

КОМПАКТУВАННЯ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ Fe–Al

**професор Степанчук А.М., магістрант Клеков А.О.,
аспірант Смик В.Г., магістрант Шум Л.Б.**

Національний технічний університет України, "КПІ"

030056, Київ-56, пр-кт Перемоги, 39; Тел.(044)454-91-54; E-mail: astepanchuk@iff.kpi.ua

Викладені результати дослідження процесів пресування та спікання порошкових матеріалів із композицій Fe–Al з вмістом алюмінію 10, 20 та 30 об. %. Вивчено вплив складу композицій, тиску пресування та умов спікання на характеристики кінцевих виробів. Для пояснення процесів, які відбуваються при компактуванні вихідних сумішей порошків заліза та алюмінію досліджені процеси взаємодії між залізом та розплавом алюмінію. Встановлено, що процеси взаємодії є відповідальними за формування структури та властивостей кінцевих виробів.

Вступ. Сучасний стан виробництва порошкових виробів в Україні на сьогоднішній день знаходиться на етапі пошуку та створення нових матеріалів для оптимізації та покращення вже існуючих приладів та устаткування.

Тепер актуальним є створення нових матеріалу для виготовлення фрикційних вставок, що використовуються в гальмівних колодках вагоні потягів. рухомого транспорту. Відомо, що при гальмуванні кінетична енергія потягу перетворюється в теплову, що в свою чергу спричиняє руйнування колодок та колес. Основною причиною їх руйнування є виникнення термічних тріщин, що виникають у наслідок теплового удару. Для запобігання подібного ефекту використовують вставки, що наразі виготовляють з чавуну. Однак у цьому відношенні чавун має ряд недоліків як з екологічної точки зору, так і з функціональної.

Виходячи з викладеного вище створення нового альтернативного матеріалу для вставок є досить актуальною задачею. Однією з вимог до такого матеріалу є наявність високої теплопровідності, яка б забезпечувала достатній відвід тепла з зони контакту колодка–колесо. У цьому відношенні перспективними матеріалами триботехнічного призначення можуть бути порошкові матеріали на основі композицій Fe–Al [1,2]. В таких матеріалах залізо виступає основним компонентом, який має забезпечити достатню міцність. Алюміній, який має високу теплопровідність, має забезпечити композиції достатню теплопровідність.

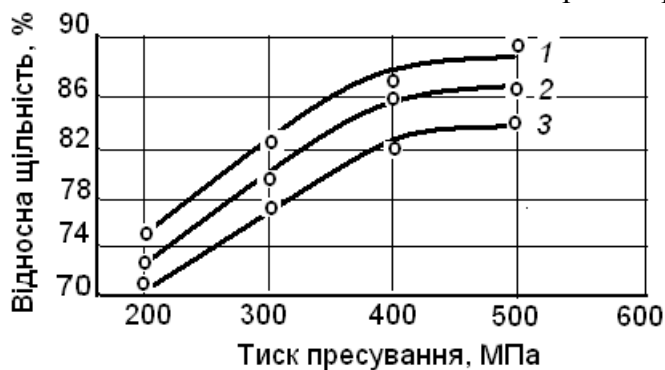
У зв'язку з тим, що такі матеріали виготовляються методами порошкової металургії актуальним є розробка оптимальних умов отримання виробів з них.

Постановка задачі досліджень. Задачею роботи є визначення оптимальних умов виготовлення виробів з композицій Fe–Al. Дослідити процес пресування порошкових сумішей з заліза та алюмінію та спікання пресовок з них.

Результати дослідження та їх обговорення. В роботі досліджувались процеси компактування порошкових композицій з вмістом алюмінію в них 10, 20 та 30 об. %.

При дослідженні процесу пресування вивчалась залежність щільності пресовок від тиску пресування та складу вихідної шихти. Пресування проводили на гідравлічному пресі при тисках пресування 200, 300, 400 і 500 МПа за схемою однобічного пресування. Отримані результати наведені на рисунку 1 з якого видно, що щільність пресовок спресованих з шихт з різним вмістом алюмінію монотонно збільшується зі збільшенням тиску пресування. Такий характер залежності щільності від тиску пресування є характерним для ущільнення пластичних матеріалів [3]. Переважний вплив пластичної деформації на формування кінцевої

щільності досліджуваних матеріалів підтверджується тим, що зі збільшенням в суміші кількості більш пластичного алюмінію сприяє отриманню більш високої щільності.



- 1 – Fe + 30 об.% Al;
2 – Fe + 20 об.% Al;
3 – Fe + 10 об.% Al

Рис. 1. Залежність щільності пресовок з суміші порошків Fe – Al від тиску пресування

В роботі була проведена обробка отриманих результатів з метою застосування для аналітичного опису процесу ущільнення досліджуваних матеріалів відомих рівнянь пресування [4]. Виходячи з того, що в основі ущільнення матеріалів лежить пластична деформація для аналітичного опису процесу пресування було застосоване рівняння М.Ю. Бальшина $\lg p = -L(\beta - 1) + \lg p_{\max}$ [5]. Для визначення сталих рівняння застосовували графічний метод. Для нашого випадку для опису залежностей 1,2,3 (рис.1) можна проводити за допомогою рівнянь: $\lg p = -1,64(\beta - 1) + 1,00$, $\lg p = -1,69(\beta - 1) + 0,95$, $\lg p = -1,98(\beta - 1) + 0,94$ відповідно, які можуть бути використані для визначення оптимальних умов пресування композицій Fe–Al (10, 20, 30 об.% відповідно) з заданою щільністю.

Аналіз отриманих результатів дослідження процесу пресування дозволив встановити оптимальний тиск пресування досліджених композицій, який слід приймати у межах 450–550 МПа.

З використанням цього тиску були отримані пресовки на яких досліджувався процес спікання матеріалів. Вивчався вплив температури та часу спікання. Спікання проводили за температур 700 °С, 750 °С, 800 °С з ізотермічною витримками в 15 хвилин і за температури 1100 °С при витримці 1 год.

Після спікання у всіх випадках зразки збільшили свої розміри, втратили свою форму та міцність (рис. 2). При цьому ступінь зростання їх розмірів та крихкість збільшувалась при збільшенні в матеріалі вмісту алюмінію.



- 1 – до спікання;
2 – після першого спікання;
3 – після другого спікання

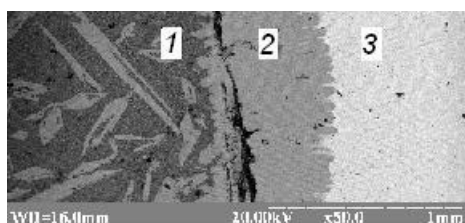
Рис. 2. Спечені при 1100 °С зразки 80 об.% Fe + 20 об.% Al

Отримані результати можна пояснити наступним. Як відомо [6], зростання розмірів виробів та їх руйнування можливе при спіканні багатокомпонентних порошкових виробів тоді, коли складові взаємодіють між собою з утворенням, у першу чергу біля міжчастинкових контактів, інтерметалідів об'єм яких більший ніж питомий об'єм вихідних складових. У цьому випадку утворення нових фаз буде супроводжуватись зростанням їх об'єму, наслідком чого буде зростання розмірів виробу та зменшення його міцності за рахунок розриву контактів між частинками порошку з яких спресований виріб. Саме ці процеси могли відбуватись при спіканні наших матеріалів.

Аналіз діаграми стану Fe–Al [7] показує, що в цій системі дійсно можуть утворюватись інтерметаліди, склад яких залежить від складу вихідних матеріалів та температури. Це інтерметаліди Fe₃Al, FeAl, Al₃Fe, об'єм яких (\AA^3), як показали наші розрахунки значно більший ніж у заліза і алюмінію: – Fe₃Al – 194,1; Al – 95,34; α - Fe – 23,54.

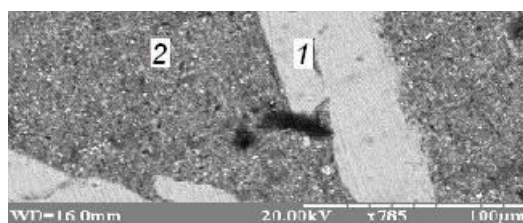
Для в'яснення можливості утворення цих інтерметалідів у нашому випадку були проведені модельні дослідження взаємодії заліза з алюмінієм за різних температур та часу взаємодії. Результатами металографічних досліджень на растровому електронному мікроскопі-мікроаналізаторі Selmi РЕМ 106, рентгенофазового аналізу проведеного на установці РЕГАКУ, мікродюретричного аналізу на мікротвердомірі ПМТ-3 було встановлено наступне.

Мікроскопічним аналізом встановлено, що при взаємодії заліза з алюмінієм, який за температур дослідів знаходився у рідкому стані, відбувається утворення нових фаз. Зі сторони заліза утворюється суцільний прошарок сірої фази (рис. 3, 2). При цьому товщина прошарку збільшується зі збільшенням температури та часу взаємодії. Структура сплаву з боку алюмінію двофазна (рис. 3, 1, рис. 4). На фоні сірої фази розміщена світла фаза голчастої структури. Кількість останньої збільшується зі збільшення температури і часу взаємодії.



1 – Al–29,45; Fe – 70,51; Si – 0,04
2 – Al–23,82; Fe – 75,97; Si – 0,21
3 – Al– 0,01; Fe – 99,61; Si – 0,38

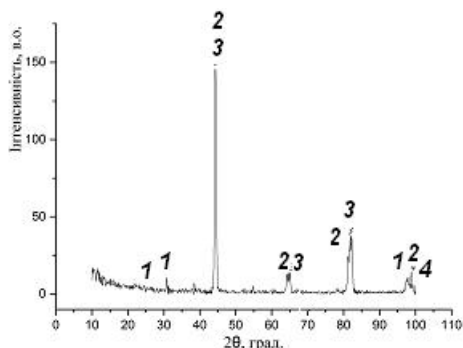
Рис. 3. Структура зони взаємодії та вміст елементів у фазових складових (%) після взаємодії Al–Fe при 900°C, 15 хвилин



1 – Fe₃Al; 2 – FeAl₃

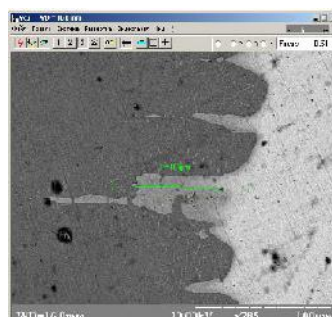
Рис. 4. Центр зразка після взаємодії при 900°C з витримкою 15 хвилин

Таким чином можна стверджувати, що при взаємодії заліза з алюмінієм мають місце гетеродифузійні процеси – алюміній дифундує в залізо а залізо розчиняється розплавленому алюмінії з наступним утворенням інтерметалідів і їх кристалізацією у вигляді голчастих кристалів. Останнє узгоджується з результатами проведених нами рентгенофазових досліджень (рис. 5), результатами визначення елементного складу фазових складових та розподілу елементів на межі фаз за допомогою растрового мікроаналізатора (рис. 6). Отримані результати дозволяють ідентифікувати нові фазові утворення при взаємодії заліза та алюмінію як інтерметаліди різного складу – Fe₃Al, FeAl, FeAl₃.



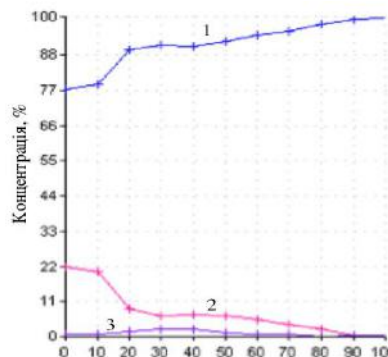
1 – Fe₃Al; 2 – Fe; 3 – Al; 4 – невідомо

Рис. 5. Рентгенограма спеченого зразка при 1100°C



1 – Fe; 2 – Al; 3 – Si

Рис. 6. Зміна вмісту хімічних елементів зразка 900°C з витримкою 15 хвилин



Таким чином, проведені нами дослідження підтверджують зроблені нами пояснення причин збільшення розмірів зразків і їх руйнування. У нашому випадку цими причинами є взаємодія заліза з алюмінієм з утворенням інтерметалідів Fe_3Al , FeAl , FeAl_3 , які мають більший питомий об'єм і приводять до виникнення тиску кристалізації.

Для вияснення можливості отримання щільних виробів з наших композицій нами були проведені попередні дослідження подвійного спікання. Для цього після першого спікання за температури 1100°C протягом 30 хв. зразки подрібнювали. З отриманого порошку пресували зразки які спікали за температури 1200°C протягом 1 год. Зразки зберегли форму, мали металевий блиск і відносно високу щільність (рис. 2).

Результати отримані при дослідженні повторного пресування та спікання підтверджують існуючі уявлення про отримання щільних виробів із композицій, які складаються із компонентів, які утворюють при спіканні інтерметаліди. Після повторного спікання, проведеного в нашій роботі, зразки мають незначну від'ємну усадку і значну міцність. Наявність незначної від'ємної усадки може бути пояснена тим, що за умов першого спікання вихідні компоненти провзаємодіяли не повністю і при другому спіканні продовжували відбувались процеси утворення нових інтерметалідних фаз з більшим об'ємом.

ВИСНОВКИ

Досліджені процеси пресування порошкових сумішей з заліза та алюмінію. Показано, в основі процесів ущільнення лежить пластична деформація компонентів вихідної шихти.

Досліджені процеси спікання пресовок з порошкових сумішей заліза та алюмінію та модельні процеси взаємодії між ними. Показано, що при спіканні відбувається взаємодія заліза та алюмінію з утворенням інтерметалідів Fe_3Al , FeAl , FeAl_3 з більшим питомим об'ємом ніж у вихідних компонентів, що є причиною руйнування зразків при першому спіканні. Повторне спікання зразків отриманих пресуванням подрібненого матеріалу після першого спікання сприяє отриманню їх з відносно високою міцністю та щільністю.

Метою подальших досліджень може бути оптимізація умов першого та другого спікання порошкових пресовок або інших методів компактування, які б сприяли отриманню виробів з високою щільністю із композицій на основі заліза та алюмінію.

ЛІТЕРАТУРА

1. Tomida S. Fe-Al composite layers on aluminum alloy formed by laser surface alloy iron powder / S. Tomida, K. Nakata // Surface and Coatings Technology. – 2003. – Vol.174 – 175, №1. – P.559 – 563.
2. Русин Н.М. Высокоплотный спеченный сплав Al–12,5 ат.% Fe. /И.М.Русин, А.П. Савицкий //Порошковая металлургия, 1993. – №11/12. – С. 44–47.
3. Либенсон Г.А. Производство спеченных изделий / Г. А. Либенсон . – М. : Металлургия, 1982. – 256 с.
4. Штерн М.Б. Феномонологические теории прессования порошков / М.Б. Штерн, Г.Г. Сердюк, Л.А. Максименко и др. – К.: Наук. думка, 1982. – 1430 с.
5. Степанчук А.М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів. – К.: Цент учбової літератури, 2016. – 336 с.
6. Скороход В.В. Физико–металлургические основы спекания порошков. / В.В. Скороход, С.М. Солонин. – М.: Металлургия, 1984. – 159 с.
7. Хансен М. Структура двойных сплавов: В двух т. – М.: Металлургиздат, 1962. – Т 1,2. – 1487 с.