УДК 620.18: 621.669.15: 621.762

Повстяной О.Ю., канд.техн.наук., доцент
Луцький національний технічний університет, povstjanoj@ukr.net

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРИСТИХ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Як свідчить вітчизняний та світовий досвід останніх десятиріч, успіх розв‘язання проблеми створення нових та вдосконалення існуючих методів отримання пористих порошкових матеріалів вимірюється якістю та ступенем прогнозування процесів та явищ, які супроводжують технології їх отримання [1, 2]. Втім, прогнозування, оптимізація та моделювання в порошковій металургії потребують подальшого вдосконалення теоретичних уявлень та їх втілення у вигляді якісних методів та алгоритмів, які реалізуються за допомогою сучасних комп’ютерно-інформаційних технологій.

Прогнозування закономірностей формування структури та властивостей матеріалів залежать, насамперед, від геометричних факторів часток порошку.

Існує новий спосіб [3], який полягає у застосуванні програмного забезпечення, що реалізує відповідні фізичні моделі, і використовує програмне забезпечення для розробки моделі. Наприклад, в Abaqus, набір порожніх сфер може бути створений, або у вигляді пружних тіл, або більш просто в якості жорстких поверхонь, з відповідними точками контакту. Вони можуть бути змодельовані при падінні у визначений простір-контейнер. Фізика контакту і маси при гравітаційного навантаження забезпечується так, щоб сфери упаковки були реалістичними.

У зв'язку з тим, що початковою стадією технології порошкової металургії є насипка – упаковка з досить низькою густиною, важливим є моделювання нещільної упаковки сферичних часток (рис.1).

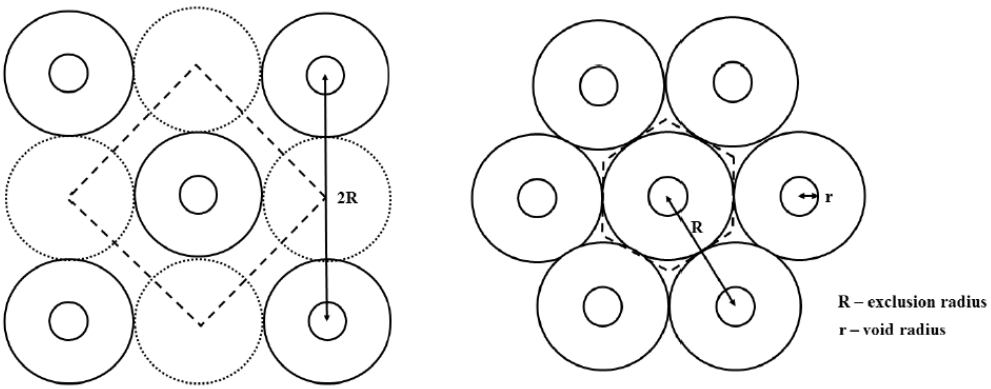

Рис. 1 – Варіанти конфігурації упаковок створених в Abaqus

Нехай середній розмір кульок рівний d, а заповнюють вони частку об’єму $\alpha \in (0;1)$ від загального об’єму контейнера. Для опису випадкового розподілу кульок пропонується описувати пори між ними (пустоти) за допомогою наступної моделі.

Нехай ξ – пуасонівська випадкова міра у досліджуваній області, інтенсивність якої пропорційна мірі Лебега з коефіцієнтом λ. Випадкова множина пор буде задаватися як:

$$A = \bigcup_{x \in \xi} B(u, \frac{d}{10}), \quad (1)$$

Центри кульок – це випадкові точки, радіус яких це відстань, яка розміщується між частинками (рис.1).

Для фіксованої точки та простору ймовірність попасти у дану потрібну випадкову множину (пори) A буде рівна:

$$P(u \in A) = P\left\{B\left(u, \frac{d}{10}\right) \cap \varsigma \neq \emptyset\right\} =$$
$$= 1 - \exp\{-\lambda \mid B\left(u, \frac{d}{10}\right) \mid\} = 1 - \exp\{-\frac{4}{3}\pi \frac{d^3}{10^3}\lambda\}, \quad (2)$$

Нехай, тепер діелектрична проникність частинок рівна ε. Тоді електростатичний потенціал φ всередині матеріалу порошинок буде задовольнятися рівнянням:

$$a(u)\Delta_u \varphi = 0, \quad (3)$$

де $a(u) = 0$, якщо $u \in A$ і $(u) = \varepsilon$, якщо $u \notin A$

Це випадкове поле стаціонарне і обертово-інваріантне, так як цими властивостями володіє пуасонівська міра. При цьому, значення випадкового поля *a* в точках, які віддалені на відстань більшу $\frac{d}{10}$, незалежне. Тому існує усереднене значення $\bar{a}$, яке відповідає діелектричній проникності композитного матеріалу. Для $\bar{a}$ можна буде отримувати різні значення.

Тут прийнятий метод для створення 2D-геометрії з використанням емпіричних законів. При застосуванні генератора випадкових чисел для визначення «частинок» за всією областю контейнера будуються геометричні особливості упаковки. Розподіл точок частинок порошку керується за методом диску Пуассона (рис.1). Дані конфігурації визначають мінімальні і максимальні щільності упаковки, за умови дотримання правила, що жодна точка частинки порошку не може бути ближче до іншої, ніж на величину *R*, і що кожний доступний простір заповнюється [4].

На підставі результатів, що дає нам можливості Abaqus нескладно розрахувати залежність пористості від радіусу *R*. Дані наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Залежність пористості від радіусу

R,піксель	Пористість, %
$R_1 = 350$	45, 8
$R_2 = 250$	41,1
$R_3 = 150$	34,2
$R_4 = 50$	28,1

Крім того, слід відзначити, що практика застосування нових пористих матеріалів на основі металевих порошків показує, що реалізація у повному об'ємі їх міцнісних і експлуатаційних характеристик потребує суттєвого збільшення рівня прогнозування фізико-механічних властивостей матеріалів та розробки нових методів моделювання, який включає комплексний аналіз процесів формування матеріалів.

Список посилань

1. Повстяной О.Ю. Застосування комп'ютерного моделювання для візуалізації трьохмірних даних при дослідженні властивостей пористих проникливих матеріалів / Повстяной О.Ю., Куц Ю.В., Імбірович Н.Ю.. // Наукові нотатки. – Випуск 50. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2015. – С.159-165.

2. McMillan A J 2011 Stresses and crack propagation in porosity clusters Proceedings of The 16th Composites Durability Workshop, (Seoul National University, South Korea, 28-30 August 2011).

3. Рудь В.Д. Аналіз порошкових матеріалів за допомогою програмного комплексу ABAQUS / Рудь В.Д., Шиберко В.В., Повстяной О.Ю. «Сучасні проблеми інформатики в управлінні, економіці та освіті» : [матеріали XIII міжнародного наукового семінару] / за наук. ред. д.е.н., проф. М. М. Єрмошенка. – К.: Національна академія управління, 2014. – С.77-81.

4. В.В.Шыберко. Прогнозирование структурных характеристик порошковых материалов с помощью 3D моделирования / В.В.Шыберко, В.Д.Рудь, А.Ю.Повстяной // Порошковая металлургия: инженерия поверхности, новые порошковые композиционные материалы, сварка. Сборник докладов 9-го Международного симпозиума. Часть 1. (8-10 апреля 2015). – С.231-238.