

Александров М.О.

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОРИСТИХ СЕРЕДОВИЩ ЗАСОБАМИ ЦИФРОВОЇ МІКРОСКОПІЇ

Пористі матеріали як природного, так і штучного походження є широко розповсюдженими. Вони знаходять широке застосування у різних сферах життєдіяльності людини. Це пористі будівельні матеріали, утеплювачі, монтажні піни, пористі метали, фільтрувальні матеріали, поглиначи, напівпроникні мембрани, текстильні матеріали. До пористих матеріалів відносяться також деякі харчові продукти. Особливої актуальності в сучасних умовах набувають пористі матеріали для лікування ран, однією з основних вимог до яких є контрольоване видалення ексудату, що залежить від розмірів і розподілення пор.

Контролем якості пористих структур на основі визначення розмірів пор і їх розподілення займалися ряд дослідників:

- Механічний полягає у визначенні густини пористого матеріалу (визначення маси та об'єму зразку), стиснення зразку для видалення повітря з пор, визначення густини зразку без пор, порівнянню густини до та після видалення пор. Такий метод дозволяє встановити загальний об'єм пор, але не несе інформації про їх розмір та будову. Цей класичний метод застосовується зокрема для визначення пористості хліба (метод Журавльова) [1].

- Інший спосіб використовує здатність пористого середовища до проникнення рідини [2]. Точне вимірювання проникнення пористих структур може представляти важливий крок у процесі їх оптимізації. Зважаючи на громіздкість обладнання та складність обробки результатів даний метод не можна визнати раціональним.

- У дослідженні [3] запропоновано багатомасштабну модель для насичених пористих середовищ, засновану на концепції репрезентативного об'ємного елемента. Фізика описання явищ у мікро- та макропорах пов'язана з точки зору віртуальних мір потужності у відповідності до теорії поромеханіки. Із застосуванням принципу багатомасштабної віртуальної потужності, отримують добре встановлену варіаційну структуру. Недоліком цього методу є ризики неадекватного відображення реальної пористої структури.

- Більшість реальних досліджень щодо пористості структур використовує методи оптичної [4] та електронної [5] мікроскопії. Основною проблемою при цьому може бути трудомісткість в процесі обробки результатів вимірювання.

- Метод комп'ютерної обробки зображення зрізу макропористого матеріалу за допомогою планшетного сканера з подальшою комп'ютерною обробкою зображення у програмі Image J. Цей метод є більш експресним та дозволяє набагато більше інформації ніж механічний. Зокрема визначити розмір пор та їх розподіл за розміром. Суттєвим недоліком методу є те, що він придатний для аналізу тільки макропористих матеріалів і практично застосовується для аналізу пористої структури хліба [6].

Для визначення розмірів мікроструктур у лінійній мірі традиційно застосовується мікроскоп споряджений окуляром зі шкалою та калібрувальний (мікрометричний) слайд. Метод є доволі точним, але доволі трудомістким. Також дуже проблемно використовувати його для оцінки ступеню розкиду мікрооб'єктів за розміром.

Поява мікроскопів споряджених веб-камерами та сучасного програмного забезпечення для обробки зображень (Image-pro, ImageSP) дає можливість дуже швидко провести обробку та аналіз зрізів різноманітних мікропористих матеріалів та зробити висновки про їх якість. Якщо таке визначення проводиться у процесі виробництва матеріалу, це дасть можливість експресно впливати на технологічний процес.

На основі попередніх досліджень стану питання слід відзначити наступне:

- сучасні вимоги до якості пористих структур визначаються вимогами конкурентоздатності продукції, безпекою та комфортністю людей у тому числі військовослужбовців в умовах бойових дій. Ці вимоги визначають вимірювання параметрів пористих структур, які визначають їх розміри, форму та структуру.

- більшість прийнятих на даний момент підходів оцінки пористості обмежують їхнє застосування для різних пористих структур що перешкоджає стандартизації протоколів вимірювання

- методи цифрової мікроскопії з наступною обробкою результатів носять фрагментарний характер і потребують удосконалення

ЛІТЕРАТУРА

1. Сирохман І.В., Задорожний Ф.М. Товарознавство продовольчих товарів. Харків: Світ Книг, 2016. 710 с.

2. Gabetti, S., Masante, B., Schiavi, A. et al. Adaptable test bench for ASTM-compliant permeability measurement of porous scaffolds for tissue engineering. *Sci Rep* 14, 1722 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52159-4>

3. Reinaldo A., A., Javier L., M., Pablo J., S. Multiscale formulation for saturated porous media preserving the representative volume element size objectivity. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 125(3), e7381. <https://doi.org/10.1002/nme.7381>

4. Riabchykov M., Alexandrov A., Tsykhanovska I., Nechipor S., Nikulina A., Vilkov S. (2019) Distribution of the sizes of microcapsules in two-phase emulsions for treatment of textile materials. *Vlákna a textile*, 26(4) 47-52

5. Petrusha O., Daschynska O., Shulika A. Development of the measurement method of porosity of bakery products by analysis of digital image. *Technology audit and Production reserves*. No2/3(40). 2018. p. 61-66. DOI: 10.15587/2312-8372.2018.129520

6. Sharma, R. In-Situ Transmission Electron Microscopy Experiments: Design and Practice. Wiley-VCH GmbH 2023. 356p. DOI:10.1002/9783527834822

Робота виконана під керівництвом професора кафедри РГтаТБ Рябчикова
М.Л.