

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Петраша Костянтина Миколайовича на тему:
«Закономірності керованого реакційного спікання, процесів
структурування та формування властивостей жаростійких сплавів на основі
нікелю», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальності 05.16.06 - Порошкова металургія та композиційні матеріали

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

Дисертаційна робота присвячена актуальній темі - розробці нових дисперснозміцнених ніхромів з підвищеним вмістом алюмінію, які мають значні характеристики жароміцності і жаростійкості, шляхом цілеспрямованого управління процесом спікання,

Процес реакційного спікання забезпечує значне скорочення циклу виробництва, зниження енергетичних витрат, отримання заготовок без сторонніх включень на основі оксидів, нітридів і карбідів. Практична реалізація такого процесу значно знижує собівартість одержуваних заготовок.

Використання розроблених дисперсно-зміцнених нікелевих сплавів в вузлах і елементах авіаційної техніки, космічних системах багаторазового використання і суперсучасних літальних апаратах забезпечує їм високі технічні характеристики, високу економічну ефективність і конкурентноздатність у порівнянні з відомими аналогами.

Представлені в роботі теоретичні розрахунки і результати комплексу експериментальних досліджень, розробка технології цілеспрямованого управління процесом спікання заготовок представляє безперечну науково технічну та практичну значимість і актуальність.

СТУПІНЬ ОБҐРУНТОВАНOSTІ ТА ДОСТОВІРНOSTІ

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і результатів вирішення поставлених завдань забезпечена застосуванням сучасних методів, приладів і обладнання. Таким чином, наукові положення, висновки і

рекомендації, сформульовані в дисертації, є достовірними, а їх обґрунтування проведено з необхідною повнотою.

НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Вперше проведено моделювання процесу реакційної взаємодії в системах Ni-Al, і Ti-Al з урахуванням впливу температурної залежності рівноважної концентрації тугоплавкого компонента на характер термокінетичних траєкторій. Встановлено діапазони значень констант швидкостей процесів, температур ініціювання реакції і зовнішнього середовища, що визначають термокінетичні траєкторії.

Показані області існування термокінетичних коливань, режимів експоненціального зростання температури, а також інших видів розвитку термокінетичних процесів. Експериментально підтверджені автоколивальні зміни температури в області твердорідкому стані досліджених у роботі систем, зафіксовані асинхронні зміни температури по довжині зразків, починаючи від поверхні нагрівання. Показано, що поведінка реакційної системи може бути незалежною в різних локальних об'ємах порошкових заготовок, коли термокінетичні траєкторії в них істотно розрізняються за своїм характером.

Вперше експериментально встановлена колективна природа взаємодії в порошкових реагують системах Ni-Al, Ti-Al, Ni-Ti, Ni-Sn, Cu-Ti, Cu-Sn. Виявлено два механізми синтезу інтерметалідів в зазначених вище реакційних системах, один з яких - це саморозповсюджувальний рух фронту реакції, а інший - детонаційний механізм, при якому відбувається одночасний екзотермічний спалах у всьому об'ємі зразка.

Вперше встановлено, що введення певної кількості хімічно інертних добавок Y_2O_3 , CaF_2 , ZrO_2 локалізує реакційні процеси, які є причиною появи пор великого розміру. А дрібні пори (вакансії), що утворені за рахунок уніполярної дифузії, беруть участь в масоперенесенні і забезпечують можливість протікання процесу спікання на пізніх стадіях.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

На основі розрахунків по розробленій математичній моделі, реалізованій в середовищі програмування Visual Basic 6.0, і результатів проведених експериментальних досліджень, розроблено технологію реакційного спікання порошкових формовок дисперснозміцнених нікелевих сплавів і отримані нові жаростійкі сплави Ni-20Cr з вмістом 1,5 % Y_2O_3 .

Розроблені режими прокатки масивних заготовок дисперснозміцнених нікелевих сплавів в тонкі листи, товщиною до 0,1 мм, значно розширюють сфери використання цих сплавів. Показана ефективність використання розроблених жаростійких сплавів Ni-20Cr в вузлах перспективних конструкцій і виробів ракетно-космічної техніки, що працюють в умовах аеродинамічного нагріву при температурах до 1200 °С.

Ефективність використання основних результатів дисертаційної роботи підтверджується Актами використання на ДП «КБ «Південне».

ПОВНОТА ВИКЛАДАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ В ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЯХ ТА АВТОРЕФЕРАТІ

Результати дисертації досить повно викладені здобувачем у 33 друкованих працях з яких: 14 статей в наукових виданнях, 18 публікацій в матеріалах науково-технічних конференцій, одному патенті на корисну модель.

Аналіз публікацій автора дозволяє зробити висновок про повноту викладу і обговорення науковою громадськістю основних наукових положень дисертаційного дослідження.

Автореферат повною мірою відображає зміст дисертаційної роботи.

ОЦІНЮВАННЯ ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, встановлено зв'язок роботи з науковими програмами, сформульована мета і завдання досліджень, зазначений об'єкт і предмет дослідження, представлені методи досліджень властивостей, визначена наукова новизна і практичне значення роботи. Вказано особистий внесок здобувача. Представлені дані про

апробацію та публікації результатів досліджень, структуру та об'єм дисертації.

У першому розділі розкриті можливості математичного опису взаємодії в порошкових системах, за участю екзотермічних реакцій, ініційованих контактним плавленням. Проведено всебічний аналіз математичних моделей, які були запропоновані в роботах різних дослідників.

Звернуто увагу на синергетичний підхід при моделюванні і використанні різних модифікацій математичних моделей для опису реакційних процесів, заснованих на ньому. Проаналізовано експериментальні дослідження термодинаміки високотемпературних реакційних процесів і вказана їх перспективна роль для розробки технології управління цими процесами.

Відзначено, що саме це є основою майбутніх технологій для створення матеріалів з новим рівнем фізико-механічних і функціональних властивостей. Окреслено проблеми та питання, що пов'язані з темою дисертації, які потребують вирішення, сформульовані мета і завдання дослідження.

У другому розділі представлені дані про використанні матеріали та методики дослідження.

В рамках теоретичного досліджень розкрита можливість використання синергетичного підходу Солнцева В.П., заснованого на локальному поданні проточного реактора, в якому реакційні процеси протікають в кінетичній області.

У зв'язку з нелінійністю і складністю математичного опису процесів використані чисельні методи Ейлера і Рунге-Кутта. Для їх практичної реалізації розроблено програмне забезпечення в середовищі Visual Basic 6.0, а також в MathCad і MatLab.

Також описані стандартні методи досліджень мікроструктури, фазового та хімічного складу, жаростійкості, механічних і функціональних властивостей матеріалу.

Третій розділ присвячений проведеним теоретичним дослідженням термодинаміки реакційних процесів в перитектичних та евтектичних системах.

Моделювання процесів термодинамічних реакцій представлено у вигляді проточного реактора ідеального змішування і запропонований для їх опису

синергетичний підхід Солнцева В.П.

Для дослідження були обрані системи Ni-Al і Ti-Al. В рамках програмного забезпечення в середовищі Visual Basic 6.0 проведені розрахунки дозволили встановити, що при різних значеннях параметрів можливі різні термодинамічні траєкторії, такі як, різке падіння або зростання температур, тепловий вибух або термодинамічні коливання, при яких в реальних процесах забезпечується реакційне спікання зі значною усадкою пористих пресованих зразків.

З аналізу розрахунків було встановлено, що в якісному відношенні на термодинамічній траєкторії процесів найбільший вплив надають стехіометричні співвідношення компонентів в синтезованих інтерметалідах.

Для обліку встановлених процесів запропоновано удосконалення використаної моделі, в рамках якої встановлена кінетика зміни концентрації титану і температури, а також термодинаміка процесів взаємодії в реакційній системі TiAl в разі утворення інтерметалідів: TiAl; TiAl₃; Ti₃Al.

У четвертому розділі представлені результати експериментальних досліджень термодинаміки, що спостерігається при спіканні реакційних порошкових систем при різних співвідношеннях реагуючих компонентів Ni-Al.

Результати експериментів підтвердили, що реакційна взаємодія починається разом з появою рідкої фази, а також при більш низьких температурах, якщо має місце сильна деформація компонентів порошкової суміші в локальному об'ємі зразка. Релаксація пластичної деформації в локальному об'ємі проходить з виділенням теплової енергії, яка може спричинити підйом температури до точки контактного плавлення. Експериментальні дослідження дозволили встановити, що максимальна швидкість зростання температури в реакційній системі Ni-Al спостерігається при стехіометричному співвідношенні компонентів.

Досліджено процес взаємодії в системі титан-алюміній. Експериментально встановлено істотно нелінійний характер термодинамічних траєкторій. Досить наочно проглядається відмінності траєкторій зміни температури в різних областях зразка. На них існують часові інтервали, де

спостерігаються ефекти синхронізації, а також помітні і ділянки з асинхронною поведінкою. Все це є ознаками складної поведінки нерівноважної фізико-хімічної системи Ti-Al.

Встановлено, що швидкість взаємодії в системі титан-алюміній значно менше, ніж в системі нікелю з алюмінієм, незважаючи на те, що ентальпії утворення інтерметалідів в цих системах є пропорційними. Вміст алюмінію в складі реакційної суміші відповідно до стехіометрії $TiAl_3$ істотно не позначається на характері термокінетичних траєкторій.

Встановлено особливості термокінетики реакційних процесів в системі нікелю з титаном. Активна взаємодія титану з нікелем починається при температурі контактного плавлення, що відповідає температурі першої евтектики в системі Ni - Ti. На термокінетичній траєкторії простежується характерний сплеск температури, викликаний проходженням екзотермічної реакції утворення інтерметаліда. При цьому спостерігається послідовне поширення фронту реакції по всьому об'єму зразка, і менш активна взаємодія в кінетичній області поблизу температури поліморфного перетворення титану. При малих швидкостях нагріву спостерігаються режими самоприскорення процесу.

При односторонньому нагріванні за рахунок зовнішньої енергії може відбуватися плавлення без ініціювання реакції в тій області зразка, де температура перевищує евтектичну точку. В цьому випадку ініціювання проходить у внутрішній області зразка і має детонаційний характер.

У п'ятому розділі представлені результати вивчення закономірностей спікання як чистих подвійних реакційних систем нікелю з оловом, міді з оловом Cu-10 % Sn, міді з алюмінієм, так і систем з різним вмістом взаємодіючих домішок при різних температурах, тривалості спікання і пористості сирих пресовок.

Експериментальні дані по спіканню показали, що процес ініціюється в умовах, які відповідають появі перитектичної або евтектичної рідини. При цьому характер об'ємних змін, залежить від швидкості і теплових ефектів реакційних процесів і визначається щільністю сирих заготовок, температурою

печі і тривалістю спікання.

Виявлено, що на початковій стадії спікання, зразки практично всіх досліджених порошкових подвійних систем щільністю понад 80 % дають значне зростання об'єму. Але з часом він сповільнюється і змінюється тенденцією до усадки. Це пов'язано з тим, що великі пори, що виникли при коагуляції численних менших пор, не зникають. Виникнення великих каверн пов'язано з реакційною кристалізацією інтерметалідів.

Введення певної кількості хімічно інертних домішок локалізує реакційні процеси в об'ємі формовок і не дозволяє дрібним порам збиратися в каверни, що сприяє пригніченню росту формовок і призводить до їх значної усадки.

Шостий розділ присвячений практичній розробці керованих технологій отримання жароміцних і жаростійких дисперснозміцнених сплавів на основі ніхрому і терморекційної пайки жаростійких конструкцій авіакосмічної техніки з розроблених сплавів.

Вивчення закономірностей ущільнення заготовок розроблюваних ніхромів при спіканні показало, що у всіх апробованих випадках спостерігається усадка. Максимальна відносна щільність і усадка зразків досягаються при температурах 1275 - 1300 °С і відносній щільності сирих пресовок 76 % . Після спікання їх щільність досягає 86,5 % .

У роботі пропонується для підвищення відносної щільності формовок застосовувати операції допресовки і прокатки. При цьому особливий інтерес представляє характер розподілу відкритої і закритої пористості залежно від тиску пресування. Отримані результати свідчать, що в діапазоні 500-600 МПа закрита пористість домінує над відкритою, яка становить менше 3 % і з підвищенням тиску до 900 МПа, приходить до нуля.

Визначено, що для спечених заготовок матеріалу є допустимими різні ступені обтиску. Для вихідних заготовок зі сплаву Ni-20Cr-3Al-1,5Y₂O₃ з пористістю 9-11 %, допускається ступінь обтиску не більше 10 %. Уже при ступені обтиску 12 % спостерігається утворення макроскопічних тріщин.

Встановлено, що жаростійкі сплави на основі ніхрому охрупчуються в вуглецевмісному середовищі. Це обумовлено карбідною корозією по межах

зерен сплаву, в результаті якої утворюється карбід хрому. Тому при гарячій або холодній прокатці жаростійких сплавів не рекомендується використовувати графіт або нітрид бору.

ЗАУВАЖЕННЯ ДО ДИСЕРТАЦІЇ

1. При проведенні чисельних розрахунків термодинаміки контактної взаємодії в системі Ti-Al по моделі (3.1), (3.2) не наведено кількісні значення вихідних даних, відсутність яких ускладнює аналіз отриманих результатів.

2. При аналізі результатів комп'ютерного експерименту, представлених на рис. 3.16 і рис. 3.18, недостатньо повно розкриті механізми формування автоколебательного режиму термодинамічних траєкторій.

3. У розділі 5.2 дисертації недостатньо повно розкриті механізми впливу інертних добавок типу фториду кальцію на процеси спікання систем Ni-Sn, Cu-Ti.

4. У розділі 6.3 дисертації при аналізі результатів деформаційної обробки сплаву Ni-20Cr-3Al-1,5Y₂O₃ було б бажано представити вплив мікроструктури на процеси тріщиноутворення.

5. В табл. 6.3 дисертації допущена помилка в розмірності щільності порошкових сплавів.

Зауваження, які зроблені до дисертаційній роботі, не стосуються кваліфікаційних ознак і не знижують при цьому її наукового рівня.

ЗАКЛЮЧНА ОЦІНКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Дисертаційна робота Петраша Костянтина Миколайовича є повністю завершеним, самостійним науковим дослідженням, яке висвітлює актуальну тему і має вагомим теоретичне і практичне значення.

Тема роботи, об'єкт і предмет дослідження, її зміст, а також положення і висновки відповідають паспорту спеціальності 05.16.06 - «Порошкова металургія та композиційні матеріали».

Вважаю, що за актуальністю, науковою новизною, обсягом проведених теоретичних розрахунків і експериментальних досліджень, їх науковою та

практичною значимістю робота Петраша Костянтина Миколайовича «Закономірності керованого реакційного спікання, процесів структуроутворення та формування властивостей жаростійких сплавів на основі нікелю» відповідає вимогам, що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, зокрема з пунктами 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013р. №567 зі змінами, затвердженими постановами Кабінету Міністрів України №656 від 19.08.2015р. та № 1159 від 30.12.2015 р., а автор дисертації Петраш Костянтин Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.06 - «Порошкова металургія та композиційні матеріали».

Офіційний опонент:

д-р .техн. наук, професор кафедри металургії

Запорізького національного університету,

доцент

В.О. Скачков

Проректор з наукової

роботи Запорізького національного

університету, д-р .істор. наук,

професор



Г.М. Васильчук