

# ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ СПІКАННЯ НА МІКРОСТРУКТУРУ МАТЕРІАЛУ ВИГОТОВЛЕНОГО ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ІНЖЕКЦІЙНОГО ЛИТТЯ ПОРОШКУ

Казенне науково-виробниче об'єднання «Форт» МВС України

## Анотація

Встановлено залежність хімічної однорідності мікроструктури спечених зразків від таких параметрів спікання як: швидкість нагріву та час витримки при максимальній температурі. Знайдено, що найбільший вплив на гомогенність мікроструктури матеріалу має швидкість нагріву зразків в діапазоні температур від 900°C до 1270°C.

**Ключові слова:** Інжекційне лиття порошку, гомогенність мікроструктури, спікання.

## Abstract

It was found that such sintering parameters as heating rate and hold time at maximum temperature have a strong influence on the homogeneity of the microstructure of sintering testing samples. It was stated, that the maximum influence on the homogeneity has a heating rate in diapason from 900 °C to 1270°C of sintering temperature.

**Keywords:** Powder injection molding, homogeneity of microstructure, sintering.

## Вступ

Інжекційне лиття порошку (ІЛП) є новою та перспективною технологією виготовлення конструкційних деталей складної геометрії у великій кількості. Технологія ІЛП дозволяє знизити вартість деталей завдяки малій кількості технологічних операцій та виготовляти деталі високої якості з різноманітних видів матеріалів. Дана технологія складається з чотирьох головних етапів, а саме: приготування суміші порошку та полімеру; інжекційне лиття деталей; видалення зв'язувальної речовини (дебайдинг); спікання [1].

Існує три основних методи легування сплавів для інжекційного лиття порошків (ІЛП): по елементне легування (elemental); готовий сплав (prealloy); сплави лігатур (master alloy). В технології ІЛП вибір порошків тісно пов'язаний з методами легування. Порошок може мати точний потрібний хімічний склад або являти собою суміш різних хімічних елементів та сплавів. В останньому випадку порошки легуючих елементів змішуються з основним компонентом (наприклад карбонільне залізо) для отримання необхідного стехіометричного складу матеріалу [2],[3].

Метою роботи є визначення впливу параметрів спікання на гомогенність мікроструктури готових виробів. Вибір оптимальних технологічних параметрів, які забезпечують найкращі механічні властивості матеріалу.

## Результати дослідження

Для виготовлення тестових зразків по технології ІЛП було використано матеріал “Catamold 8740”, виробництво “BASF”, Німеччина.

Хімічний склад матеріалу представлений у таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад матеріалу “Catamold 8740”

C, %	Cr, %	Mo, %	Ni, %	Si, %	Fe %
0.45-0.55	0.4-0.6	0.25-0.40	0.50-0.80	0.3-0.55	Баланс

Тестові відливки були виготовлені на термопласт-автоматі Engel, Power 250/50 з модифікованим інжекційним циліндром призначеним для роботи з сумішами ІЛП.

Операція каталітичного видалення зв'язувальної речовини була проведена на обладнанні фірми ELNIK, США; під CD3045. Для первинного видалення пластифікатору (поліацеталь) згідно компанії BASF використовуються пари азотної кислоти (HNO<sub>3</sub> >98%) при температурі 110 °C.

Операція спікання була проведена на обладнанні фірми ELNIK, США; піч горизонтальна – вакуумна МІМ3045. Тестові зразки матеріалу спечені при різних параметрах спікання:

1. Температура спікання 1270°C; швидкість нагріву 2°C/хв.; час витримки – 30хв.
2. Температура спікання 1270°C; швидкість нагріву 5°C/хв.; час витримки – 30хв.
3. Температура спікання 1270°C; швидкість нагріву 5°C/хв.; час витримки – 120 хв.

У зв'язку з тим, що матеріал “Catamold 8740” представляє собою суміш лігатур (сплавів з високим вмістом легуючих елементів) та карбонільного заліза, основною проблемою під час спікання матеріалу є отримання гомогенної мікроструктури. На рис. 1 показано мікроструктуру матеріалу при різних швидкостях нагріву.

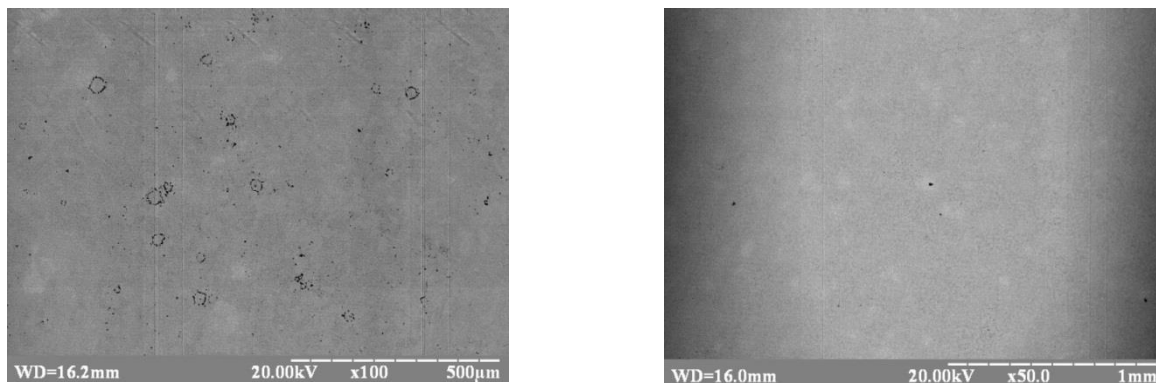


Рис. 1. Мікроструктура матеріалу Catamold 8740 спеченого при температурі 1270°C з витримкою 30 хв., швидкість нагріву 2°C/хв. (зліва) та 5°C/хв. (зправа).

Як можна наглядно побачити з рис. 1, підвищення швидкості нагріву забезпечує більш гомогенну мікроструктуру завдяки зростанню швидкості дифузії легувальних елементів у залізну матрицю. Таке явище пояснюється тим, що висока швидкість нагріву стримує поверхневу дифузію на ранньому етапі спікання, що спонукає до збільшення об'ємної дифузії атомів легуючих елементів при високих температурах. Також, як показали дослідження, збільшення швидкості нагріву призводить до зменшення величини зерна спеченого матеріалу.

#### Висновки

Встановлено, що швидкість нагріву в діапазоні температур від 900°C до 1270°C має сильний вплив на гомогенність мікроструктури. Збільшення швидкості нагріву з 2°C/хв. до 5°C/хв. покращує однорідність порошкового матеріалу завдяки стримуванню усідання системи при низьких температурах. Таким чином сприяє збільшенню об'єму дифузії атомів легуючих елементів при більш високих температурах спікання (1270°C).

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Donald F.Heaney, “Handbook of metal injection molding” WOODHEAD PUBLISHING, (2012).
2. Randall M. German, “Injection Molding of Metals and Ceramics”, Metal Powder Industry (June 1, 1997).
3. Randall M. German, “Sintering: From Empirical Observations to Scientific Principles”, Butterworth-Heinemann; 1 edition (2014).

*Завадюк Сергій Вікторович* — Начальник цеху на підприємстві КНВО “ФОРТ”, м.Вінниця, e-mail: [zavasergey777@gmail.com](mailto:zavasergey777@gmail.com).

*Zavadiuk Serhii V.* — Head of the shop at the enterprise SIA “FORT”, Vinnitsa, e-mail: [zavasergey777@gmail.com](mailto:zavasergey777@gmail.com).