

**Степанчук А.М., Гришкевич Т.Є.**

*(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)*

## **ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ПОРИСТОСТІ ВИСОКОПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ З ПОРОШКІВ НІКЕЛЮ**

**ПРИ ЇХ ВІЛЬНОМУ СПІКАННІ**

**E-mail: [astepanchuk@iff.kpi.ua](mailto:astepanchuk@iff.kpi.ua)**

Високопористі порошкові матеріали знаходять застосування в різноманітних галузях науки і техніки: в медицині, металургії, будівництві, машинобудуванні, хімічній та інших в якості електродів паливних комірок, акумуляторів, випарників, фільтрів, заміників кісткової тканини та інше [1]– [2].

Однією з вимог, що пред'являються до таких виробів, є наявність високої пористості (іноді до 80%) при збереженні характеристик міцності. Тому вирішення цих проблем є досить актуальною задачею. Згадані властивості пористих матеріалів багато у чому залежать від властивостей вихідних матеріалів та умов їх компактування з використанням методів порошкової металургії. При цьому для отримання пористих виробів можна використовувати практично всі методи формування та спікання порошків [3].

Відомо про отримання високопористих матеріалів методом статичного пресування з використанням наповнювачів та наступним спіканням [4].

Максимальні значення пористості матеріалів складали до 60%. При цьому вона не завжди була розподілена рівномірно.

В даній роботі вивчався процес отримання пористих матеріалів методом спікання вільно насипаного (та ущільненого вібрацією) карбонільного порошку нікелю (табл. 1) та сумішей порошку нікелю з пороутворювачами – карбамідом, полівініловим спиртом та парафіном.

Чистий порошок нікелю та його суміші з карбамідом, ПВС та парафіном засипали у керамічну форму з високотемпературного цементу та ущільнювали вібрацією до постійного об'єму. Спікання проводили разом з формою в муфельній печі в середовищі водню протягом 40 хвилин за різних температур. Визначалась усадка при спіканні, пористість і структура отриманих матеріалів залежно від складу вихідної шихти і температури спікання. Отримані результати наведені на рис. 1 – 2.

Як видно з рис. 1, усадка при спіканні збільшується зі збільшенням температури спікання, що узгоджується з існуючими уявленнями про процеси спікання порошкових матеріалів [5]. Згідно з цими уявленнями, збільшення температури прискорює процеси масоперенесення за рахунок дифузійних процесів, які є термічно активованими. Як наслі-

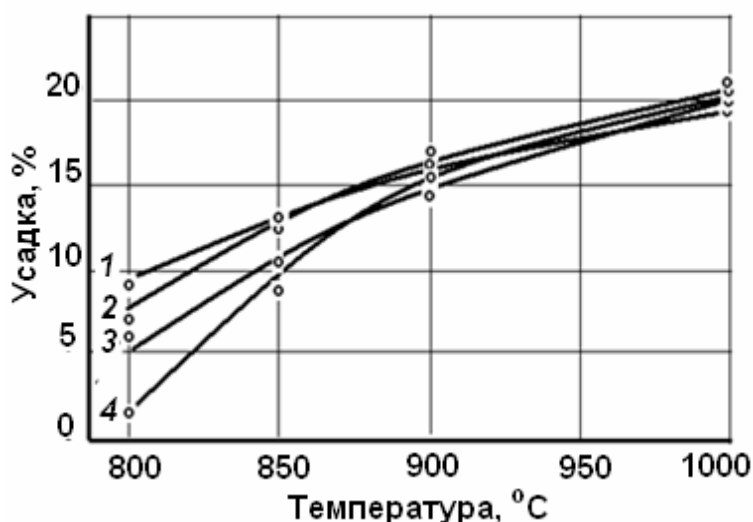
док збільшується усадка при спіканні, при чому основними діючими механізмами при спіканні порошків нікелю є об'ємна самодифузія та дифузійна в'язка течія.

Таблиця 1. Характеристики вихідних порошків нікелю

Порошок	Середній розмір частинок, мкм	Насипна щільність, г/см <sup>3</sup>	Щільність утруски, г/см <sup>3</sup>	Початкова відносна насипна щільність, %	Початкова відносна щільність утруски, %	Пористість вільної насипки порошку, %	Пористість утруски порошку, %
Нікель карбонільний	6,4	1,48	2,09	16,63	23,48	83,37	76,63

Різницю у величині усадки при спіканні чистого порошку нікелю та сумішей порошку нікелю з різними пороутворювачами можна пояснити тим, що наявність пороутворювача зменшує контактну поверхню між частинками порошку нікелю і тим самим призводить до зменшення усадки, особливо при спіканні за низьких температур.

Різна величина усадки зразків з різними пороутворювачами у випадку спікання за температур 800...900 °С може бути зумовлена різною термостійкістю (температурою розкладання) пороутворювача. Чим вища температура його видалення, тим довше пороутворювач роз'єднує частинки порошку нікелю і тим менше усадка при спіканні такого матеріалу.



1 – без пороутворювача; 2 – парафін; 3 – ПВС; 4 – карбамід

Рис. 1. Залежність усадки при спіканні від складу вихідної шихти та температури

Отримані в роботі результати узгоджуються з викладеними міркуваннями. Так, температура видалення використаних у роботі пороутворювачів збільшується в напрямку від парафіну (150 °С), ПВС (330 °С) до карбаміду (370 °С). У цьому ж напрямку, при інших рівних умовах, зменшується усадка при спіканні (рис. 1). У випадку спікання за тем-

XI Міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2019  
ператур вищих за 900 °С закономірності спікання суміші в основному зумовлюються закономірностями спікання чистого нікелю.

Вивчення структури отриманих матеріалів показало, що вона також залежить від вихідного складу матеріалу та умов спікання (рис. 2). Після спікання чистого порошку нікелю без додавання пороутворювачів пористість матеріалу найменша і зменшується зі збільшенням температури спікання від 60 до 43%. Структура матеріалу відносно рівномірна.

При додаванні до вихідного порошку нікелю пороутворювачів пористість спечених матеріалів збільшується і змінюється у межах від 55 до 75%, зменшуючись при збільшенні температури спікання. При цьому найбільші її значення мають матеріали з додаванням парафіну як пороутворювача, для яких пористість змінюється від 76 до 68% при збільшенні температури спікання від 800 до 1000 °С (рис. 2). Отримані результати узгоджуються з викладеними вище результатами про вивчення усадки при спіканні досліджуваних матеріалів та уявленнями про спікання порошкових матеріалів.

Матеріали з додаванням пороутворювачів мають досить неоднорідну структуру, в якій пори мають різний розмір. При цьому неоднорідність розподілу пор по розміру збільшується зі збільшенням температури спікання. При підвищенні температури спікання в матеріалі збільшується також дисперсія по розміру пор. Кількість пор з малим розміром зменшується а з великим розміром – збільшується. Нерівномірність розподілу пор по розмірам в матеріалах з використанням пороутворювачів зумовлена складністю отримання вихідної суміші з їх рівномірним розподілом, що і сприяє при видаленні пороутворювачів утворення матеріалу з нерівномірною структурою.

Збільшення нерівномірності розподілу пор за розміром зі збільшенням температури спікання зумовлено, вірогідно, локалізацією усадки при спіканні, яка має місце при спіканні порошкових пресовок, в яких має місце нерівномірний розподіл щільності по об'єму за причин вказаних вище. Збільшення нерівномірності розподілу пор за розміром зі збільшенням температури спікання зумовлено, вірогідно, тим, що усадка при спіканні відбувається в межах не однієї, а багатьох зон.

Як показано в роботі [6], причиною локалізації усадки при спіканні є першочергове спікання (припікання) частинок в об'ємах, де існує більш якісний контакт між ними. Тому першочергово усадка відбувається в цих об'ємах з розривом контактів між частинками в місцях з гіршим контактом і, тим самим, утворенням більших пор по розмірам (рис. 3, б).

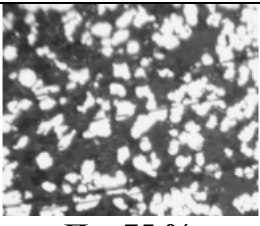
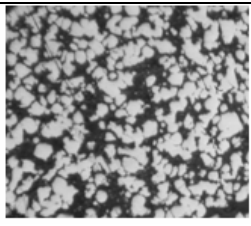
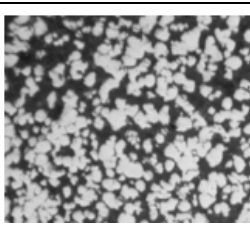
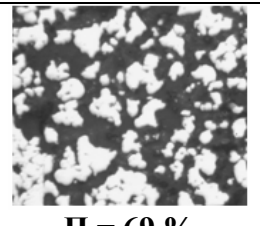
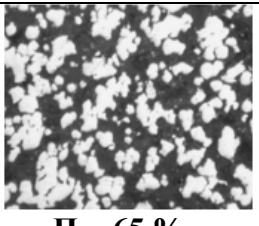
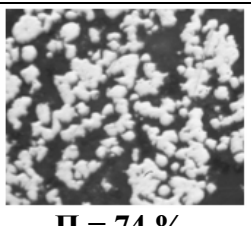
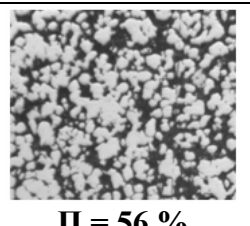
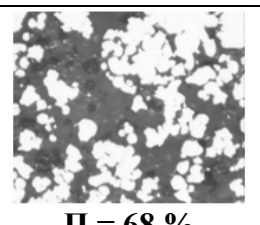
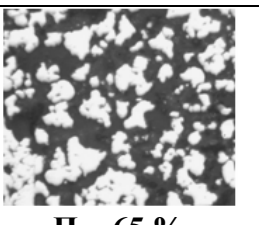
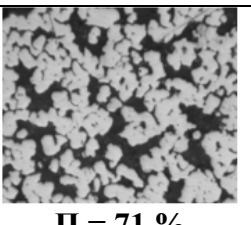
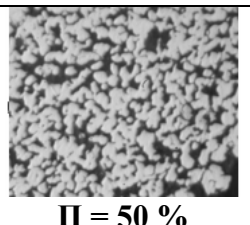
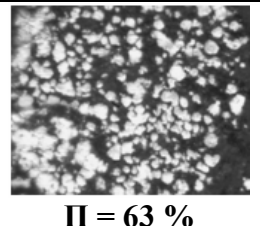
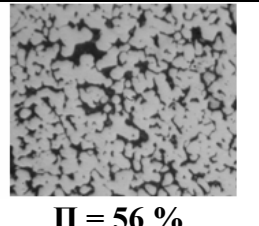
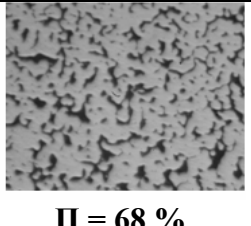
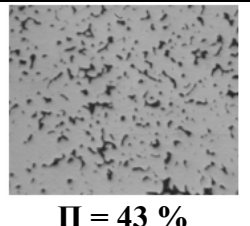
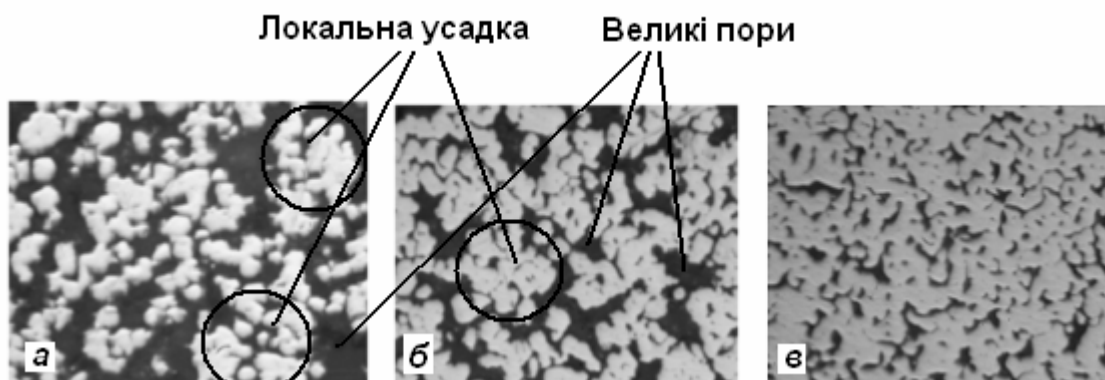
Температура	Пороутворювач			
	Карбамід	ПВС	Парафін	Чистий Ні
800 °C	 П = 75 %	– П = 70 %	 П = 76 %	 П = 60 %
850 °C	 П = 69 %	 П = 65 %	 П = 74 %	 П = 56 %
900 °C	 П = 68 %	 П = 65 %	 П = 71 %	 П = 50 %
1000°C	 П = 63 %	 П = 56 %	 П = 68 %	 П = 43 %

Рис. 2. Мікроструктура та пористість спечених матеріалів з вільно насипаних порошків карбонільного нікелю з додаванням пороутворювачів та без них



*a* – 850 °C; *б* – 900 °C; *в* – 1000 °C

Рис. 3. Локалізація усадки при спіканні за різних температур (°C) вільно насипаних та ущільнених вібрацією порошків нікелю з пороутворювачами

Аналіз отриманих в роботі результатів дозволяє зробити висновок, що методом спікання вільно насипаних та віброущільнених порошків з наступним спіканням можливо отримати високопористі матеріали з пористістю 65...75%. Але пористість в матеріалі розподілена не рівномірно за рахунок явища уособлення усадки при спіканні за рахунок нерівномірного розподілення пористості і у вихідних заготовках. У подальшому необхідно проводити дослідження умов отримання високопористих матеріалів з рівномірно розподіленою пористістю. У цьому відношенні перспективними методами можуть бути спікання вихідних заготовок екструзією та шлікерним литвом.

#### Література:

1. Liu P.S. Application of Porous Metals / P.S. Liu, G.F. Chen // Porous Materials. – Elsevier, 2014. – P. 113 – 188.
2. Тумилович М. В. Пористые порошковые материалы и изделия на их основе для защиты здоровья человека и охраны окружающей среды: получение, свойства, применение / М.В. Тумилович. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 365 с.
3. Косторнов А.Г. Материаловедение дисперсных и пористых металлов и сплавов. В двух томах. Том 2. /А.Г. Косторнов. – К.: Наук. думка, 2003. – 550 с.
4. Руденко Н.А. Получение и свойства высокопористых материалов на основе порошка железа / Н.А. Руденко, А.М. Лаптев // Производство изделий из порошковых материалов. – Харьков : Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, 2009. – № 5. – С. 23 –25.
5. Скороход В.В. Физико-металлургические основы спекания порошков. /В.В. Скороход, С.М. Солонин. – М.: Metallurgia, 1984. – 159 с.
6. Андриевский Р.А. О зональном обособлении при спекании ультрадисперсного никелевого порошка / Р.А. Андриевский, С.Э. Зеер // Порошковая металлургия. – К., 1985. – № 7. – С. 39 – 42.

**Талімонова Н.Л., Чайковський П.О.**

*(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)*

### **ТЕХНОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ ТИСНЕННЯ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ МЕТАЛЕВИМИ ШТАМПАМИ**

**E-mail:** malkoosh\_kpi@ukr.net

Ефектним видом оздоблення поліграфічної продукції є тиснення з нанесенням покриття чи без нього. Такий вид обробки застосовується при виготовленні палітурних кришок, вітальних листівок, візитівок, папок, пакування і т.д. [1]. Для поліграфічного оформлення використовують наступні способи тиснення: сліпе блінтове, плоске тиснення фольгою, конгревне без нанесення фольги, конгревне з фольгою.