**Савуляк Валерій Іванович. Наукові засади формування на сплавах заліза композиційних металокарбідних шарів зі стабільними структурами та підвищеними триботехнічними характеристиками: дис... д-ра техн. наук: 05.02.01 / НАН України; Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича. - К., 2004**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Савуляк В.І. Наукові засади формування на сплавах заліза композиційних металокарбідних шарів зі стабільними структурами і підвищеними триботехнічними характеристиками. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за фахом 05.02.01 – матеріалознавство. Інститут проблем матеріалознавства НАН України, м. Київ, 2004.  Робота складається з вступу, семи розділів, загальних висновків і переліку літератури, що цитується.  Дисертація присвячена розв'язанню актуальної науково-технічної проблеми – розробці наукових засад формування на сплавах заліза композиційних металокарбідних шарів зі стабільними структурами і підвищеними триботехнічними характеристиками. На основі системного підходу сформульовано основні принципи стабільності структур композиційних матеріалів триботехнічного призначення. Імітаційне моделювання композиційних структур та дослідження нестаціонарних теплових полів та термічних напружень дозволили сформулювати основні вимоги до матеріалу.  Розроблені в рамках термодинамічного підходу фізико-хімічні основи визначення параметрів та умов формування зносостійких композиційних матеріалів та покриттів з метало-вуглецевих компонентів у вигляді порошків, волокон або тканин за наявності екзотермічних ефектів, що базуються на розгляді відкритих систем з урахуванням обміну із зовнішнім середовищем тепловими потоками та масою. Це дозволило запропонувати експериментально підтверджені методи визначення температурного інтервалу синтезу карбідів, умов евтектичного плавлення та утворення матеріалу або покриття з литими евтектичними структурами.  Досліджено структури та фізико-механічні властивості сформованих покриттів, які показали високу зносостійкість (знос I = 5-15 мкм/км, коефіцієнти тертя 0,1 –0,25 в залежності від складу та структури).  Розроблені технологічні процеси пройшли промислові випробування і використані для формування зносостійких поверхневих шарів на деталях із залізовуглецевих сплавів, нанесення зносостійких покриттів та для відновлення деталей транспортної техніки. | |
| |  | | --- | | 1. Розроблені наукові засади формування на сплавах заліза зносостійких композиційних металокарбідних покриттів шляхом створення структур з термодинамічно прогнозованою стабільністю, які ґрунтуються на вивченні основних енергетичних закономірностей фазових перетворень та обміну енергією і полягають в наступному:  необхідний рівень енергетичної стабільності системи визначається умовами експлуатації і може контролюватися такою зміною метастабільного стану, який супроводжується зміною дисипативних структур (дислокаційної субструктури, розшаруванням фаз, перебудовою гратки, зворотними процесами розчинення та виділення тощо);  стабільність структурного стану композиційного матеріалу коректно характеризувати відношенням висоти енергетичного бар'єру, у рамках якого існує дана структура, до висоти гіпотетичного бар'єру, який здатна подолати система в заданих умовах експлуатації;  термодинамічна активність компонентів у сусідніх фазах повинна мати близькі значення або бути рівною;  стабільність композиційного матеріалу може бути підвищеною створенням навколо включень спеціальних зон, що контролюють дифузію вуглецю та інших елементів;  для забезпечення стабільності композиційного матеріалу необхідно створювати умови для можливості самоорганізації його структурних складових, тобто вплив зовнішнього середовища повинен компенсовуватись в них адекватними змінами дисипативних структур.  2.В рамках термодинамічного та фізико-хімічного підходу до нерівноважних систем визначені параметри та умови формування зносостійких композиційних покриттів із метало-вуглецевих компонентів у вигляді порошків металів (Cr, Mo, V, W) та вуглецю у вигляді порошків, волокон або тканин при наявності екзотермічних ефектів, з врахуванням відкритості систем з обміном із зовнішнім середовищем потоками енергії та маси. Запропоновано експериментально підтверджені методи визначення температурного інтервалу синтезу карбідів, умов плавлення та утворення покриття з литими евтектичними структурами, розрахунку координат евтектичного тальвегу бінарних та багатокомпонентних систем.  3. Вперше показано, що використання екзотермічних ефектів в процесах формування композиційних матеріалів покриттів дозволяє керувати утворенням їх структури та властивостей, що відкриває можливості оптимізації за критеріями зносостійкості, довговічності тощо. На прикладі екзотермічних сумішей *Cr – C – i* показано, що шляхом керування інтенсивністю та часом підводу тепла вдається змінювати умови та повноту проходження реакцій, дисперсність і форму карбідів, параметри стабільності покриття. Одночасна дія на реакційну зону формування покриття полів різноманітної природи (електромагнітних, вібраційних, тиском) впливає на швидкість реакцій, повноту їх проходження та кінцеву структуру матеріалу. Накладання електромагнітних полів в момент появи евтектичної рідини дозволяє значно прискорити процеси перенесення маси в сумішах та швидкість утворення карбідів, а накладання вібрацій на етапі кристалізації покриття дозволяє диспергувати структуру.  4. Вперше систематизовані основні механізми релаксації енергії у металокарбідних композиційних матеріалах з врахуванням впливу експлуатаційних факторів. До найбільш значущих віднесено: зневуглецьовування карбідів та перетворення їх кристалічної гратки з утворенням вищих карбідів; графітизація карбідів; розчинення та виділення карбідів; розшарування структурних складових на окремі фази та їх розчинення; формування та еволюція дислокаційної субструктури.  5. Вперше розроблено алгоритми і програми імітаційного моделювання на ЕОМ та побудовано нестаціонарні теплові поля і відповідні їм поля термічних напружень в композиційних покриттях систем Me – CrxCy; Me – VxCy; Me – MoC2; Me – WxCy; Me – графіт; Me – Cr3(B,C)2, y багатокомпонентних композитах з евтектичними та дисперсно-зміцненими типами структур, що виникають від нестаціонарних джерел тепла (процесів тертя, зварювання тощо). Показано, що конфігурація цих полів суттєво неоднорідна, мають місце значні перепади температур та напружень, зумовлені гетерогенністю структури, неоднорідністю теплофізичних та механічних властивостей структурних складових композиту, які досягають в залежності від навантаження в процесі тертя температур плавлення компонентів, а локальні напруження – до кількох ГПа. При цьому величини напружень розтягу та стиску чергуються по усьому об'єму покриття. Показано тісний взаємозв'язок між складом композиту, розмірами та формою структурних складових та статистичними характеристики для нестаціонарних полів температур та напружень. Для зменшення перепадів температур та термічних напружень слід використовувати (у межах можливого) однорідні за розмірами структури з максимальною дисперсністю карбідів та вирівнювати теплофізичні властивості твердих включень і матриці, яка повинна забезпечувати високу релаксаційну здатність.  6. Вперше запропоновано методи інверсії несприятливих для експлуатації в умовах тертя та зношування структур залізовуглецевих сплавів з суцільними ледебуритними сітками шляхом легування та гарячою вібраційною обробкою тиском. В якості легувального комплексу запропоновано використання сполук ванадію, ніобію, хрому з врахуванням позитивних ефектів від впливу невеликих добавок титану. Показано, що використання комплексного легування дозволяє економити цінні легувальні компоненти (ванадій та ніобій та хром) за рахунок введення титану, кремнію, алюмінію та міді. На основі вивчення та класифікації кінетичних та термодинамічних факторів вибілювання залізовуглецевих сплавів, запропоновано для створення певної глибини металокарбідного шару на робочих поверхнях деталей використовувати конодні діаграми "склад – структура – властивості".  7. Розкрито механізм зміцнення та стабілізації карбідів цементитного типу легуванням перехідними металами з різною наповненістю d – оболонки, який пов'язаний з різною ступінню заповнення підсмуги антизв'язуючих станів у карбідів (Fe3C (Fe,Mn)3C (Fe,Cr)3C).Встановлено, що упорядковування та розупорядковування кристалічної ґратки карбідів заліза є зворотним процесом, супроводжується зміною внутрішньої енергії і є причиною спотворення ґратки, зміни властивостей (змінюється твердість, яка корелює із зневуглецьовуванням та, відповідно, збільшенням щільності дефектів вуглецевої підґратки) та сприяє релаксації внутрішніх напружень у карбідах. При високих температурах атоми вуглецю мають підвищену енергію, яка достатня для подолання енергетичного бар'єру і переходу з октаедричних пор у призматичні та навпаки. При цьому виконується робота, а ступінь упорядкованості системи і внутрішня енергія змінюються. Це викликає не тільки спотворення гратки карбідів, але і супроводжується ростом їх твердості, причому неоднорідність мікротвердості зменшується і частково вирівнюється при довільній кристалографічній орієнтації.  8. У рамках термодинамічного підходу сформульовані фізико-хімічні принципи визначення параметрів та умов формування композиційних матеріалів та покриттів із використанням екзотермічних ефектів. Запропонована така послідовність: розрахунок тепловиділення базової системи *карбідотворний метал - вуглець* визначення температурного інтервалу карбідоутвореннярозрахунок температури підігріву для ініціалізації синтезу покриття визначення легувального комплексу для утворення евтектичних структур розрахунок потужності джерела тепла для компенсації тепловтрат у відкритих системах. Показана можливість формування градієнтних структур покриття з керованими фізико-механічними властивостями шляхом зміни схеми чергування шарів екзотермічної суміші та їх складу. Показана можливість використання цього підходу до широкого класу перспективних композиційних матеріалів.  9. Установлена залежність зносостійкості розроблених композиційних покриттів від вмісту і розмірів часток карбідної фази та показано, що оптимальному відповідає склад з 22-25% вмісту карбідів за об'ємом з розмірами нижче 2-5 мкм. Підвищення твердості матриці збільшує абразивну зносостійкість покриття.  10. Технології формування на сплавах заліза композиційних металокарбідних шарів та покриттів зі стабільними структурами і підвищеними триботехнічними характеристиками пройшли апробацію шляхом реалізації розроблених на їх основі технологічних процесів: зміцнення робочих органів землеобробної техніки (лемеші плугів, лапи культиваторів – зносостійкість підвищена у 2-3 рази); нанесення зносостійких покриттів на заготовки з нелегованих вуглецевих сплавів для різального інструменту (стійкість отриманого інструменту вища, ніж при використанні швидкорізальних сталей); покращення триботехнічних характеристик деталей гідромоторів (підвищення пускового моменту гідромотора на 15-20% за рахунок зменшення коефіцієнтів тертя спокою); підвищення зносостійкості та відновлення деталей транспортної техніки. | |