихідний склад КМ та умови просочення (температура, час) можна у широких межах регулювати властивості отримуваних матеріалів та їх експлуатаційні властивості залежно від вимог. Оптимізовано технологію отримання композиційних матеріалів за участю твердих тугоплавких сполук та їх сплавів і самофлюсівних сплавів на основі заліза ($t \approx 1200\text{--}1250^\circ\text{C}$, $\tau \approx 15\text{--}30$ хв). В розділі також наведено результати дослідження процесів формування товстошарових покриттів сумісно з процесом виготовлення деталей литвом у форму, в якій було попередньо сформовано на необхідній поверхні шар із суміші гранул КПМ та СФЗ. В роботі була розроблена фізична, теплова та математична моделі створення товстошарових зносостійких покриттів. Також викладені результати експериментальної перевірки отриманих теплових та математичних моделей. Отримані експериментальні дані підтвердили адекватність розрахункових режимів, необхідних для створення якісних покриттів. В розділі також наведено результати дослідження процесу створення товстошарових покриттів на поверхнях деталей обертання з використанням відцентрових сил.

У шостому розділі викладено результати дослідження властивостей композиційних матеріалів за участю КПМ та СФЗ. Було досліджено вплив на зносостійкість складу матеріалів та умов їх виготовлення при терті в парі із закріпленим абразивом та газоабразивному зношуванні.

Наукова новизна отриманих результатів

До наукової новизни роботи слід віднести те, що вперше вивчено процес змочування поверхонь карбідів перехідних металів і сплавів на їх основі в різних газових середовищах (повітря, аргон, форвакуум) розплавами самофлюсівного сплаву на основі заліза. Встановлено вплив кінетичних і температурних параметрів на процеси змочування. Показано, що розплави самофлюсівних сплавів на основі заліза на відміну від розплавів сплавів міді та заліза, які традиційно використовуються для створення КМ, вже за температур понад 1150–1200 °С змочують тверді поверхні карбідів перехідних металів на повітрі.

Запропоновано механізм взаємодії самофлюсівного сплаву на основі заліза з карбідами перехідних металів і твердими сплавами марок ВК, ТК, згідно якому на початковому етапі відбувається проникнення розплаву самофлюсівного сплаву в об'єм частинки карбіду по межах та субмежах зерен з подальшим відокремленням їх частин одна від одної, розчиненням та перекристалізацією через розплав. На етапі охолодження з розплаву в прошарках СФЗ виділяються колонії евтектик, розміри і форма яких залежать від часу і температури взаємодії.

Розроблено теоретичні основи отримання КМ та товстошарових покриттів із них за участю карбідів перехідних металів, відходів твердих сплавів просочуванням з одночасним литтям деталей, та відцентровим просоченням.

Встановлено механізм зношування в парі із закріпленим абразивом, який полягає в тому, що відбувається крихке руйнування твердої складової КМ з подальшим дисперсним зміцненням прошарків самофлюсівного сплаву продуктами руйнування, і, як наслідок, підвищенням зносостійкості. Це дозволяє отримувати матеріали з наперед заданими властивостями.

Достовірність отриманих результатів базується на використанні сучасних методів дослідження при ефективній обробці експериментальних даних. Результати, отримані за допомогою вибраних методів структурних досліджень (рентгенографії і мікроскопії) не тільки взаємно доповнюють один одного, але в більшості випадків дозволяють виключити неоднозначне трактування отрима-

них результатів. Слід зазначити, що отримані результати не суперечать найбільш достовірним літературним даними, загальним законам фізичного матеріалознавства.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблено та реалізовано спосіб отримання та нові КМ з поліпшеними експлуатаційними властивостями з КПМ, відходів твердих сплавів марок ВК, ТК та СФЗ, що можуть знайти широке застосування в гірничодобувній, металургійній та будівельній промисловості для виготовлення зносостійких елементів деталей машин та механізмів, які працюють в умовах абразивного зношування та ударних навантажень. Вперше реалізовано спосіб отримання товстошарових покриттів на зовнішніх та внутрішніх поверхнях деталей обертання просоченням із застосуванням відцентрових сил та на плоских поверхнях одночасно з виготовленням виробів литвом.

Практичне значення отриманих результатів підтверджено двома патентами на корисну модель. Апробовано дослідні зразки у якості зносостійких елементів подрібнювачів.

Результати дисертаційної роботи відомі широкому колу спеціалістів, матеріали дисертації було представлено на 5 конференціях. За темою дисертаційної роботи опубліковано 20 наукових статей: з них 7 – у фахових виданнях (1 з них входить до наукометричної бази даних Scopus) та 2 патенти на корисну модель.

Оцінка роботи в цілому

Робота побудована на матеріалах, в отриманні яких поєднано використання нових даних зі змочування сплавів на основі заліза КПМ, сталей та чавунів та науково обґрунтованих принципів створення нових КМ з технологією отримання нових КМ методом просочування тугоплавкої складової розплавами самофлюсівних сплавів на основі заліза. Виконані дослідження безумовно будуть стимулом подальшого розвитку технологій отримання матеріалів.

Технологічні розробки поєднуються з достатньо глибокими дослідженнями структурного стану і властивостей розроблених матеріалів та доповнюються розрахунками, що базуються на розробленій фізичній, тепловій та математичній моделях створення товстошарових покриттів. Робота побудована на даних про структуру досліджуваних об'єктів, отриманих методами рентгенівської дифрактометрії і мікроскопії. Поєднання цих методів забезпечує не тільки надійність результатів, але є і базою для розвитку та подальшого дослідження.

Отримані значення фізико-хімічних характеристик процесів фазових перетворень та структурних параметрів систем на основі КПМ та самофлюсівних сплавів можуть бути використані в академічних та відомчих інститутах та вузах (ІПМ, ІМФ, ІНМ, НУ ХП, НТУУ “КП” та ін.) в дослідженнях та навчальному процесі.

До дисертації є такі зауваження і побажання:

1. В розділі мета і задачі досліджень автори мають розробити наукові і технологічні основи формування структури та властивостей композиційних зносостійких матеріалів, для забезпечення необхідних умови отримання виробів з них з наперед заданими властивостями. Хотілося б конкретизувати про які саме наукові і технологічні основи йдеться.

2. Я вважаю, що термін синтез КМ доцільніше вживати для синтезу порошків, а композиційні матеріали отримують тим чи іншим методами.

3. В третьому розділі автореферату наведено таблицю 3.7, “ Міцність на стиснення та коефіцієнт форми гранул отриманих різними методами ”, але не подано ніяких коментарів. Необхідно проаналізувати ці характеристики і бажано навести кореляцію між міцністю на стиснення та коефіцієнтом форми гранул.

4. В розділі 3 у результатах дослідження СФЗ написано, що в структурі таких сплавів також присутні карбобориди $Me_3(B,C)$ у вигляді видовжених кристалі, але не вказано, яких саме. З аналізу отриманих даних не зовсім зрозуміло

чому саме литі тугоплавкі сполуки та відходи твердих сплавів є перспективними для створення КМ та товстошарових покриттів.

5. На мою думку, не зовсім точно запропоновано механізм змочування КПМ розплавом СФЗ. Автор стверджує, що наявність змочування СФЗ КПМ на повітрі зумовлена відновленням поверхневих оксидів КПМ бором і що вірогідність проходження цих реакцій підтверджена термодинамічними розрахунками автора. Звичайні стандартні термодинамічні розрахунки носять приблизний характер і передають можливий перебіг процесу, оскільки даний процес не може бути достовірно описаний методом класичної термодинаміки. Крім того, при взаємодії оксидів бору, титану і кремнію утворюється скло, яке завдяки так званому геометричному фактору розтікається по поверхні, змочує її, але не взаємодіє. Тому я не вважаю, що процес змочування в даному випадку може бути описаний реакціями $Me_xO_y + B(C, Si) = Me + B(C, Si)_yO_z$.

6. Було б добре конкретизувати, яким чином результати змочування дозволяють оптимізувати температурні і кінетичні режими отримання композиційних матеріалів з наперед заданими властивостями методом просочення.

7. Є деякі невдалі вислови, такі, як “При цьому мікротвердість матеріалу зв’язки та зміцнюючої фази практично визначає фазовий склад матеріалів”. Але лише мікротвердість не може свідчити про фазовий склад матеріалу.

8. Слід зазначити, що результати такої роботи, на жаль опубліковано загальною в різних виданнях та збірках. Було б добре, в подальшому, мати публікації в такому журналі, як “Порошкова металургія”.

9. На жаль, є зауваження щодо оформлення роботи: друкарські помилки, є похибки на деяких малюнках.

Висловлені зауваження не знижують наукове та практичне значення роботи у цілому. Вважаю, що дисертаційна робота М.Б. Шевчука “Закономірності формування структури та експлуатаційних властивостей зносостійких композиційних матеріалів з карбідів перехідних металів та самофлюсівних сплавів”, за обсягом експериментальних даних і теоретичних узагальнень, актуальністю та науковою новизною та практичною цінністю отриманих результатів відповідає вимогам пунктів 9, 11 “Порядку присудження наукових ступенів і присво-

ення вченого звання старшого наукового співробітника” до кандидатських дисертацій, а її автор – М.Б. Шевчук заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.06 – Порошкова металургія і композиційні матеріали.

Офіційний опонент,

Старший науковий співробітник ІПМ НАН України

к.т.н. І.П. Нешпор



Підпис І.П. Нешпор засвідчую:

Учений секретар ІПМ НАН України

к.ф.-м.н. В.В. Картузов

