

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА ім. І.М. ФРАНЦЕВИЧА

ШИШКІНА ЮЛІЯ ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 621.762.8

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОТРИМАННЯ
АЛЮМОМАТРИЧНИХ КОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ СИСТЕМИ Al-TiC
МЕТОДАМИ ТЕРМІЧНОГО СИНТЕЗУ ТА ГАРЯЧОГО
ШТАМПУВАННЯ**

Спеціальність 05.16.06 – «Порошкова металургія і композиційні матеріали»

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ.

Науковий керівник: доктор технічних наук, с.н.с., заступник директора інституту з наукової роботи **Баглюк Геннадій Анатолійович**, Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, м. Київ.

Офіційні опоненти: член-кореспондент НАН України, д.т.н. **Лобода Петро Іванович**, декан «Інженерно-фізичного факультету», професор кафедри «Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії», Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського» МОН України, м. Київ.

доктор технічних наук, с.н.с. **Щерецький Олександр Анатолійович**, провідний науковий співробітник Фізико-технічного інституту металів та сплавів НАН України, м. Київ.

Захист відбудеться «12» березня 2018 р. о 10³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.207.03 Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України за адресою: 03680, м. Київ–142, вул. Кржижанівського, 3.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України за адресою: 03680, м. Київ – 142, вул. Кржижанівського, 3.

Автореферат розісланий «02» лютого 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради Д **26.207.03**
кандидат технічних наук



Хоменко О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Об'єктивні потреби розвитку машинобудування обумовили необхідність створення принципово нових конструкційних і функціональних (зокрема – триботехнічних) матеріалів, що відзначаються достатнім рівнем механічної міцності при високих навантаженнях, підвищеною зносостійкістю, термостійкістю та низькою густиною. В даний час при створенні ряду деталей і вузлів у машинобудуванні, суднобудуванні, авіаційної і ракетно-космічної техніки знаходять все більш широке застосування високоміцні, легкі композиційні матеріали, зокрема - багатокомпонентні гетеромодульні порошкові алюмоматричні композити, що поєднують в собі компоненти із високим модулем Юнга, та елементи із суттєво меншими значеннями модуля пружності. Комбінуючи об'ємний вміст компонентів, можна одержувати композиційні матеріали з необхідними значеннями основних фізико-механічних та функціональних властивостей.

За останні роки були досягнуті значні успіхи в конструюванні такого роду композиційних матеріалів для різних областей застосування, однак специфіка будови таких композитів значною мірою обмежує можливості використання для їх отримання традиційних методів плавильного переділу. В той же час, одним із ефективних шляхів вирішення зазначеної проблеми є технологічні підходи, що базуються на застосуванні методів порошкової металургії. Це обумовило **актуальність** даної роботи, яка присвячена розробці та удосконаленню технологічних процесів виготовлення алюмоматричних композитів функціонального призначення на основі результатів аналізу впливу технологічних схем та режимів їх отримання на особливості структуроутворення та основні фізико-механічні і експлуатаційні властивості.

Зв'язок з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до відомчої та пошукової тематики Інституту проблем матеріалознавства НАН України за темами: «Розробка нового покоління легкої броні на основі шаруватих композитів для захисту легкоброньованої техніки та методики моделювання її напружено-деформованого стану» № 445 від 16.02.2017 (№ державної реєстрації 0116U007866, шифр теми II-16-16), «Розробка фізико-хімічних основ процесів консолідації та структуроутворення високозносостійких металоматричних композитів на основі сплавів заліза, алюмінію та титану з високомодульними наповнювачами» (№ державної реєстрації 0115U000101, шифр теми III-3-15), «Розробка технологій синтезу та дослідження властивостей високозносостійких дисперснозміцнених порошкових композитів конструкційного і електротехнічного призначення на основі сплавів міді та алюмінію» (№ державної реєстрації 0112U002398, шифр теми III-21-12(II)), «Перспективні композиційні матеріали на основі інтерметалідів систем Ni-Al, Ni-Ti, Ti-Al, Fe-Al для захисту та відновлення деталей двигунів автомобільної, авіаційної та гідроенергетичної промисловості» (№ державної реєстрації 0117U006184, шифр теми II-7-17).

Метою дисертаційної роботи є встановлення закономірностей впливу технологічних схем та режимів синтезу алюмоматричних композитів системи Al-TiC функціонального призначення на особливості структуроутворення і основні фізико-механічні та експлуатаційні властивості матеріалів та розробка і удосконалення на основі отриманих результатів технологічних процесів їх виготовлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Проаналізувати сучасні уявлення відносно матеріалознавчих аспектів створення алюмоматричних композиційних матеріалів системи «Al - тугоплавка сполука» та технології їх одержання;

2. Дослідити вплив температури синтезу та складу вихідної шихти на процеси фазоутворення у лігатурі системи Al-Ti-C;

3. Встановити вплив компонентного складу порошкової суміші «алюміній – карбидовміщуюча лігатура» та режимів підготовки шихти на структуру та основні механічні властивості гарячештампованих композитів;

4. Встановити вплив схеми штампування на їх структуру і властивості; вивчити вплив схеми деформування при об'ємному штампуванні на структуру та властивості отриманих композитів;

5. Вивчити вплив компонентного складу алюмоматричних композитів на їх функціональні властивості;

6. Провести дослідно-промислову апробацію технології при виготовленні методами гарячого штампування виробів функціонального призначення з алюмоматричних композиційних матеріалів.

Об'єкт дослідження. Закономірності формування структури алюмоматричних композиційних матеріалів та їх фізико-механічні властивості.

Предмет дослідження. Процес отримання методом гарячого штампування композиційного матеріала на основі алюмінію, зміцненого порошковою лігатурою системи Al-Ti-C.

Методи досліджень. Робота виконувалась із застосуванням комплексу сучасних фізичних та математичних методів дослідження: хімічного та рентгенофазового аналізу, рентгеноспектрального мікроаналізу, металографічного кількісного аналізу, теплової металографії, дифракційного термічного аналізу, механічних та триботехнічних випробувань в умовах сухого тертя на повітрі, математичного моделювання з використанням програмного комплексу "DEFORM".

Наукова новизна:

1. Вперше встановлено вплив компонентного складу вихідної шихти на особливості структури та фазовий склад термічно синтезованої лігатури системи Al-C-Ti. Показано, що в разі використання шихти із стехіометричним по відношенню до титану вмістом вуглецю переважною зміцнюючою фазою сплаву є карбід титану, тоді як в зразках з мінімальним вмістом графіту (6 %) і високим вмістом алюмінію (40 %) у структурі синтезованого матеріалу переважають разорієнтовані витягнуті голкоподібні зерна трійних карбідів титану. Найбільшою дисперсністю часток зміцнюючої

фази характеризується сплав, синтезований із суміші стехіометричного складу 20Al-16C-64Ti (% мас.).

2. Вперше встановлено вплив компонентного складу порошкової суміші «карбідовміщуюча лігатура – алюміній» та режимів підготовки шихти на структуру та основні механічні властивості гарячештампованих композитів системи Al-TiC. Показано, що із збільшенням вмісту лігатурної складової у вихідній шихті як твердість, так і характеристики міцності зразків монотонно зростають, а показники пластичності закономірно зменшуються. Значне подрібнення конгломератів твердої фази в шихті відбувається при використанні енергонасичених режимів розмелу суміші, що призводить до забезпечення характеристик міцності та твердості композитів, які на 15-30 % перевищують аналогічні характеристики матеріалів, вихідна шихта для яких отримана простим механічним змішуванням.

3. Запропонована нова схема деформування пористих заготовок при їх об'ємному штампуванні та встановлено вплив схеми штампування на структуру і властивості гарячештампованих композитів. Показано, що як твердість, так і міцність матеріалів, отриманих із використанням схем деформації при штампуванні, що реалізують підвищений рівень деформацій зсуву, на 15-20 % перевищує аналогічні характеристики матеріалів, виготовлених шляхом штампування заготовок осаджуванням в закритому штампі. Відзначено, що структура гарячештампованих зразків з алюмоматричних композитів відрізняється наявністю помітної текстурованості, ступінь якої зростає при використанні схем деформації, що забезпечують найбільший рівень деформацій зсуву.

4. З використанням акустичних методів неруйнуючого контролю проведена оцінка ступеня структурної анізотропії гарячештампованих алюмоматричних композитів та пружних характеристик зразків, виготовлених з використанням різних технологічних схем. Вперше показано, що величини як нормального модуля пружності, так і модуля зсуву в площині, перпендикулярній напрямку прикладання деформуючого зусилля при гарячому штампуванні, на 12-15 % перевищують відповідні характеристики композиту в площині, паралельній напрямку деформування.

Практичне значення отриманих результатів:

1. В роботі розроблено та вдосконалено технології виготовлення алюмоматричних композиційних матеріалів функціонального призначення методами термічного синтезу та гарячого штампування.

2. На основі одержаних науково-експериментальних результатів досліджень розроблено технології отримання композитів системи «алюміній – карбідовміщуюча лігатура» з високим рівнем корозійної стійкості (практично у два рази вищою за алюмоматричні композити з карбідом титану) та з високими триботехнічними властивостями, якими відзначаються композити з 15 % карбідотитанової лігатури з добавками 5,6 % міді, введення якої забезпечує в 2 рази збільшення зносостійкості при стабільному коефіцієнті тертя ($0,3 \div 0,45$) у порівнянні із композитами, матрична фаза яких не легована міддю.

3. Результати виконання комплексних теоретичних та експериментальних досліджень знайшли практичне застосування в технологічних процесах виготовлення деталі "Поршень компресора" на ПП «КоДА» м. Бровари та заготовок пера лопатки, що були виготовлені в результаті спільної роботи з кафедрою механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів у НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського. Термічно синтезована лігатура системи Al-TiC знайшла використання для ефективного легування ливарних алюмоматричних сплавів. Апробацію лігатури проводили на дослідно-промисловій ділянці виробництва Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України. Висока ефективність застосування розроблених технологій обумовлена більш високими значеннями основних фізико-механічних характеристик композитів у порівнянні із матеріалами аналогічного класу, отриманими з використанням ливарних технологій, а також підвищеною зносостійкістю, одержаних матеріалів і стабільними триботехнічними характеристиками в широкому діапазоні швидкостей ковзання при їх використанні у вузлах тертя.

Особистий внесок здобувача. Основні експериментальні та наукові результати роботи здобувачем отримано самостійно. Автором проведено дослідження, обробку результатів та їх аналіз, підготовка наукових статей та доповідей за результатами дисертації. Автором разом з науковим керівником визначені мета, задачі дослідження, планування експериментів та обговорення науково-практичних результатів. За результатами всіх етапів роботи здобувачем сформульовано основні висновки та рекомендації дисертаційної роботи.

Апробація роботи. Головні результати дисертаційної роботи доповідались на наступних науково-технічних конференціях: XVIII Международная конференция «Физика прочности и пластичности материалов» (Самара, Россия, 2012); Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні ресурсозберігальні матеріали та зміцнювальні технології» (Маріуполь, Україна, 2012); Конференция к 60-летию Института проблем материаловедения им. И.Н.Францевича НАН Украины «Порошковая металлургия: ее сегодня и завтра» (Киев, Украина, 2012); IX Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физикохимия и технология неорганических материалов» (Москва, Россия, 2012); Всероссийская молодежная научная конференция с международным участием «Инновации в материаловедении» (Москва, Россия, 2013); Euro PM2013 Congress & Exhibition (Gothenburg, Sweden, 2013); Загальна університетська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів, присвячена дню Науки (Київ, Україна, 2014); XX International scientific and technical conference KONTECH «Advanced forming technologies and nanostructured materials» (Poznan-Wasowo, Poland, 2014); 11-я Международная научно-техническая конференция «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка» (Минск, Беларусь, 2014); International conference

on sintering 2014 (Dresden, Germany, 2014); XI International congress «Machines, technologies, materials» (Varna, Bulgaria, 2014); Euro PM2014 Congress & Exhibition (Salzburg, Austria, 2014); XI Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов» (Москва, Россия, 2014); WORLD PM2016 Congress & Exhibition (Hamburg, Germany, 2016); XIII International Congress «Machines. Technologies. Materials» (Varna, Bulgaria, 2016)

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано **28** наукових праць, зокрема **9** статей у фахових вітчизняних та закордонних періодичних виданнях в галузі технічних наук, з яких **3** статті у виданні, що індексується в наукометричних базах даних «Scopus», **16** тез доповідей у збірниках відповідних наукових конференцій та отримано **3** патенти України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, **5** розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Викладена на **216** аркушах, включає **14** таблиць, **77** рисунків, **5** додатків, список використаних джерел із **185** найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовані мета, основні завдання, методи дослідження, викладена наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію про апробацію та публікації основних результатів роботи.

У першому розділі здійснено огляд науково-технічної літератури, щодо основних типів відомих алюмоматричних композиційних матеріалів та здійснено оцінку ефективності застосування різноманітних зміцнюючих добавок. Проведено аналіз напрямків застосування алюмоматричних композитів, визначено сучасні тенденції та перспективи їх розвитку. Проаналізовано існуючі технологічні процеси введення зміцнюючої фази в металеву матрицю та труднощі, які при цьому виникають. Розглянуті переваги та недоліки існуючих технологій одержання алюмоматричних композиційних матеріалів. Показано, що використання методів порошкової металургії дозволяє розширити можливості керування хімічним складом і структурою матеріалів. Використання таких високоенергетичних методів виготовлення композитів, як гаряче штампування дозволяє отримати безпористі матеріали з досить рівномірно розподіленою зміцнюючою фазою та уникнути її взаємодії з алюмінієвою матрицею, що веде до підвищення фізико-механічних властивостей матеріалів.

На основі літературного огляду зроблено висновки щодо актуальності роботи, сформульовано мету і задачі дослідження.

Другий розділ присвячений устаткуванню, методам, методикам і матеріалам, що були використані в роботі при проведенні досліджень. Наведено дані, щодо вихідних матеріалів та їх сумішей. Для отримання алюмоматричних композиційних матеріалів, зміцнених карбидовміщуючою лігатурою використовували порошки алюмінію (ПА-4, ГОСТ 6058-73),

титану (ПТХ-80, ТУ48-10-78-83), вуглецю (лампова сажа), порошку титану (ТУ 1798-111-75420116-2006), а також порошки міді (ПМС-1, ГОСТ 4960-2009) та латуні (ПРВ-Л80, ПРВ-ЛН65-5, ISO 9001:2008).

Для оцінки впливу співвідношення компонентів суміші на структуру і фазовий склад лігатури системи Al-Ti-C вихідні порошки заміщували у таких співвідношенні, щоб отримати три групи зразків з різним вмістом алюмінію від 35 % до 45 % та з різним співвідношення титану і вуглецю, для визначення впливу кількості вихідних елементів ще й на стехіометрію карбиду титану. Пресування заготовок проводилося на гідравлічному пресі (ГП60) при 500 МПа. Отримані брикети спікали в герметичній камері, заповненій технічно чистим аргоном, на установці непрямого індукційного нагрівання при температурі 950 °С. Після термічного синтезу брикети розмелювали в планетарному млині протягом 5 – 15 хв. В результаті чого отримували порошок відповідної лігатури.

Виготовлення експериментальних зразків АМКМ проводили за двома схемами. За першою технологічною схемою порошки алюмінію та 5 - 15 % лігатури змішували протягом однієї години в змішувачі типу "п'яна бочка" у спирті. При використанні другої технологічної схеми порошки алюмінію і таку ж кількість лігатури змішували в лабораторному планетарному млині протягом 7,5 хв. Швидкість обертання планетарного млина – $n = 0,75N$ кр, діаметр твердосплавних кульок – 4 – 12 мм та співвідношення маси суміші до маси кульок 1:5.

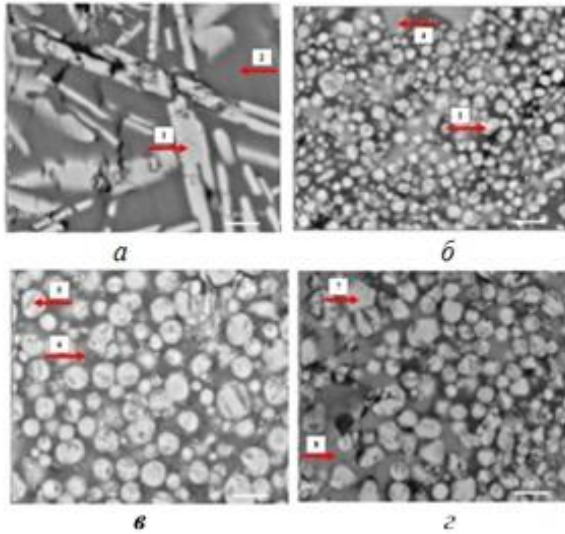
Надалі для обох технологічних схем отриману порошкову шихту пресували під тиском 550 МПа в заготовки циліндричної форми, а також заготовки конічної форми спресовані заготовки нагрівали у лабораторній печі шахтного типу в проточному аргоні до температури 600 °С протягом 10 – 15 хв. та піддавали гарячому штампуванню на дугостаторному пресі ФА-1732, в напівзакритому штампі.

Описана методики дослідження структури, фазового та хімічного складу сплавів, дослідження фізико-механічних властивостей, зносо- та корозійної стійкості.

Третій розділ присвячений дослідженню особливостей структуроутворення та фазового складу лігатури системи Al-Ti-C в процесі термічного синтезу. Було показано, що значної зміни фазового складу лігатури зі зміною температури синтезу не спостерігається, тому в подальшому для отримання гарячештампованих композитів на основі алюмінію використовували лігатуру, синтезовану при температурі 950 °С. Встановлено, що для всіх досліджуваних складів вихідних сумішей при їх нагріванні відбувається *in-situ* виділення часток карбиду титану TiC і невеликої кількості алюмінідів титану.

Для детального дослідження структури лігатур на скануючому електронному мікроскопі (СЕМ) було обрано найбільш показові зразки з кожної групи (рис.1), а результати кількісного аналізу представлених елементів структури наведені у таблиці 2.

Результати мікроструктурного аналізу (рис. 1) показали наявність в структурі синтезованих лігатур досить рівномірно розподілених в сірій металевій матриці світлих частинок зміцнюючої фази близької до сферичної форми. Структура, де видно сірі області, оточені дисперсними сферичними



- a* – 40Al-6C-54Ti (% мас.);
б – 20Al-16C-64Ti (% мас.);
в – 45Al-11C-44Ti (% мас.);
г – 35Al-9,75C-55,25Ti (% мас.)

Рис. 1 – СЕМ зображення лігатури системи Al-Ti-C після синтезу ($\times 3000$)

обсягом і розташовані досить щільно одна до одної. При цьому, в зразках з найменшим вмістом вуглецю, світлі включення виглядають як витягнуті голкоподібні зерна (рис. 1, *a*) незалежно від вмісту алюмінію.

Кількісний аналіз показав, що сіре поле на фотографіях мікроструктур (рис. 1) складається, головним чином, з алюмінію, або інтерметалідів на основі алюмінію та титану (таб. 1 спектри 2 та 6), або ж суміші алюмінію і частинок карбіду титану (спектр 8); світлі округлі частки (спектри 3, 5 і 7) відповідають близькому до стехіометричного складу карбіду титану, а витягнуті голкоподібні зерна (спектр 1) представляють собою потрійний карбід Ti_3AlC – процентний вміст елементів в цій фазі близький до стехіометричному складу такого з'єднання. Спектри 4 і 6 можна віднести, мабуть, до часток твердого розчину на основі алюмінію.

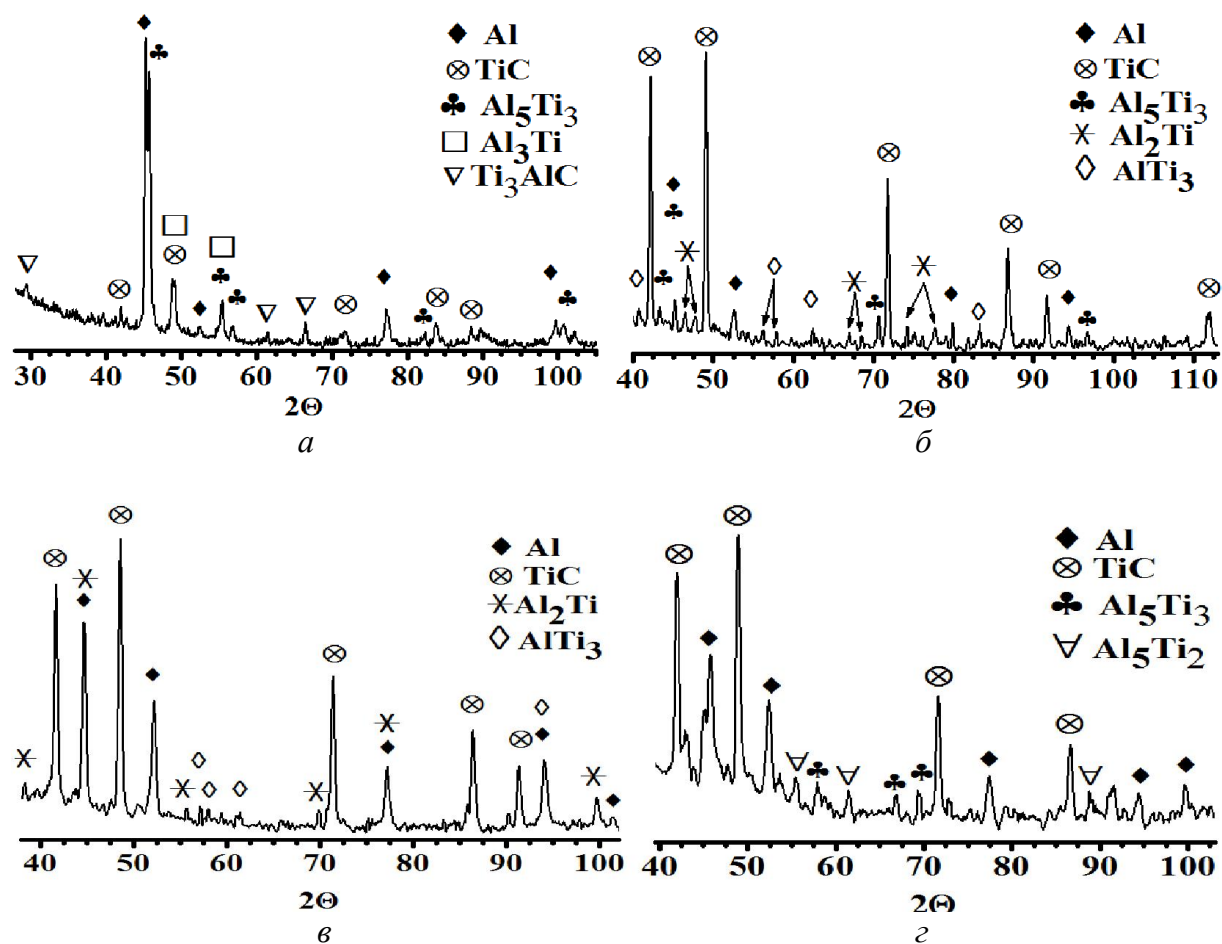
Результати рентгенофазового аналізу представлені на рисунку 2.

Після реакційного синтезу на дифрактограмах всіх зразків наявні яскраво виражені лінії карбіду титану та алюмінію, поряд з якими є ряд ліній, що належить алюмінідам титану Al_3Ti , Al_5Ti_3 , Al_2Ti , $AlTi_3$, Al_5Ti_2 (рис. 2, *a*, *б*, *в*, *г*) і судячи з інтенсивності піків, вміст останніх в матеріалі незначний. У випадку лігатури, виготовленої із суміші № 7 складу 40Al-6C-54Ti (% мас.) на рентгенограмі присутні і лінії потрійного карбіду титану Ti_3AlC .

Таблиця 1
 Вміст (мас.) елементів в різних
 точках зразку синтезованих
 лігатур системи Al-Ti-C

№ спектра	Al, %	Ti, %	C, %
1	15,31	78,81	5,88
2	63,473	36,527	-
3	3,714	78,336	17,950
4	92,861	2,839	4,299
5	0,409	77,313	22,278
6	98,863	-	-
7	0,585	81,857	17,558
8	57,821	38,723	3,457

частинками, характерна для зразків з вмістом алюмінію 30 - 45%, які змішували з урахуванням стехіометрії карбіду титану. У зразках з максимальним вмістом вуглецю та з 10 і 20 % алюмінію світлі дисперсні частинки рівномірно розподілені за



a – 40Al-6C-54Ti (% мас.); *б* – 20Al-16C-64Ti (% мас.); *в* – 45Al-11C-44Ti (% мас.); *г* – 35Al-9,75C-55,25Ti (% мас.)

Рис. 2 – Фрагменти дифрактограм вихідної порошкової суміші (*a*) і синтезованих лігатур системи Al-Ti-C (*б, в, г, д*)

Найбільшою дисперсністю частинок зміцнюючої фази після розмелу (6 - 10 мкм) характеризується сплав, синтезований із суміші складу 20Al-16C-64Ti (% мас.), у структурі яких переважають дисперсні сферичні частинки карбіду титану.

У четвертому розділі розглянуто вплив технологічних схем та режимів отримання алюмоматричних композитів системи Al-Ti-C на особливості структури та основні фізико-механічні характеристики. Структура композитів, отриманих за двома технологічними схемами наведена на рисунку 3 та те.

Дослідження впливу технологічної схеми отримання АМКМ на структуру та їх механічні властивості показали, що міцність та твердість композитів, виготовлених із шихти після розмелу в планетарному млині суттєво перевищують аналогічні характеристики матеріалів, вихідна шихта для яких отримана змішуванням в змішувачі типу "п'яна бочка". Відзначено, що із збільшенням вмісту лігатурної складової у вихідній шихті показники твердості зростають від з НВ 520 МПа для матеріалів, вихідна шихта для яких отримана змішуванням в змішувачі типу "п'яна бочка" до НВ 615 МПа

для композитів, виготовлених із шихти після розмелу, характеристики міцності також відповідно зростають від 161 МПа до 195 МПа, а показники пластичності зменшуються. Найкращі властивості демонструють композити з лігатурою складу 20Al-64Ti-16С (% мас.), тому саме ці зразки були обрані для подальшого дослідження.

Встановлено вплив схеми штампування на структуру та властивості гарячештамованих композитів (рис. 4).

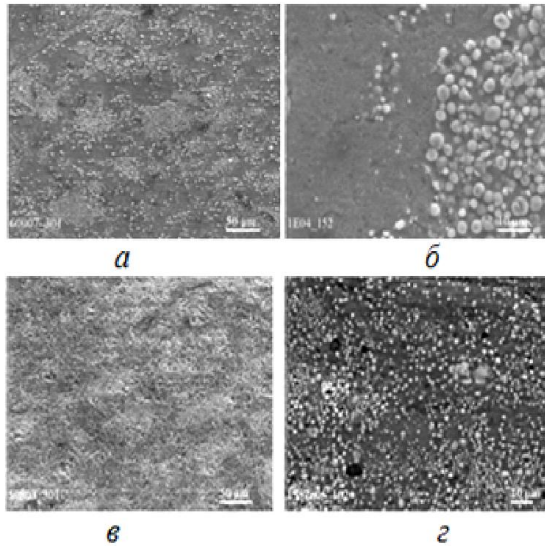


Рис. 3 – СЕМ зображення гарячештамованих композитів з 15 % лігатури, отриманих механічним змішуванням (а, б) та в планетарному млині (в, г)

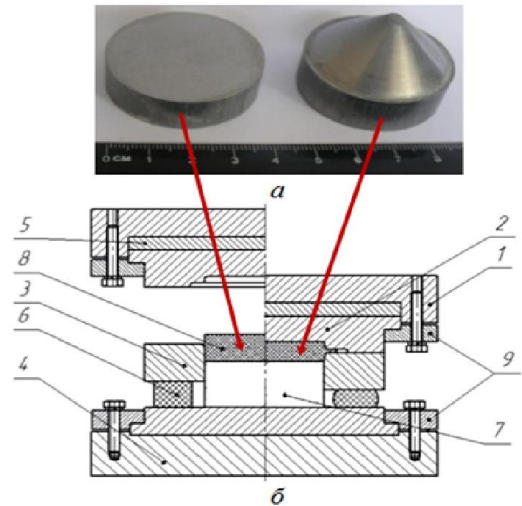


Рис. 4 – Зовнішній вигляд заготовок під штамповку (а) та експериментальний штамп для гарячого пресування (б)

Показано, що як твердість, так і міцність матеріалів, отриманих із заготовок конічної форми, помітно (на 15-20 %) перевищує аналогічні характеристики матеріалів, виготовлених з циліндричних заготовок (рис. 5).

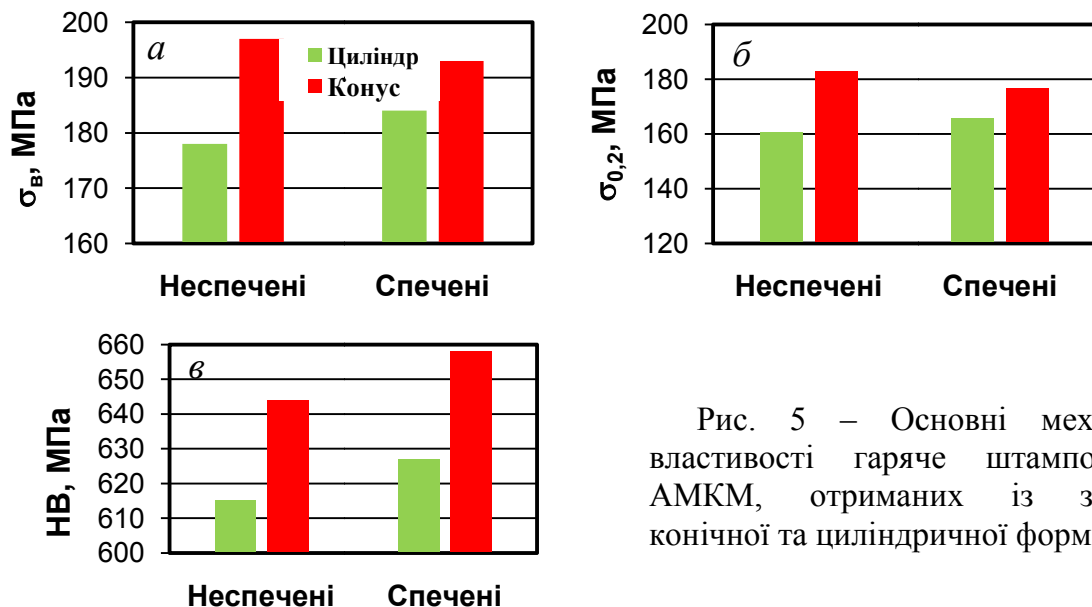


Рис. 5 – Основні механічні властивості гаряче штамованих АМКМ, отриманих із зразків конічної та циліндричної форми

Відзначено, що структура гарячештапованих зразків з алюмоматричних композитів відрізняється наявністю помітної текстурованості, ступінь якої зростає при використанні вихідних заготовок конічної форми (рис. 6).

Для розглянутих технологічних схем виготовлення характеристики пружності досліджуваних алюмоматричних композитів перевищують модуль

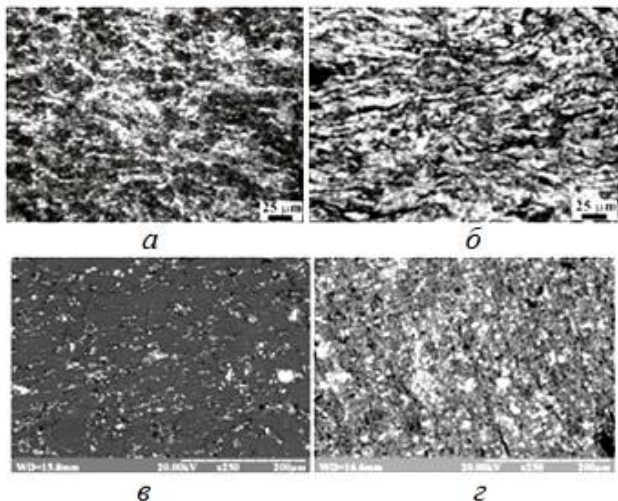


Рис. 6 – Мікроструктура алюмінієвого композиту з 15 % лігатури, отриманого з циліндричних (а, б) та конічних заготовок (в, з) після ГШ в оптичному (а, б) і СЕМ (в, з) зображенні.

Юнга алюмінію на 40-70 % (в залежності від напрямку прозвучування), а відповідні характеристики модулю зсуву вище на 8-15 %.

Вивчення кінетики формування структури АМКМ із збільшенням кількості проходів при гвинтовій екструзії дозволило припустити механізм, за яким відбувається фрагментація конгломератів твердої фази. Про зміцнення сплаву за рахунок накопичення деформацій свідчить помітне підвищення його твердості зі збільшенням кількості проходів

при незначному зростанні щільності композиту (табл. 2). Для порівняння механічних властивостей у роботі були отримані АМКМ з 15 % карбідом титану за такою ж самою технологічною схемою, що і композити, зміцненні карбидовміщуючою лігатурою системи Al-Ti-C. Мікроструктура спечених та неспечених композитів Al – 15 % TiC після ГШ та після спікання і ГШ характеризується схильністю карбіду титану до агломерації після спікання, у той час як, зміцнююча фаза у неспечених зразках характеризується більшою рухливістю та сильніше подрібнюється під час гарячого штампування. Відмінність у структурі спечених і неспечених композитів з карбідом титану, загалом, носить той самий характер, що й у АМКМ з карбидовміщуючою лігатурою, коли у циліндричних зразках реалізується ефект збиральної рекристалізації.

Таблиця 2

Значення щільності АМКМ, зміцнених лігатурою складу 45Al-11C-44Ti (% мас.) до та після гвинтової екструзії та їх твердість в залежності від кількості проходів

Кількість проходів	Вміст компонентів (% об)	HRB
1	5 % лігатура - 95% Al	50-55
	10 % лігатура - 90% Al	57-58
	15 % лігатура - 85% Al	65-66
2	5 % лігатура - 95% Al	50-56
	10 % лігатура - 90% Al	59-61
	15 % лігатура - 85% Al	73-75
3	5 % лігатура - 95% Al	69-70
	10 % лігатура - 90% Al	72-73
	15 % лігатура - 85% Al	74-76

Значення твердість та механічних властивостей композитів з карбідом титаном представлені в таблиці 3. Враховуючи дані, що приведені вище для композитів, з лігатурами, видно що, АМКМ з карбідом титану мають значно нижчі показники, при однаковому вмісті зміцнюючої фази. Але у зразків з 10

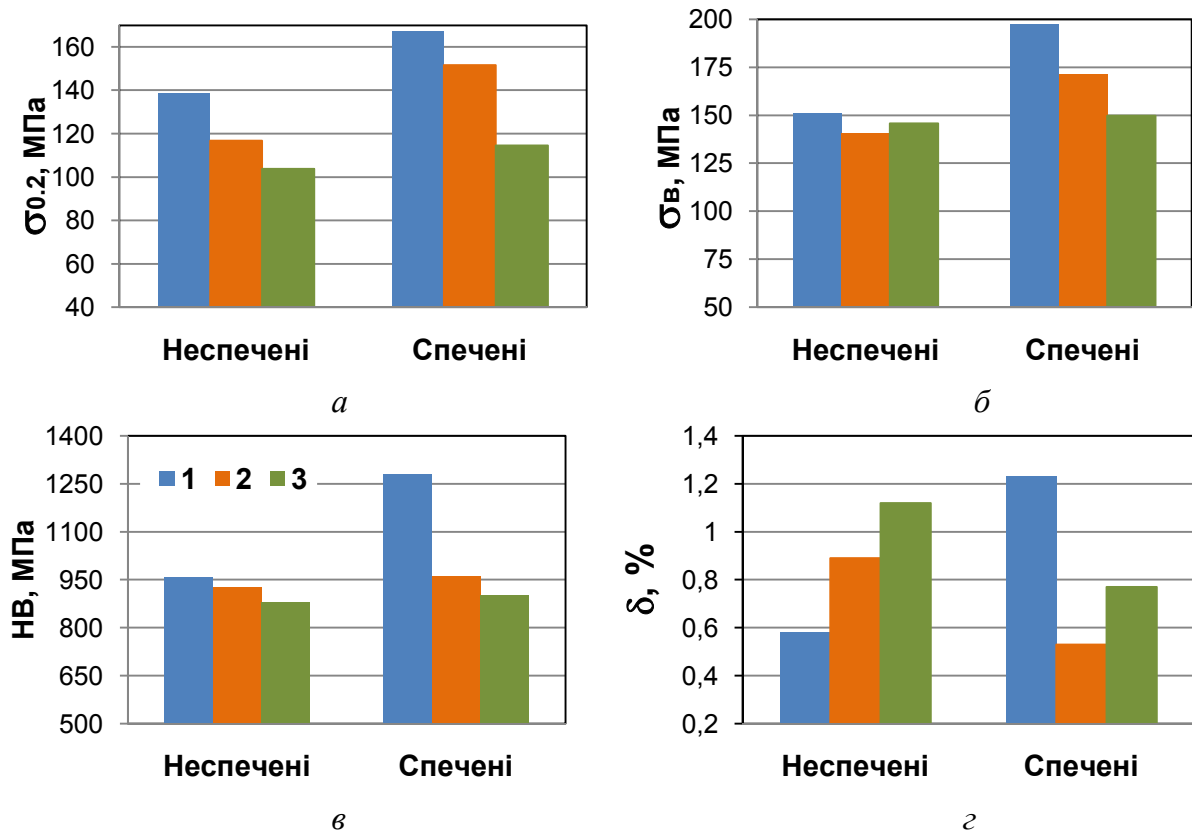
Таблиця 3

Значення щільності, твердості та механічних властивостей АМКМ з 15 % TiC

Склад, % (об.)	НВ, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %
85Al-15TiC спікання + ГШ	338	100	148	4
85Al-15TiC ГШ	319	110	156	2

% лігатури складів 40Al-6C-54Ti (% мас) та 45Al-11C-44Ti (% мас) мають близькі значення твердості, границі текучості та міцності зі зразками, з 15 % карбиду титану.

У роботі було також дослідження впливу легуючих компонентів, такі як Cu (5,6 %) та латуней Л80 (7 %) та ЛН-65-5 (9 %) на фізико-механічні властивості алюмоматричних композитів, отриманих методом гарячого штампування. Визначено, що для АМКМ з 15 % карбидовміщуючою лігатури складу 20Al-64Ti-16C (% мас.) твердість зразків значно зростає з 615 МПа для неспечених зразків та 627 МПа для спечених до 950 МПа та 1280 МПа відповідно у випадку додавання до складу міді. Значення міцності збільшуються на 5 - 10 %, пластичність неспечених композитів знижується, а у спечених - залишається на колишньому рівні (рис. 7).



1 – 5,6% Cu - 15% лігатура № 2 - 79,4% Al; 2 – 7% Л80 - 15% лігатура № 2 - 78% Al; 3 – 9% ЛН65-5 - 15% лігатура № 2 - 76% Al

Рис. 7 – Основні механічні характеристик гарячештампованих АМКМ з 15 % лігатури складу 20Al-16C-64Ti (% мас.), леговані міддю та латунню.

П'ятий розділ присвячений дослідженню функціональних властивостей алюмоматричних композиційних матеріалів та дослідно-промислової апробації результатів роботи.

Триботехнічні випробування зразків проводили у парі зі сталлю У10, твердістю НВ 187 МПа.

Сліди пластичної деформації добре помітно на зображенні структури зразків після тертя (рис. 8, *а, в* та рис. 9, *а, в*) та профілограмах (рис. 8, *б, г* та рис. 9, *б, г*). Характер 2D та 3D профілів свідчить про викришування часток карбиду титану.

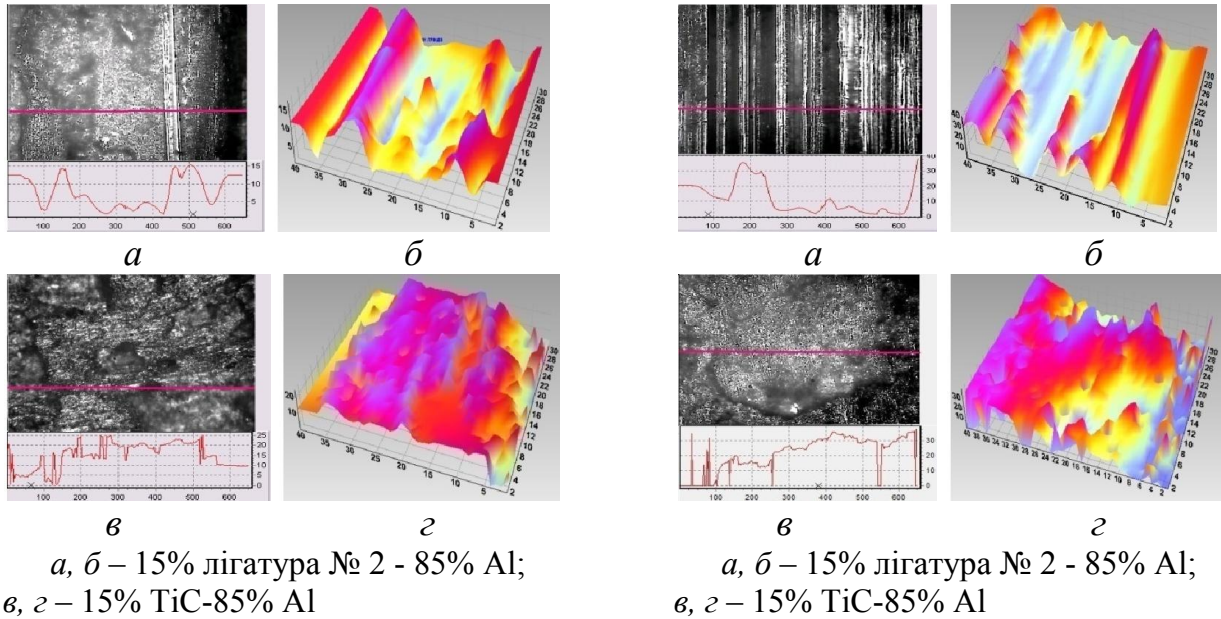
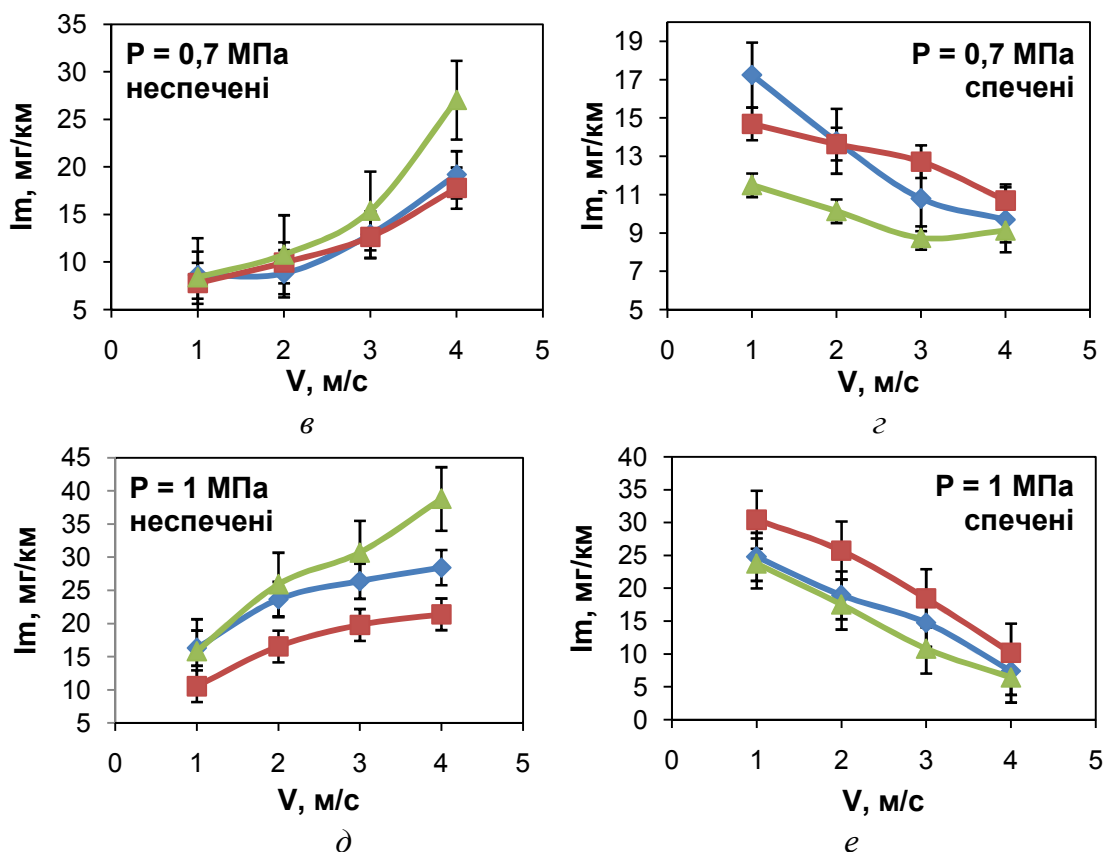


Рис. 8 – Зображення поверхні тертя композитів після ГШ при $V=4\text{м/с}$, $P=0,4\text{МПа}$ (*а, б*) та $V=2\text{м/с}$, $P=0,7\text{МПа}$ (*в, г*)

Рис. 9 – Зображення поверхні тертя композитів після спікання та ГШ $P=1\text{МПа}$ та $V=3\text{м/с}$ (*а, б*) $V=1\text{м/с}$ (*в, г*)

За результатами комплексних триботехнічних випробувань гарячештапованих алюмоматричних композитів легованих міддю та її сплавами показано, що найкращими триботехнічними характеристиками відзначаються композити з 15 % карбидотитанової лігатури з добавками 5,6 % міді, що забезпечують майже в 2 рази збільшення зносостійкості при стабільному коефіцієнті тертя ($0,3\div 0,45$) у порівнянні із композитами, матрична фаза яких не легована міддю (рис. 10). Відмічається пропорційне зростання значення інтенсивності зношування при збільшенні навантаження з 0,4 до 1,0 МПа при незначній зміні коефіцієнту тертя, тоді як при зростанні лінійної швидкості випробувань з 1,0 до 4,0 м/с значення зношування знижується, що може пояснюватись утворенням захисних оксидних плівок під дією навантаження та зростання температури зразків під час випробувань.



1 – 5,6% Cu-15% лігатура № 2 - 79,4% Al; 2 – 7% Л80 - 15% лігатура № 2 - 78% Al; 3 – 9% Л565-5 - 15% лігатура № 2 - 76% Al

Рис. 10 – Інтенсивність зношування зразків в залежності від швидкості ковзання та навантаження для гарячештампованих алюмоматричних композитів, легованих міддю та латунями

Дослідження корозійної стійкості алюмоматричних композитів (табл. 4), отриманих гарячим штампуванням з використанням термічно синтезованої лігатури в 3,5%-вому розчині NaCl, показали, що їх стійкість проти корозії становить 1 бал (абсолютно стійкі), що суттєво перевищує корозійну стійкість нелегованого алюмінію та одного з найбільш широко використовуваних алюмінієвих сплавів Д16, які відносяться за корозійною стійкістю до 6-го балу (понижено стійкі). Введення до складу алюмоматричних композитів міді або мідних сплавів суттєво знижує корозійну стійкість досліджуваних зразків, переводячи їх до 7-го (понижено стійкі) – 10-го (нестійкі) балу за корозійною стійкістю, що пояснюється утворенням гальванічної пари між алюмінієм та міддю, де алюміній починає виступати в якості аноду.

Корозійна стійкість досліджуваних композиційних матеріалів покращується при зміцненні їх частками карбїду титану та карбїдовміщуючою порошковою лігатурою системи Al-Ti-C, але на відміну від композитів складу 15% TiC - 85% Al, зразки з лігатурою різного складу демонструють абсолютну стійкість у 3,5 %-вому розчині NaCl, як для спечених так і для неспечених зразків. Попереднє спікання дещо покращує корозійну стійкість композитів складу 15% TiC - 85% Al, переважно завдяки

утворенню більш міцного контакту між матричним матеріалом та зміцнюючою фазою. У розчині 3%-вого NaCl + мл/л HCl ці матеріали демонструють понижену стійкість.

Таблиця 4

Корозійна стійкість алюмоматричних композиційних матеріалів,
отриманих гарячою штамповкою

Склад матеріалу, % (об)		Корозійні властивості			
		3,5%-вий NaCl		3%-вий NaCl + мл/л HCl	
		П, мм/рік	Бал*	П, мм/рік	Бал
ГШ	15% лігатура № 7 - 85% Al	-	1	2,95	8
	15% лігатура № 12 - 85%Al	-	1	3,35	8
	15% лігатура № 2 - 85%Al	-	1	1,54	7
	15% TiC - 85% Al	0,103	5	10,44	10
	5,6% Cu - 15% лігатура № 2 - 79,4% Al	88,82	10	8,76	9
	7% Л80 - 15% лігатура № 2 - 78%Al	1,06	8	2,25	8
	9% ЛН65-5 - 15% лігатура № 2 - 76%Al	0,56	7	2,16	8
спікання + ГШ	15% лігатура № 7 - 85%Al	-	1	1,71	7
	15% лігатура № 12 - 85%Al	-	1	2,25	7
	15% лігатура № 2 - 85%Al	-	1	0,95	7
	15% TiC-85% Al	0,014	3	10,20	9
	5,6% Cu - 15% лігатура № 2 - 79,4%Al	31,08	10	2,53	8
	7% Л80 - 15% лігатура № 2 - 78% Al	0,72	7	2,11	8
	9% Л565-5 - 15% лігатура № 2 - 76%Al	0,21	6	1,95	8
Литі	Al	0,67	6	1,304	7
	Д16	0,63	6	0,71	6

* – за десятибальною шкалою

Всі композитів, що у складі мають мідь та латуні, після випробувань на корозійну стійкість у 3,5 %-ому розчині NaCl і у розчині 3%-ний NaCl + мл/л HCl біли віднесені до групи не стійких та малостійких відповідно.

Результати виконання комплексних теоретичних та експериментальних досліджень знайшли практичне застосування в технологічних процесах виготовлення ряду деталей автомобільного та авіаційного машинобудування (рис. 11), зокрема - поршня автомобільного компресора

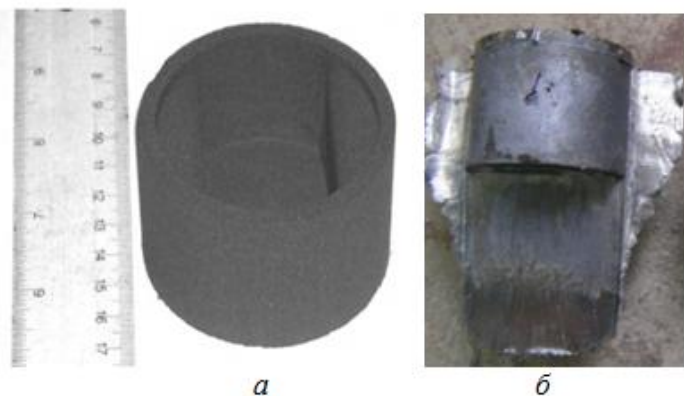


Рис. 11 – Зовнішній вигляд поковок поршня компресора (а) та пера лопатки (б), отриманих гарячим штампуванням спечених заготовок

КПА-1 та заготовки пера лопатки вентилятора авіаційного двигуна.

Термічно синтезована лігатура системи Al-TiC знайшла використання для ефективного легування ливарних алюмоматричних сплавів.

Висока ефективність застосування розроблених технологій обумовлюється більш високими значеннями основних фізико-механічних характеристик композитів у порівнянні із матеріалами аналогічного класу, отриманими з використанням ливарних технологій, підвищеною зносостійкістю одержуваних матеріалів, стабільними триботехнічними характеристиками в широкому діапазоні швидкостей ковзання при їх використанні у вузлах тертя.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-технічна задача розробки та удосконалення технологічних процесів виготовлення алюмоматричних композитів функціонального призначення на основі результатів аналізу впливу технологічних схем та режимів їх отримання на особливості структуроутворення та основні фізико-механічні і експлуатаційні властивості матеріалів.

1. На основі критичного аналізу сучасного стану проблеми виготовлення виробів з алюмоматричних композитів показано переваги карбіду титану серед інших високомодульних сполук, що використовуються в таких матеріалах в якості твердих складових, внаслідок його високої твердості, модуля пружності, низької питомої ваги і того, що параметри решітки TiC близькі до параметрів решітки твердого розчину алюмінію. Показано доцільність та переваги використання методів порошкової металургії і, зокрема, технології гарячого штампування, у порівнянні із більш традиційними ливарними технологіями отримання алюмоматричних композитів.

2. Встановлено вплив компонентного складу вихідної шихти на особливості структури та фазовий склад термічно синтезованої лігатури системи Al-C-Ti. Показано, що в разі використання шихти із стехіометричним по відношенню до титану вмістом вуглецю переважною зміцнюючою фазою сплаву є карбід титану, тоді як в зразках з мінімальним вмістом графіту (6 %) і високим вмістом алюмінію (40 %) переважають разорієнтовані витягнуті голкоподібні зерна алюмінідів та тройний карбідів титану. Найбільшою дисперсністю часток зміцнюючої фази характеризується сплав, синтезований із суміші стехіометричного складу 20Al-16C-64Ti (% мас.).

3. Встановлено вплив компонентного складу порошкової суміші «карбидовміщуюча лігатура – алюміній» та режимів підготовки шихти на структуру та основні механічні властивості гарячештапованих композитів системи Al-TiC. Показано, що із збільшенням вмісту лігатурної складової у вихідній шихті як твердість, так і характеристики міцності композитів монотонно зростають, а показники пластичності закономірно зменшуються. Відмічено значну ефективність подрібнення конгломератів твердої фази в шихті при використанні енергонасичених режимів розмелу суміші, що

призводить до забезпечення характеристик міцності та твердості композитів, які на 15-30 % перевищують аналогічні характеристики матеріалів, вихідна шихта для яких отримана механічним змішуванням.

4. Запропонована нова схема деформування пористих заготовок при їх об'ємному штампуванні та встановлено вплив схеми штампування на структуру та властивості гарячештампованих композитів. Показано, що як твердість, так і міцність матеріалів, отриманих із заготовок конічної форми, на 15-20 % перевищують аналогічні характеристики матеріалів, виготовлених з циліндричних заготовок. Відзначено, що структура гарячештампованих зразків з алюмоматричних композитів відрізняється наявністю помітної текстурованості, ступінь якої зростає при використанні вихідних заготовок конічної форми.

5. За результатами дослідження характеру розподілу мікротвердості металеві і карбідної фаз по перетину гарячештампованих поковок встановлено, що в разі використання вихідних заготовок конічної форми відбувається істотне зміцнення матричної фази після гарячого штампування (до $0,67 \div 1,03$ ГПа) у порівнянні з циліндричними заготовками ($0,47 \div 0,69$ ГПа) в результаті більш інтенсивних деформацій зсуву, тоді як мікротвердість карбідного прошарку (3,2 - 5,4 ГПа) практично не залежить від схеми деформування при гарячому штампуванні.

6. Встановлена наявність розклинюючого ефекту матричної фази відносно конгломератів зміцнюючої фази при рівноканальній гвинтовій екструзії зразків з алюмоматричних композитів, що супроводжується дефрагментацією конгломератів TiC при реалізації в процесі екструзії значних деформацій зсуву. Показано, що ступінь подрібненості агломератів зміцнюючої фази зростає зі збільшенням відсоткового вмісту лігатури в суміші та зі збільшенням кількості проходів при екструзії, що призводить до підвищення значень твердості композиту зокрема для композиту з 15 % лігатури з HRB 65-66 після першого до HRB 74-76 після третього проходу при незначному зростанні щільності композиту.

7. Результати оцінки впливу легування матричної фази міддю та мідними сплавами на основні фізико-механічні властивості алюмоматричних композитів показали значний вплив міді на твердість композиту. Так, твердість гарячештампованих композитів - з 15 % лігатури, зростає з HB 615, 627 МПа для композитів не легованих міддю і до HB 950, 1280 МПа у випадку додавання міді до складу вихідної шихти. Міцність матеріалу відповідно збільшується на 10 %.

8. На основі отриманих результатів з використанням акустичних методів неруйнуючого контролю для оцінки ступіня структурної анізотропії гарячештампованих алюмоматричних композитів та пружних характеристик зразків, виготовлених з використанням різних технологічних схем показано, що величини як нормального модуля пружності, так і модуля зсуву в площині, перпендикулярній напрямку прикладання деформуючого зусилля при гарячому штампуванні, на 12 - 15 % перевищують відповідні характеристики в напрямку деформування. Порівняння величин модулів

пружності для зразків, отриманих із вихідних (необроблених) порошкових сумішей та сумішей після їх механоактивації в планетарному млині показало, що значення модуля пружності для останніх на 7÷10 % вищі як в поздовжньому, так і поперечному напрямках, що пояснюється суттєвою відмінністю структури композиту, отриманого із необробленої шихти, яка відзначається значним агломерируванням часток лігатурної складової у порівнянні із матеріалами, виготовленими із розмеленої шихти.

9. За результатами комплексних триботехнічних випробувань гарячештампованих алюмоматричних композитів показано, що найкращими триботехнічними характеристиками відзначаються композити з 15 % карбідотитанової лігатури з добавками 5,6 % міді, що забезпечують майже в 2 рази збільшення зносостійкості при стабільному коефіцієнті тертя ($0,3 \div 0,45$) у порівнянні із композитами, матрична фаза яких не легована міддю. Відмічається пропорційне зростання значення інтенсивності зношування при збільшенні навантаження з 0,4 до 1,0 МПа при незначній зміні коефіцієнту тертя, тоді як при зростанні лінійної швидкості випробувань з 1,0 до 4,0 м/с значення зношування знижується, що може пояснюватись утворенням захисних оксидних плівок під дією навантаження та зростання температури зразків під час випробувань.

10. Дослідження корозійної стійкості алюмоматричних композитів, отриманих гарячим штампуванням з використанням термічно синтезованої лігатури в 3,5%-вому розчині NaCl, показали, що їх стійкість проти корозії становить 1 бал (абсолютно стійкі), що суттєво перевищує корозійну стійкість нелегованого алюмінію та одного з найбільш широко використовуваних алюмінієвих сплавів Д16, які відносяться за корозійною стійкістю до 6-го балу (понижено стійкі). Введення до складу алюмоматричних композитів міді або мідних сплавів суттєво знижує корозійну стійкість досліджуваних зразків, переводячи їх до 7-го (понижено стійкі) – 10-го (нестійкі) балу за корозійною стійкістю, що пояснюється утворенням гальванічної пари між алюмінієм та міддю, де алюміній починає виступати в якості аноду.

11. Результати виконання комплексних теоретичних та експериментальних досліджень знайшли практичне застосування в технологічних процесах виготовлення ряду деталей автомобільного та авіаційного машинобудування, зокрема - поршня автомобільного компресора КПА-1, заготовки пера лопатки вентилятора авіаційного двигуна, тощо. Термічно синтезована лігатура системи Al-TiC знайшла також використання для легування ливарних алюмоматричних сплавів. Висока ефективність застосування розроблених технологій обумовлюється більш високими значеннями основних фізико-механічних характеристик композитів у порівнянні із матеріалами аналогічного класу, отриманими з використанням ливарних технологій, підвищеною зносостійкістю одержуваних матеріалів, стабільними триботехнічними характеристиками в широкому діапазоні швидкостей ковзання при їх використанні у вузлах тертя.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті:

1. Баглюк, Г.А. Новые композиционные дисперсно-упрочненные материалы на основе алюминия [Текст] / Г.А. Баглюк, **Ю.А. Шишкина** // Технологические системы. – 2011. – № 4 (57). – С. 36-43. *Особистий внесок здобувача:* аналіз сучасних тенденцій в отриманні алюмоматричних композиційних матеріалів.
2. **Shishkina, Y.** Specific features of structure formation in Al-Ti-C powder master alloys after thermal synthesis [Текст] / Y. Shishkina, G. Baglyuk, A. Mamonova, I. Tihonova // International Scientific Journal «Machines. Technologies. Materials». – 2012. – Vol. 12. – P. 45-49. *Особистий внесок здобувача:* дослідження структури та фазового складу лігатури після термічного синтезу, аналіз мікроструктури, кривих ДТА та дифрактограм.
3. Баглюк, Г. А. Влияние углерода и алюминия на формирование структуры порошковой лигатуры системы Al-Ti-C в процессе реакционного синтеза [Текст] / Г.А. Баглюк, **Ю.А. Шишкина**, А.А. Мамонова, И.Б. Тихонова // Порошковая металлургия. – 2013. – № 3/4. – С. 48-56. *Особистий внесок здобувача:* визначення впливу вмісту компонентів шихти на фазовий склад та структуру лігатури системи Al-Ti-C після термічного синтезу.
4. Богачева А.Г. Получение и свойства дисперсно-упрочненных легких сплавов [Текст] / А.Г. Богачева, Г.А. Баглюк, **Ю.А. Шишкина** // Технологические системы. – 2013. – № 6 (64). – С. 23-38. *Особистий внесок здобувача:* аналіз сучасних тенденцій в отриманні алюмоматричних композиційних матеріалів.
5. **Шишкіна, Ю.О.** Вплив методу легування на структуру та механічні властивості гарячештампованих порошкових алюмоматричних композитів системи Al-Ti-C [Текст] / Ю.О. Шишкіна, Г.А. Баглюк, А.А. Мамонова, Д.Г. Вербіло // Порошкова металлургия. – 2015. – № 5/6. – С. 20-29. *Особистий внесок здобувача:* методом гарячого штампування з використанням синтезованих лігатур отримані алюмоматричні композиційні матеріали з карбідотитановою зміцнюючою фазою, досліджено їх структуру та вплив вмісту зміцнюючої фази на твердість на основні механічні властивості, в залежності від відсоткового вмісту лігатури у композиті та способу приготування шихти.
6. **Шишкина, Ю.А.** Влияние схемы деформации на структуру и свойства горячештампованных алюмоматричных композитов [Текст] / Ю.А. Шишкина, Г.А. Баглюк, В.С. Курихин, Д.Г. Вербило // Порошковая металлургия. – 2016. – № 1/2. – С. 9-17. *Особистий внесок здобувача:* досліджено особливості структури та механічних властивостей металоматричних композитів, отриманих гарячим штампуванням із заготовок конічної та циліндричної форми
7. Баглюк, Г. А. Вплив технологічної схеми виготовлення на характер анізотропії і пружні властивості гарячештампованих порошкових алюмоматричних композитів [Текст] / Г.А. Баглюк, Ю.Г. Безимьянний, А.Н.

- Колесніков, О.В. Талько, **Ю.О. Шишкіна** // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Луцьк, 2016. – Вип. 54. – С. 20-27. *Особистий внесок здобувача*: досліджено вплив попередньої обробки порошкових сумішей і схеми гарячого штампування спресованих порошкових заготовок на ступінь анізотропності матеріалу поковок, визначення характеристик пружності отриманих композитів та сформульовано висновки.
8. **Шишкіна, Ю.А.** Получение карбидосодержащей лигатуры системы Al-Ti-C методом термического синтеза [Текст] / Ю.О. Шишкіна, Г.А. Баглюк, А.А. Мамонова, М.Е. Головова, И.Б. Тихонова // Керамика: наука и жизнь. – 2016. – № 2 (31). – С. 52-65. *Особистий внесок здобувача*: проведення термодинамічного аналізу для встановлення умов синтезу карбідної фази у системі Al-Ti C, дослідження вплив вмісту компонентів шихти (Al, Ti та C) та температури синтезу на фазовий склад лігатури, що отримують, визначення оптимальної температури для синтезу карбиду титану в системі Al-Ti-C; обробка та аналіз результатів.
 9. **Shishkina, Yu.** Surface roughness evaluation of aluminum matrix composites after dry sliding wear tests [Текст] / Yu. Shishkina, G. Bagliuk // International Scientific Journal «Machines. Technologies. Materials». – 2016. – Vol № 6. – P. 7-10. *Особистий внесок здобувача*: дослідження трибологічних властивостей зразків, побудування графіків залежності зміни масового зносу та коефіцієнту тертя від прикладеного навантаження та швидкості випробувань, дослідження поверхні зразків після випробувань на тертя, визначення механізму зношування.

Матеріали конференцій:

10. **Шишкіна, Ю.А.** Особенности структурообразования при термическом синтезе порошковых лигатур системы Al-Ti-C [Текст] / Ю.А. Шишкіна // Тезиси доклада XVIII Международная конференция «Физика прочности и пластичности материалов». – Самара, Россия. – Июль 2-4, 2012. – С. 137. *Особистий внесок здобувача*: підготування зразків для термічного синтезу, аналіз мікроструктури та отриманих дифрактограм (заочна форма).
11. Баглюк, Г.А. Реакционный синтез и микроструктура лигатур системы Al-Ti-C [Текст] / **Ю.А. Шишкіна**, А.А. Мамонова, И.Б. Тихонова // Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні ресурсозбережні матеріали та зміцнювальні технології». – Маріуполь 2012. – Червень 6-8, 2012. – С. 44-45. *Особистий внесок здобувача*: оптимізація режимів синтезу, аналіз мікроструктур зразків з різним вмістом алюмінію та вуглецю після синтезу (заочна форма).
12. **Шишкіна, Ю.А.** Влияние содержания углерода на фазовый состав порошковых лигатур системы Al-Ti-C [Текст] / Ю.А. Шишкіна, Г.А. Баглюк, А.А. Мамонова, И.Б. Тихонова // Тезиси докладов «Порошковая металлургия: ее сегодня и завтра». – Киев. – Ноябрь 27-30, 2012. – С. 175.

- Особистий внесок здобувача:* встановлення впливу вмісту вуглецю у вихідній шихті на фазовий склад лігатури системи Al-Ti-C (очна форма).
13. **Шишкіна, Ю.А.** Реакционный синтез и микроструктура порошковых лигатур системы Al-Ti-C [Текст] / Ю.А. Шишкіна // IX Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физикохимия и технология неорганических материалов». – ИМЕТ РАН, Москва. – Октябрь 23-26, 2012. – С. 355-357. *Особистий внесок здобувача:* отримання лігатури системи Al-Ti-C, аналіз даних електронної мікроскопії та мікроспектрального аналізу (заочна форма).
 14. **Шишкіна, Ю.А.** Влияние температуры синтеза на фазовый состав лигатуры системы Al-Ti-C [Текст] / Ю.А. Шишкіна // Сборник материалов всероссийская молодежная научная конференция с международным участием «Инновации в материаловедении». – Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва. – Июнь 3-5, 2013. – С. 377. *Особистий внесок здобувача:* встановлення впливу температури синтезу на фазовий склад лігатури системи Al-Ti-C (заочна форма).
 15. Bagliuk, G. Structure formation at sintering of Al-Ti-C metal matrix composites [Текст] / G. Bagliuk, Yu. Shishkina // Euro PM2013 Congress & Exhibition. – Gothenburg, Sweden. – September 15-18, 2013. – С. 125-130. *Особистий внесок здобувача:* приготування зразків, дослідження особливостей їх структуроутворення (заочна форма).
 16. **Шишкіна, Ю.О.** Формування структури та властивостей порошкових алюмоматричних композитів в процесі гарячої гвинтової екструзії [Текст] / Ю.О. Шишкіна, В.С. Куріхін, П.В. Майстер, М.О. Плигань, Г.А. Баглюк // Тези доповідей загально університетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. – Київ. – 2014. – С. 76-77. *Особистий внесок здобувача:* підготування суміші вихідних порошків для отримання композитів, виготовлення шліфів, дослідження микроструктури (очна форма).
 17. Bagliuk, G. Hot forging of P/M metal matrix composites [Текст] / G. Bagliuk, V. Kurikhin, D. Goncharuk, **Yu. Shishkina** // Book of abstracts «Advanced forming technologies and nanostructured materials». – Poznan-Wasowo, Poland. – Vol. 2. – June 6, 2014. – P. 20-21. *Особистий внесок здобувача:* підготування суміші вихідних порошків для отримання композитів, дослідження основних фізико-механічних властивостей зразків (очна форма).
 18. Баглюк, Г.А. Влияние интенсивной пластической деформации на структуру и свойства порошковых алюмоматричных композитов [Текст] / Г.А. Баглюк, **Ю.А. Шишкіна**, В.С. Курихин // Материалы 11-й международной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка». – Минск, Беларусь. – Май 28-30, 2014. – С. 44-48. *Особистий внесок здобувача:* підготування суміші вихідних порошків для отримання композитів, аналіз розподілу твердості по

- перерізу заготовку після кожного з проходів після гвинтової екструзії, розрахунок залишкової поруватості (очна форма).
19. Bagliuk, G. Reaction sintering of Al-Ti-C system cermets [Текст] / G. Bagliuk, **Yu. Shishkina** // Book of abstracts «International conference on sintering 2014». – Dresden, Germany. – August 24-28, 2014. – P. 224-225. *Особистий внесок здобувача*: дослідження особливостей впливу вихідного складу порошку на здатність до утворення карбіду титану під час синтезу за обраною температурою (заочна форма).
 20. Баглюк, Г.А. Горячая штамповка алюмоматричных композиционных материалов [Текст] / Г.А. Баглюк, **Ю.А. Шишкина**, В.С. Курихин, М.Е. Головкова // XI International congress «Machines, technologies, materials». – Varna, Bulgaria. – September 17-20, 2014. – Vol №2. – P. 14-17. *Особистий внесок здобувача*: підготування суміші вихідних порошків для отримання композитів (очна форма).
 21. Bagliuk, G. The influence of severe plastic deformation on structure and properties of aluminum matrix composites [Текст] / G. Bagliuk, Yu. Shishkina // Euro PM2014 Congress & Exhibition. – Salzburg, Austria. – September 21-24, 2014. – С. 21-24. *Особистий внесок здобувача*: підготування суміші вихідних порошків для отримання композитів (заочна форма).
 22. **Шишкина, Ю.А.** Структура и свойства горячештампованных многокомпонентных композитов на основе алюминия [Текст] / Ю.А. Шишкина // XI Российская ежегодная конференция молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов». – ИМЕТ РАН, Москва. – Октябрь 16-19, 2014. – С. 98-100. *Особистий внесок здобувача*: підготування суміші вихідних порошків для отримання композитів, підготовка шліфів, дослідження їх структури та міцнісних характеристик (заочна форма).
 23. **Шишкіна Ю.О.** Формування структури та властивостей порошкових алюмоматричних композитів в процесі гарячої гвинтової екструзії [Текст] / Ю.О. Шишкіна, В.С. Куріхін, П.В. Майстер, М.О. Плигань, Г.А. Баглюк // Тези доповідей загально університетської науково-технічної конференції молодих вчених та студентів, присвяченої дню Науки. – Київ. – 2014. – С. 76-77. *Особистий внесок здобувача*: підготування суміші вихідних порошків для отримання композитів, підготовка шліфів, дослідження їх структури та міцнісних характеристик (очна форма).
 24. **Shishkina, Yu** Investigation of wear properties and corrosion behaviour of aluminium-based composites produced by hot forging [Текст] / Yu Shishkina, G. Baglyuk, D. Verbilo, S. Umerova, V. Kurikhin // WORLD PM2016 Congress & Exhibition. – Hamburg, Germany 9 - 13 October 2016. – Vol. 2. – P. 112-116. *Особистий внесок здобувача*: дослідження трибологічних властивостей зразків, побудування графіків залежності зміни масового зносу та коефіцієнту тертя від прикладеного навантаження та швидкості випробувань. Також автором досліджено корозійні властивості композитів, зміцнених карбідом титану та карбидовміщуючою лігатурою та композитів додатково легованих міддю і її сплавами (заочна форма).

25. Bagliuk, G.A. Character of anisotropy and elastic properties of hot-forged aluminum-matrix composites [Текст] / G.A. Bagliuk, Yu.G. Bezimyanniy, O.V. Talko, I.O. Teslenko, **Yu.A. Shishkina** // XIII International Congress «Machines. Technologies. Materials». – Varna, Bulgaria. – September 14-17, 2016. – Vol №2. – P. 8-12. *Особистий внесок здобувача*: досліджено вплив попередньої обробки порошкових сумішей і схеми гарячого штампування спресованих порошкових заготовок на ступінь анізотропності матеріалу поковок (очна форма).

Патенти

26. Пат. № 78370 Україна, МПК С22С 1/04, С22С 21/00. Спосіб одержання алюмоматричних композиційних матеріалів / Г.А. Баглюк, **Ю.О. Шишкіна**, заявник і патентовласник Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України – № u201212632; заявлено 05.11.2012; опубл. 11.03.2013, Бюл. № 5/2013.
27. Пат. № 94742 Україна, В22F 3/17. Спосіб отримання високощільних матеріалів методом гарячого штампування з використанням захисних капсул / В.С. Куріхін, А.Г. Богачова, **Ю.О. Шишкіна**, заявник і патентовласник Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України – № u201407070; заявлено 23.06.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. № 22/2014.
28. Пат. № 96239 Україна, МПК С22С 21/00, С22С 1/04. Спосіб отримання дисперсно-зміцнених алюмоматричних композиційних матеріалів методом гарячої штамповки / **Ю.О. Шишкіна**, В.С. Куріхін, А.Г. Богачова, заявник і патентовласник Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України – № u201408453; 24.07.2014; опубл. 26.01.2015, Бюл. № 2/2015.

АНОТАЦІЯ

Шишкіна Ю.О. Вдосконалення процесів отримання алюмоматричних композитів на основі системи Al-TiC методами термічного синтезу та гарячого штампування. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.06 «Порошкова металургія і композиційні матеріали» (13 Механічна інженерія). – Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ, 2018.

Робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі розробки та удосконалення технологічних процесів виготовлення алюмоматричних композитів функціонального призначення. У зв'язку з чим проведено аналізу впливу технологічних схем та режимів отримання матеріалів на особливості їх структуроутворення та основні фізико-механічні і експлуатаційні властивості.

В роботі на основі суміші порошків алюмінію, титану та вуглецю, отримані карбідовміщуючі лігатури та встановлено вплив компонентного

складу вихідної шихти на особливості структури та фазовий склад термічно синтезованої лігатури.

Розроблено технологічну схему виготовлення алюмоматричних композитів методом гарячого штампування, досліджено закономірності процесів їх структуроутворення в об'ємі консолідованих заготовок, фізико-механічні, триботехнічні властивості та корозійну стійкість.

Результати виконання комплексних теоретичних та експериментальних досліджень знайшли практичне застосування в технологічних процесах виготовлення ряду деталей автомобільного та авіаційного машинобудування, зокрема - поршня автомобільного компресора КПА-1, заготовки пера лопатки вентилятора авіаційного двигуна, тощо.

Ключові слова: лігатура, карбід титану, термічний синтез, алюмоматричний композиційний матеріал, гаряче штампування, міцність, твердість, зносостійкість, корозійна стійкість.

АННОТАЦІЯ

Шишкина Ю.А. Усовершенствование процессов получения алюмоматричных композитов на основе системы Al-TiC методами термического синтеза и горячей штамповки. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 «Порошковая металлургия и композиционные материалы» (13 Механическая инженерия). – Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, Киев, 2018.

Работа посвящена решению актуальной научно-технической задачи разработки и совершенствования технологических процессов изготовления алюмоматричных композитов функционального назначения. В связи с чем проведен анализ влияния технологических схем и режимов получения композитов на особенности их структурообразования, основные физико-механические и эксплуатационные свойства.

В работе на основе смеси порошков алюминия, титана и углерода методом термического синтеза, получены карбидосодержащие лигатуры. Показано, что при использовании шихты с стехиометрическим по отношению к титану содержанием углерода основной упрочняющей фазой является карбид титана, тогда как в образцах с минимальным содержанием графита (6 %) и высоким содержанием алюминия (40 %) преобладают розориентированные вытянутые игловидные зерна сложных алюминидов и сложных карбидов титана.

Разработана технологическая схема изготовления алюмоматричных композитов методом горячей штамповки, исследованы закономерности процессов их структурообразования в объеме консолидированных заготовок, физико-механические, триботехнические свойства и коррозионная стойкость. Показано, что с увеличением содержания лигатурной составляющей в исходной шихте как твердость, так и прочностные образцов монотонно растут, а показатели пластичности закономерно уменьшаются.

Результаты комплексных триботехнических испытаний горячештампованных алюмоматричных композитов показали, что наилучшие характеристики у композитов с 15% лигатуры с добавками 5,6% меди, обеспечивающие почти в 2 раза увеличение износостойкости при стабильном коэффициенте трения (0,3 - 0,45) по сравнению с композитами, матричная фаза которых медью не легирована.

Исследование коррозионной стойкости полученных материалов в 3,5% -ном растворе NaCl, показали, что их устойчивость против коррозии составляет 1 балл (абсолютно устойчивы), что существенно превышает коррозионную стойкость нелегированного алюминия и одного из наиболее широко используемых алюминиевых сплавов Д16.

Результаты комплексных теоретических и экспериментальных исследований нашли практическое применение в технологических процессах изготовления ряда деталей автомобильного и авиационного машиностроения, в частности - поршня автомобильного компрессора, заготовки пера лопатки вентилятора авиационного двигателя.

Ключевые слова: лигатура, карбид титана, термической синтез, алюмоматричный композиционный материал, горячая штамповка, прочность, твердость, износостойкость, коррозионная стойкость.

ABSTRACT

Shishkina Yu.O. Improvement of the processes of obtaining aluminum-based composites based on the Al-TiC system by the methods of thermal synthesis and hot forging. – The qualification scientific work presented as a manuscript.

The thesis for candidate degree of technical science on specialty 05.16.06 – «Powder metallurgy and composite materials» (13 Mechanical engineering). – Frantsevich Institute for Problems of Materials Sciences, NAS of Ukraine, Kyiv, 2018

The work is devoted to the solution of the actual scientific and technical problem of development and improvement of technological processes for the production of aluminum composites of functional purpose. The analysis of the influence of technological schemes and modes of obtaining materials on the peculiarities of their structure formation and basic physical, mechanical and operational properties have been carried out.

The presence of TiC and titanium-aluminum complex carbides (ternary carbides) were determined after thermal synthesis. The predominant strengthening phase in specimens with high carbon content (10 ÷ 13%) is titanium carbide, in samples with minimal carbon content (6%) and relatively high aluminum content (40%) in the structure of the synthesized material predominant disordered elongated needle-like grains of complex ternary titanium-aluminum carbides.

A technological scheme for the production of aluminum matrix composites by the method of hot forging is developed, the regularities of the processes of their structure formation in the volume of consolidated billets, physical and mechanical properties, tribotechnical properties and corrosion resistance have been

investigated. It is shown that with increasing content of the master alloy component in the material, both hardness and strength characteristics of the specimens increase monotonously, and the parameters of plasticity naturally decrease.

The results of complex tribotechnical tests of hot forged aluminium composites showed that the best characteristics are composites of 15% carbide-titanium master alloy with 5 to 6% copper additives, which provide almost 2 times the wear resistance at a stable friction coefficient (0,3 ÷ 0,45) in comparison with composites, the matrix phase of which copper is not doped. Investigation of the corrosion resistance of the obtained materials in a 3.5% solution of NaCl showed that their corrosion resistance is 1 point (absolutely stable), which significantly exceeds the corrosion resistance of aluminum and one of the most widely used aluminum alloys 1160.

The results of complex theoretical and experimental researches were found to be practical application in the technological processes of manufacturing a number of parts of automotive and aviation engineering, in particular - the piston of the automotive compressor, the work of the blade of the fan of the aircraft engine.

Key words: master alloy, titanium carbide, thermal synthesis, composite, hot forging, strength, hardness, wear resistance, corrosion resistance.

Підписано до друку 31.01.2018 Формат 60×90 1/16.

Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.

Ум.друк.арк. 1,75. Наклад 100 прим. Зам. № ДЖ-215 від 01.02.2018

Друк ТОВ "ДІДЖІТАЛ ДРІМС"

03142, Київ, бул. Вернадського, 67, оф. 40, тел.: (044) 456-13-81