

Отримання сферичних дрібнозернистих металевих порошків Sn–Pb методом відцентрового розпилювання монорозмірних крапель / Вей Донг, Яо Менг, Фумін Ксу, Янг Хан, Янянг Ванг, Ксяомінг Ванг, Янг Жао // Порошкова металургія. – 2020. – № 5-6. – С. 3-14.

З урахуванням вимог промислового виробництва високоякісних порошків запропоновано новий гібридний метод приготування сферичних дрібнодисперсних металевих порошків шляхом відцентрового розпилення монорозмірних крапель, отриманих в результаті пульсуючого викидання через отвори. За допомогою цього методу отримано порошки Sn–Pb малої дисперсності, з вузьким розподілом за розмірами, високою сферичністю і без порошків-сателітів. Досліджено вплив різних технологічних параметрів на розмір, дисперсність і морфологію порошків. Встановлено, що розмір порошку зменшується із збільшенням діаметру диска, температури плавлення і швидкості обертання диска, а розмір часток демонструє нормальний бімодальний розподіл. Ширина ліній потоку рідини на диску обертання очікується пропорційною розміру порошку. Найменший середній розмір частинок D50 в отриманих порошках складав 21,3 мкм при діаметрі диска 15 мм, температурі плавлення 573 К і швидкості обертання 48000 об/хв. Також було проаналізовано відмінність між експериментальними і теоретичними значеннями розмірів частинок. Встановлено, що медіанний діаметр D50 значно менший в порівнянні з традиційними теоретичними значеннями. Обговорено також режим розпаду рідкої плівки в процесі розпилювання. Встановлено, що в запропонованому новому методі існує режим прямого краплинного формування, що дозволяє здійснити мікроподрібнення і покращити керованість процесу виготовлення металевих порошків.

Азотування спеченого титанового сплаву BT1-0 / О. Г. Лук'яненко, І. М. Погрелюк, Х. С. Шляхетка, А. А. Скребцов, Т. М. Кравчишин // Порошкова металургія. – 2020. – № 5-6. – С. 20-29.

Вироби зі спечених титанових сплавів, які все ширше застосовують в машинобудуванні, через присутню в них пористість потребують захисту при роботі в агресивних середовищах. Одним із ефективних методів такого захисту є азотування. Мета дослідження — вивчити кінетику азотування спеченого сплаву титану BT1-0 за атмосферного (105 Па) та зниженого (1 Па) тиску азоту при температурах 800, 850 та 900 °С упродовж 5; 10 та 20 год в порівнянні з деформованим титановим сплавом аналогічного складу. Для дослідження використано методи дискретної гравіметрії, дюриметрії, оптичної та електронної металографії, профілометрії, рентгенівського аналізу. Досліджено кінетику азотування титанового сплаву BT1-0, спеченого з порошку титану та його суміші з гідридом титану, у порівнянні з деформованим титаном. За наведених параметрів азотування приріст маси усіх зразків описується параболічним законом, і приріст маси спечених зразків вищий за деформованих. Вперше визначено кінетичні параметри азотування спеченого та деформованого титанового сплаву BT1-0 в означених температурно-часових і газодинамічних умовах. Показано зміни на поверхні та у приповерхневому шарі металу залежно від його пористості. Після азотування при всіх режимах мікротвердість поверхні спеченого титану за рахунок пористості нижча порівняно із зразками деформованого титану, а розмір зміцненого приповерхневого шару — більший. Нітридна плівка, яка утворюється на спеченому титані, тонша і менше спотворена, ніж на деформованому титановому сплаві BT1-0. Результати дослідження можуть бути використані для розробки режимів азотування виробів зі спеченого титану BT1-0.

Нестандартні методи одностадійного отримання антибактеріальних та протигрибкових нанокompatитних частинок AgCu/ZnO зі зменшеним вмістом срібла / Толга Чакмак, Еліф Еміль Кая, Демет Кючюк, Бурчак Ебін, Онур Балчі, Себахатін Гюрмен // Порошкова металургія. – 2020. – № 5-6. – С. 30-41.

Розроблено нові нестандартні стратегії виробництва композитних матеріалів згідно з регламентом Європейського союзу, що регулює виробництво і обіг хімічних речовин (REACH), з метою забезпечення однакового вияву антибактеріальних і протигрибкових характеристик матеріалів. Запропоновані методи базуються на зниженні вмісту срібла (Ag) і одностадійності виробництва без погіршення антибактеріальних і протигрибкових властивостей матеріалів. Атенуйоване сферичне срібло, що містить сферичні нанокompatитні частинки AgCu/ZnO, синтезовано з використанням водного розчину нітрату срібла (AgNO₃), нітрату міді (Cu(NO₃)₂ · 3H₂O) і нітрату цинку (Zn(NO₃)₂ · 7H₂O) методом одностадійного ультразвукового струменевого піролізу і відновленням воднем (USP-HR). Характеризацію нанокompatитних частинок AgCu/ZnO проведено методами рентгенівської дифракції (XRD), сканувальної електронної мікроскопії (FEG-SEM), енергодисперсійної спектроскопії (EDS), а також просвічувальної електронної мікроскопії (TEM). Структурний аналіз показав, що нанокompatити AgCu/ZnO складаються з ГЦК фаз Ag і Cu та гексагональної ZnO-фази. Антибактеріальні і протигрибкові властивості нанокompatитних частинок на прикладі бактерій *Escherichia coli* і *Aspergillus niger* досліджено методами агарового і бульйонного середовищ. Підтверджено, що синтезовані нанокompatитні частинки мають 100%-кові антибактеріальні і протигрибкові властивості. Атенуйоване срібло в нанокompatитних частинках

AgCu/ZnO має потенціал застосування в різних галузях текстильної промисловості. Зокрема, вельми цікавими видаються дослідження щодо використання цього нанокompозиту як добавки при виробництві волокон ручної роботи.

Вплив термомеханічної обробки на деформаційну поведінку нанокompозиту на основі феромагнітного сплаву Fe-Ni-Co-Ti з ефектом пам'яті форми / А. М. Тітенко, Л. Д. Демченко, М. Б. Бабанли, Л. Є. Козлова, С. С. Гусейнов // Порошкова металургія. – 2020. – № 5-6. – С. 42-56.

Подано результати механічних випробувань нанокompозиту на основі феромагнітного сплаву Fe-Ni-Co-Ti з ефектом пам'яті форми при одноосному розтягу в широкому температурному інтервалі. Отриманню нанокompозиту передувала попередня термомеханічна обробка (ТМО), що включала деформацію волочинням, загартування та старіння з метою дисперсійного твердіння. Завдяки ТМО в нанокompозиті з широким температурним гістерезисом мартенситного перетворення досягнуто високий рівень надпружної деформації і ефекту пам'яті форми. Експериментально встановлено, що оптимальному поєднанню максимальної надпружної деформації та ефекту пам'яті форми відповідає попередня ТМО з деформацією $y = 7,4-22,5\%$ і старінням при $T = 650\text{ }^\circ\text{C}$ протягом 5–10 хв. Це сприяє деформуванню нанокompозиту по каналах фазової і двійникової пластичності в температурному інтервалі випробувань $M_s < T_{\text{випр}} < A_f$ (де M_s — температура початку прямого мартенситного перетворення при охолодженні, A_f — температура кінця зворотного мартенситного перетворення при нагріванні). На діаграмі розтягу зразка із ступенем обтиснення $y = 22,5\%$ у двофазній області $M_f < T_{\text{випр}} < M_s$ виявлено плато з постійною величиною напруження. Значне збільшення ступеню попередньої деформації (більш ніж 40%) сприяє суттєвій стабілізації аустенітної матриці, виявом чого є гальмування мартенситного перетворення і зменшення оборотних ефектів в результаті зменшення величини зерна аустеніту при збільшенні щільності дефектів кристалічної будови. Зроблено оцінку розподілу розмірів зерна аустеніту залежно від обраних режимів ТМО. Відзначено, що зі збільшенням розміру зерна аустеніту зростає ступінь відновлення величини надпружної деформації. Проаналізовано фактори, що сприяють кількісному зростанню надпружності, в рамках різних феноменологічних моделей. Визначальна роль ТМО на зміну структури і механічних властивостей полягає в зміцненні сплавів, яке, своєю чергою, стимулює непружні ефекти при різних температурах.

Роїк, Т. А. Композиційний антифрикційний матеріал на основі відходів алюмінієвого сплаву для деталей постдрукерського обладнання / Т. А. Роїк, О. А. Гавриш, Ю. Ю. Віцюк // Порошкова металургія. – 2020. – № 5-6. – С. 57-67.

Проаналізовано особливості формування структури, фізико-механічних та антифрикційних властивостей нового композиційного матеріалу на основі шліфувальних відходів алюмінієвого сплаву АД35, призначеного для роботи з рідким мастилом на повітрі при навантаженнях до 4,0 МПа і швидкостях ковзання до 2,0 м/с. Показано, що застосування розробленої технології рециклінгу шліфувальних відходів алюмінієвого сплаву АД35 дозволило отримати композиційний антифрикційний матеріал, який має однорідну структуру без ліквідаційних явищ. За фізико-механічними властивостями він не поступається закордонному литому сплаву AlSi1MgMn, а за триботехнічними характеристиками істотно перевищує його в аналогічних умовах роботи. Проведені дослідження показали, що використання металевих шліфувальних відходів сплаву АД35 для отримання на їх основі нових матеріалів антифрикційного призначення є важливим технологічним заходом ефективного рециклінгу такого цінного джерела високолегованої сировини. Визначено раціональні діапазони експлуатації нового антифрикційного композиційного матеріалу, отриманого з високолегованих шліфувальних відходів алюмінієвого сплаву АД35, а саме: швидкість ковзання до 2,0 м/с, навантаження до 4,0 МПа у парі з контртілом зі сталі 45 (45–48 HRC) при роботі на повітрі в умовах змащення синтетичним мастилом ПЕФ-240. Новий композиційний антифрикційний матеріал може використовуватися в контактних з'єднаннях фальцювальних машин, висікальних автоматів, обладнання для виготовлення конвертів та інших постдрукерських машин як альтернатива поширеним нині закордонним литим аналогам. Показано перспективність застосування регенерованих шліфувальних відходів алюмінієвих сплавів як основи антифрикційних композиційних матеріалів для різних режимів експлуатації за умов, коли їх структурою і властивостями можна керувати за допомогою технологічних заходів, обираючи хімічний склад шліфувальних відходів і застосовуючи раціональні технологічні параметри їх виготовлення.

Гаряче вільне кування порошкових брикетів на основі заліза / А. В. Мініцький, П. І. Лобода, Я. І. Євич, І. М. Заків // Порошкова металургія. – 2020. – № 5-6. – С. 68-75.

Досліджено ручне кування циліндричних порошкових брикетів малої маси (8,0–8,5 г), спресованих при 700 МПа із сумішей порошоків заліза і графіту. Попередньо спечені брикети нагрівали в деревному вугіллі при 1100 °С і піддавали двосторонньому торцевому куванню на плоскому підігрітому ковадлі кувалдою з плоским бойком і природно охолоджували на сталевій плиті. Вертикальна осадка кованих брикетів складала 70–80%; з них вирізали зразки для проведення

аналізів. Встановлено вплив кількості графіту на процес ущільнення і фізико-механічні властивості порошкових матеріалів у процесі гарячого вільного торцевого кування. Показано, що підвищення властивостей матеріалів з великим вмістом графіту (4 і 12%) обумовлено зростанням кількості ділянок гарячого зварювання зерен заліза. Це пов'язано із зсувною деформацією матеріалу брикету при вільному куванні, яка сприяє виникненню нових контактів залізо–залізо. Високі характеристики матеріалів, що містять 1,7% графіту, обумовлені впливом одразу декількох механізмів: розчиненням вуглецю в залізі, зниженням загальної пористості, усуненням міжчастинкових щілин і подрібненням зерен матеріалу при зсувній деформації. Встановлено, що використання сталеві обичайки дозволяє істотно розширити номенклатуру порошків і порошкових композицій без їх руйнування при ущільненні гарячим куванням. Сукупність отриманих практичних результатів і аналітичних даних дозволила зробити висновок щодо перспективності ручного кування для проведення швидкого і дешевого скринінгу рецептур щільних порошкових матеріалів.

Ебузер Айгул Характеризація біомедичних сплавів Ti–6Al–(4V–7Nb–4Mo), отриманих методом порошкової металургії / Ебузер Айгул, Сенай Ялчинкайя, Юсуф Сахін // Порошкова металургія. – 2020. – № 5-6. – С. 76-84.

Титан і його сплави є найбільш популярними металевими біоматеріалами, котрі широко застосовуються в медико-біологічній царині. При цьому сплав Ti–6Al–4V використовується найчастіше порівняно з іншими сплавами, що містять титан. Відомо, що ванадій, який входить до складу цього сплаву, має потенційну токсичну дію. У даному дослідженні метод порошкової металургії був застосований для виробництва чистого титану, а також сплавів, що містять титан, таких як Ti–6Al–4V, Ti–6Al–7Nb і Ti–6Al–4Mo. Ніобій і молібден запропоновано як заміну ванадію у зв'язку з його можливими токсичними властивостями. Отримані зразки були проаналізовані методами сканувальної електронної мікроскопії (SEM), рентгеноспектрального мікроаналізу (EDX), рентгенівської дифракції (XRD), визначенням мікротвердості та густини, а також методом екстраполяції Тафеля. Результати аналізу показали, що мікроструктури чистого титану і його сплавів відрізняються. Рентгенівським аналізом виявлено фази на основі легуючих металів (V, Nb, Mo), а саме 00-044-1294> Ti та 00-053 0484> Al₁₀,23Nb_{0,07}Ti_{0,70}, 00-051-0635> Ti_{0,80}V_{0,20} і 00-012-0074> AlMoTi₃. Значення мікротвердості і криві Тафеля суттєво різняться при їх зіставленні. Основним результатом проведених досліджень є отримання методом порошкової металургії чистого титану і титанових сплавів з однорідною мікроструктурою.

Композиційні матеріали системи TiN–Cr₃C₂–C–зв'язка / Г. Л. Жунковський, О. М. Григор'єв, І. П. Нешпор, Т. В. Мосіна, Д. В. Ведель, В. Т. Варченко, Джунху Менг, Джуніан Занг // Порошкова металургія. – 2020. – № 5-6. – С. 85-91.

Досліджено умови формування та спікання композитів на основі нітриду титану зі зв'язкою, а також вплив модифікуючих добавок на їх міцнісні та трибологічні властивості. Встановлено, що найменший крайовий кут змочування (25–30 град) має сплав марки ПГ12Н-01, який містить хром, бор, кремній та вуглець. У системі TiN–ПГ12Н-01 отримання відносно безпористих структур можливе при додаванні до складу композиту карбиду хрому та вуглецю у вигляді графіту, що сприяє утворенню TiCN, покращуючи змочування і адгезію. Графіт, введений додатково в якості домішки, залишається після спікання у вигляді окремої рівномірно розподіленої фази, “вмонтованої” в загальну структуру матеріалу. У такому стані він може успішно виконувати роль сухого мастила, покращуючи експлуатаційні характеристики матеріалу. Крім того, це активує спікання композиту, дозволяючи отримати практично безпористий матеріал. Оптимальна температура спікання знаходиться в діапазоні 1450–1500 °С залежно від кількості вуглецю та металеві зв'язки. Міцність отриманих композиційних матеріалів становила 300–500 МПа, а твердість — 16,1 ГПа. Найвищі показники міцності можна забезпечити оптимальним поєднанням графіту та зв'язки ПГ12Н-01. Збільшення чи недостатня кількість цих компонентів погіршує механічні характеристики. Дослідження антифрикційних характеристик розроблених матеріалів у парі з контртілом із сталі 65Г твердістю 60 HRC показало, що при сухому торцьовому терті (швидкість — 8 м/с, тиск у зоні контакту — 50 МПа, довжина пробігу — 10 км) коефіцієнт тертя складає 0,27–0,3, зносостійкість становить 0,2 ± ± 0,02 мкм/км. Отже, розроблені керамічні матеріали мають високий рівень механічних і антифрикційних характеристик і можуть бути застосовані в умовах сухого тертя при високих швидкостях та навантаженнях.

Етонаційні покриття із композиційних матеріалів системи (Ti, Cr)B₂–NiAlCr I. Технологія напilenня, склад і мікроструктура покриттів /В. П. Коновал, О. П. Уманський, О. А. Бондаренко, К. М. Гальцов, А. Лейтанс, І. Бойко, І. С. Марценюк // Порошкова металургія. – 2020. – № 5-6. – С. 92-106.

илення розроблених матеріалів залежно від співвідношення структурних складових. Досліджено вплив вмісту тугоплавкої та металеві складових у матеріалі для напilenня на мікроструктуру і склад покриттів. Показано, що формується гетерофазна ламелеподібна мікроструктура з досить

рівномірним розподілом фаз. Покриття з матеріалів, що містять більше металевої складової, мають більш рівномірний розподіл фаз, що значною мірою залежить від технологічних характеристик порошків. Порошки на основі сплаву NiAlCr мають в 3–4 рази вищу текучість, ніж порошки на основі (Ti, Cr)B₂, що забезпечує більш високу стабільність як подачі порошку, так і процесу напилення в цілому. Завдяки цьому покриття мають більш високу щільність і більш рівномірний розподіл фаз. Покриття напиляли без підшару, з підшаром із детонаційного покриття NiCr, а також підшаром, отриманим методом електроіскрового легування тим самим матеріалом, що й основне покриття. Отримані покриття мають якісний адгезійний контакт з основою — як при використанні детонаційно-напиленого підшару NiCr, так і без нього, причому їх товщина може досягати 0,8–1 мм. При використанні підшару із електроіскрового покриття з високим вмістом (Ti, Cr)B₂ на границі контакту “покриття–підшар” виявлено тріщини. Це пов'язано із більш високою твердістю підшару та погіршенням його деформування під дією прискорених частинок напилюваного матеріалу. Попередня підготовка поверхні шляхом напилення різного типу підшарів практично не впливає на мікроструктуру покриттів і якість їх контакту з основою.

Плазмово-дугові покриття, напилені з проволочок зі сталеву оболонкою та порошковими наповнювачами / Г. М. Григоренко, Л. І. Адеєва, А. Ю. Туник, В. Н. Коржик, М. В. Карпець // Порошкова металургія. – 2020. – № 5-6. – С. 107-121.

Проведено характеризацію покриттів із розроблених в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона порошкових дротів, нанесених плазмово-дуговим методом на основу з маловуглецевої сталі. Проаналізовано взаємодію, що відбувається при плазмово-дуговому напиленні між сталеву оболонкою, яка складає не менш ніж 80% (мас.) дроту, і порошковими наповнювачами: B₄C; B₄C + ZrO₂(нано); B₄C + (Cr, Fe)₇C₃; B₄C + (Cr, Fe)₇C₃ + Al. Отримано бездефектні покриття з низькою пористістю (до 2,5%) та ламелярною структурою. Встановлено, що карбідні компоненти наповнювача є джерелом легування феритної матриці покриття і призводять до зміцнення її дисперсними карбідними, карбоборидними і боридними частинками. Домішка 0,5% нанопорошку ZrO₂ сприяє подрібненню структури покриттів, бере участь в утворенні дисперсних боридів Fe₂B і Fe₃B. Алюміній, що вводиться в кількості до 10% (мас.), не утворює алюмінідів заліза, але внаслідок своєї легкоплавкості сприяє активізації процесів взаємодії компонентів і знижує пористість покриттів. Мікротвердість отриманих покриттів досягає 6,25–8,59 ГПа, що в 4,0–5,5 рази перевищує мікротвердість сталеву оболонки дроту. Розробка та застосування порошкових дротів даного класу розширило області використання плазмово-дугового напилення, зокрема, для отримання щільних зносостійких покриттів для захисту від газообразивного зносу обладнання в хімічному машинобудуванні, у виробництві деталей насосів, компресорів та інших виробів, а також для відновлення зношених деталей.

Структура та зносостійкість електроіскрових покриттів системи FeNiCrBSiC–MeB₂ / М. С. Стороженко, О. П. Уманський, В. Б. Тарельник, О. Ю. Коваль, Ю. В. Губін, М. О. Мікуліна, І. С. Марценюк, О. Д. Костенко, Т. В. Курінна // Порошкова металургія. – 2020. – № 5-6. – С. 122-137.

Вивчено особливості формування структури електроіскрових (ЕІЛ) покриттів із серійного самофлюсівного сплаву FeNiCrBSiC та композиційних матеріалів на його основі FTB₂₀ (FeNiCrBSiC–20% (мас.) TiB₂) і FCB₂₀ (FeNiCrBSiC–20% (мас.) CrB₂) при нанесенні на підкладку зі сталі 45. Встановлено, що електроіскрове покриття FeNiCrBSiC товщиною близько 70 мкм характеризується глобулярним рельєфом, а покриття FTB₂₀ та FCB₂₀ утворюють по всій поверхні зразків суцільний легований шар товщиною до 50 мкм. Мікротвердість покриттів не змінюється по товщині легованого шару і становить 10–14 ГПа. Розроблені ЕІЛ-покриття за хімічним складом ідентичні вихідним електродним матеріалам, що свідчить про відсутність перемішування матеріалу електродів зі сталеву підкладкою. Структура електродів та покриттів FeNiCrBSiC, FTB₂₀ і FCB₂₀ суттєво відрізняється, оскільки в процесі електроіскрового легування включення боридів хрому та/або титану подрібнюються від 20–25 мкм до 1 мкм відповідно. Гетерофазна структура електроіскрових покриттів є матрицею на основі нікелю-заліза, що зміцнена дрібнодисперсними частинками боридів та карбоборидів. Досліджено вплив швидко-навантажувальних параметрів на інтенсивність зношування електроіскрових покриттів в умовах тертя ковзання без мастила. Для порівняння зносостійкості випробовували ЕІЛ-покриття із стандартного твердого сплаву WC–6% Co. Встановлено, що з підвищенням швидкості від 4 до 12 м/с інтенсивність зношування покриттів FeNiCrBSiC, FTB₂₀ та FCB₂₀ зменшується, а покриття WC–6% Co — збільшується. При підвищенні навантаження від 0,1 до 0,4 МПа інтенсивність зношування електроіскрових покриттів зростає на порядок. Вивчення поверхонь тертя показало, що покриття FeNiCrBSiC зношується внаслідок руйнування глобул, а FCB₂₀ — внаслідок крихкого руйнування легованого шару. Електроіскрове покриття FTB₂₀ має в 2–3 рази вищий рівень зносостійкості порівняно з FeNiCrBSiC за рахунок реалізації окисного механізму зношування, який полягає в формуванні на поверхні тертя захисних оксидних плівок, що виконують роль твердого мастила.

Фазові рівноваги в системі $ZrO_2-CeO_2-Yb_2O_3$ при 1100 °C / О. А. Корнієнко, О. І. Биков, О. Р. Андрієвська, А. О. Макудера // Порошкова металургія. – 2020. – № 5-6. – С. 138-147.

За допомогою методу рентгенівського фазового аналізу досліджено фазові рівноваги та структурні перетворення в системі $ZrO_2-CeO_2-Yb_2O_3$ при температурі 1100 °C у всьому інтервалі концентрацій. Встановлено, що в системі утворюються поля твердих розчинів на основі кубічної (F) модифікації із структурою типу флюориту ZrO_2 (CeO_2), тетрагональної (T) та моноклінної (M) модифікацій ZrO_2 , кубічної (C) модифікації Yb_2O_3 , а також упорядкованої фази $Zr_3Yb_4O_{12}$ (δ), що кристалізується в ромбоєдричній структурі. Визначено границі фазових полів та параметри елементарних комірок утворених фаз. Гранична розчинність оксиду церію в δ -фазі складає 4% (мол.) за перерізом $CeO_2-(60\% \text{ (мол.) } ZrO_2-40\% \text{ (мол.) } Yb_2O_3)$.

Встановлено, що в області з високим вмістом ZrO_2 утворюються тверді розчини на основі тетрагональної модифікації ZrO_2 . Розчинність Yb_2O_3 в T- ZrO_2 невелика і складає ~0,5% (мол.), що підтверджено даними рентгенівського фазового аналізу та мікроструктурних досліджень. Слід зазначити, що тверді розчини на основі T-модифікації ZrO_2 не загартовуються при заданих режимах охолодження.

Встановлено, що при 1100 °C утворюється неперервний ряд кубічних твердих розчинів типу флюориту F- CeO_2 (ZrO_2). Ізотермічний переріз системи $ZrO_2-CeO_2-Yb_2O_3$ при 1100 °C характеризується присутністю однієї трифазної (C + F + δ), п'яти однофазних (F- CeO_2 (ZrO_2), M- ZrO_2 , T- ZrO_2 , δ , C- Yb_2O_3) і п'яти двофазних (C + F, C + δ , F + δ , F + T, T + M) областей. Нових фази в системі не виявлено. Показано, що характер фазових рівноваг у потрійній системі $ZrO_2-CeO_2-Yb_2O_3$ при температурі 1100 °C визначається будовою граничних подвійних систем.

Механические свойства микрослойных материалов Ti-Al при статическом и циклическом нагружении / Ю. Ф. Луговський, В. А. Назаренко, М. В. Мінаков, С. А. Спірідонов, В. М. Нищенець // Порошкова металургія. – 2020. – № 5-6. – С. 148-159.

Представлено технологію отримання мікрошаруватого матеріалу шляхом спікання та прокатки пакета смуг, що чергуються, з титану та алюмінію при температурах 460 і 770 °C. Початкова товщина пакета становила 2,6 мм, а кінцева — після гарячої прокатки — 1,8 мм. Далі заготовку прокатували при кімнатній температурі до товщини 0,5 мм. Сумарний ступінь деформації при 20 °C склав $e = \ln 1,8 / 0,5 = 1,3$. Деякі із отриманих смуг товщиною 0,5 мм потім розшарувалися по середині її товщини і були досліджені при статичному та циклічному вигині. Методом рентгеноструктурного аналізу встановлено, що матеріал, отриманий при нагріванні та прокатці при 770 °C, містить фазу ГПУ Ti і фазу $TiAl_3$. Встановлено анізотропію структури в шарах титану. Границя пропорційності матеріалу товщиною 0,5 мм складала 368 МПа. Визначено характеристики пружності, пропускання енергії коливань і опір втомі зразків мікрошаруватого матеріалу Ti- $TiAl_3$ на зразках товщиною 0,25 мм, вирізаних вздовж і поперек напрямку прокатки. Для цього збуджували резонансні коливання згину консольно закріплених зразків на їх першій та другій формах і визначали залежності максимальних напружень у зразках від відносної потужності установки (електродинамічного вібратора) W/W_{\max} , а також руйнівних втомних напружень у зразках від числа циклів навантаження. Показано, що модуль Юнга зразків, вирізаних уздовж прокатки, складає 92, а поперек прокатки — 100 ГПа. Встановлено, що мікрошаруватий матеріал Ti- $TiAl_3$, вирізаний уздовж прокатки, менш досконалий, ніж вирізаний поперек прокатки, тому що при однаковій відносній потужності збудження коливань неруйнівні напруження в ньому на 11% менші, ніж у напрямку поперек прокатки, через більш високий рівень розсіювання енергії в анізотропній кристалографічній структурі. Границі витривалості на базі 107 циклів для зразків матеріалу Ti-Al ($T_{pr} = 460$ °C), вирізаних уздовж прокатки, склали 303 МПа, для зразків Ti- $TiAl_3$, вирізаних уздовж прокатки, — 299 МПа, а поперек прокатки — 481 МПа.