

МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МІЖЧАСТИНИХ ІНТЕРВАЛІВ ТЕПЛОІЗОЛЮЮЧОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

Замула М.А., аспірант

Дуков І.М., студент групи ВБК-273

Науковий керівник – Колесников А.В., к.т.н., доцент (кафедра Хімії та екології, Одеська державна академія будівництва та архітектури)

Анотація. У роботі розглядається метод аналізу структури теплоізолюючого композиційного матеріалу за допомогою аналізу зображень. Запропоновано метод виділення та аналізу міжчасткових інтервалів, що містять матричний матеріал, заснований на алгоритмі сегментації зображень. Алгоритм реалізований при аналізі сколу високонаповненого енергоефективного композиційного матеріалу. На основі запропонованого методу проаналізовано гістограми розподілу геометричних характеристик міжчасткових інтервалів. Обговорюється можливість використання розглянутого методу для побудови моделей «структура-експлуатаційні властивості» матеріалу, що досліджується.

Однією з основних характеристик будівельних композитів є наявність у них багатомасштабної гетерогенної структури. Введення в матеріал заповнювачів та наповнювачів радикальним чином трансформує структурні характеристики матеріалу на всіх масштабних рівнях. На мікроскопічних рівнях формується молекулярна структура адгезійних контактів за участю хімічних (ковалентних), водневих зв'язків, електростатичних та ван-дер-ваальсових взаємодій. На мікро- та мезоскопічних рівнях можна спостерігати шари матричного матеріалу та наповнювачів із зміненими фізико-хімічними характеристиками та різним рівнем молекулярної організації. До мезоскопічного рівня відносяться також внутрішні межі розділу та структура тріщин. На макроскопічному рівні можна виділити частинки заповнювача (наповнювача) і матричного матеріалу.

Головним завданням будівельного матеріалознавства є отримання композиційного матеріалу з оптимальним набором фізико-механічних, хімічних та екологічних властивостей, що, крім цього, характеризується мінімальною вартістю. Частина найважливіших фізико-механічних властивостей тісно пов'язані зі структурою матеріалу всіх масштабних рівнів, зокрема і макроскопічним. Якщо прийняти, що структури мікро- і мезоскопічного рівня організації є подібними для різних ділянок композиту та різних частинок наповнювача та їх властивості детермінуються характеристиками макрорівня, слід виділити істотну роль макроскопічної структури у реалізації набору таких важливих характеристик як міцність при згині та стиску, теплопровідності, можливості служити звукоізолятором. Математичним відтворенням такої залежності є моделі «структура-властивість». Причиною створення таких моделей, які можуть мати, наприклад, регресійний характер, є результати морфометричних досліджень частинок наповнювача і міжчасткових інтервалів, заповнених матричним матеріалом. При цьому слід враховувати, що найбільш суттєвими є статистичні морфометричні характеристики – їх функції розподілу (наприклад, диференціальна) та відповідна їй гістограма, а також набір моментів відповідного розподілу. Крім цього, при дослідженні поверхонь відколів матеріалу слід враховувати стереологічні статистичні поправки, пов'язані з переходом від площинних зображень до об'єму.

Матеріал, призначений для використання як основа під підлогу [1], повинен мати достатню вологостійкість і характеристики міцності, забезпечуючи в той же час високий рівень тепло- і звукоізоляції, особливо по відношенню до ударного шуму. З цією метою як матричний матеріал використовується аналог гіпсо-цементно-пуццоланового в'язучого, що забезпечує високий рівень водостійкості і достатню міцність, і суміш наповнювачів, один з яких гасить звукові коливання за рахунок ефектів розсіювання енергії, інший (частинки піноскла) позитивно впливає як на водо-, так і звукорозсіювання.

Макроскопічну структуру матеріалу, що містить піноскло, добре видно на скелях неозброєним оком або при невеликому збільшенні (рис. 1).

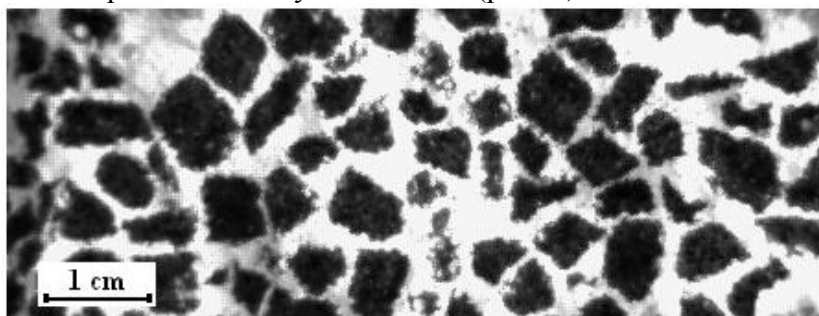


Рис. 1. Структура матеріалу з наповнювачем

При оцінці вкладу різних елементів структури матеріалу в його властивості слід зазначити, що такі суттєві властивості як теплопровідність та характеристики міцності формуються в основному за рахунок міжчасткового матеріалу – міжчасткових інтервалів. Теплові потоки протікають переважно по матричному матеріалу, не заходячи в область зерен наповнювача з малою теплопровідністю (наприклад, пористого). До характеристик міцності матеріалу роблять внесок сили як когезійної природи (між частинками матричного матеріалу), які переважають, так і адгезійної (між матрицею і наповнювачем).

Якщо периметр зображень частинок заповнювача був попередньо вимірний, результати дослідження геометричних властивостей між частковими інтервалами дозволяє оцінити умовний периметр когезійних «границь», тобто суму мінімальних відрізків, що з'єднують границі часток заповнювача. Такі границі пролягають по матричному матеріалу у його найбільш вузькому місці, а їхня загальна довжина може бути використана для прогнозу когезійного руйнування. Периметр когезійних контактів може бути обчислений за формулою (1)

$$P_{coh} = \sum_{i=1}^n P_{inter}^i - \sum_{j=1}^m P_{part}^j, \quad (1)$$

де $\sum_{i=1}^n P_{inter}^i$ – сума периметрів міжчасткових інтервалів;

$P_{adh} = \sum_{j=1}^m P_{part}^j$ – сума периметрів зображень часток заповнювача, рівна периметру зображень адгезійних контактів. Сумарні периметри образів когезійних та адгезійних контактів P_{coh} та P_{adh} та їхні питомі похідні $\frac{P_{coh}}{V_{mat}}$ $\frac{P_{adh}}{V_{mat}}$ пропонується використовувати для прогнозу міцностей матеріалу.

Експлуатаційні властивості, зокрема міцність композиційного матеріалу, залежить не тільки від периметрів часток та міжчасткових інтервалів, але й від інших їхніх геометричних властивостей. В будь-якому випадку, першим кроком алгоритму дослідження міжчасткових інтервалів є їхнє виділення на зображенні препарату композиційного матеріалу

Оскільки матричний матеріал відіграє роль дисперсійного середовища, що характеризується зв'язністю та безперервністю, то виділення міжчасткових проміжків є нетривіальним завданням. Для статистично достовірного виділення міжчасткових інтервалів застосовується метод сегментації, що базується на алгоритмі водорозподілу.

Кількісні характеристики міжчасткових проміжків досліджено за допомогою методів обробки зображень [2, 3]. Для цього використовувалась програма Nih Image 1.62. Дослідне зображення піддавалося пороговому поділу та бінаризувалося. Далі проводилася інверсія, зображення частинок заповнювача при цьому ставало світлим, а матричний матеріал – темним. Потім «темний» простір, що відповідає матричному матеріалу, сегментувався

методом водорозподілу (рис. 2). За такої сегментації зображення ділянок матричного матеріалу поділяються тонкими світлими лініями.

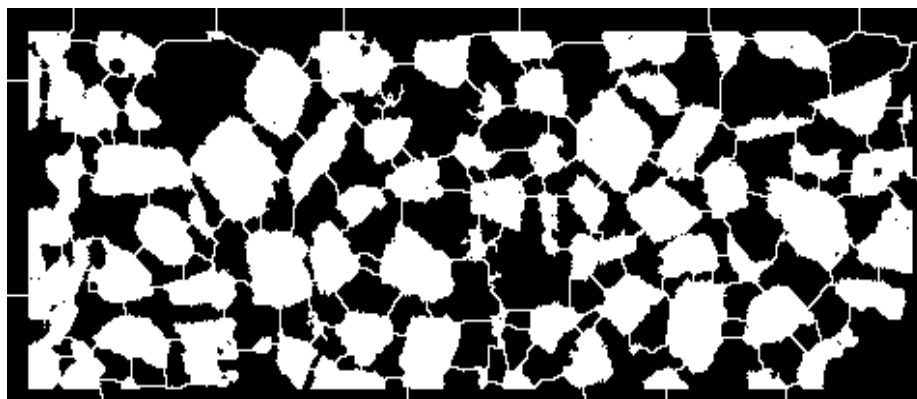


Рис. 2. Сегментація методом водорозподілу: а – вихідне бінарне зображення, б – сегментоване методом водорозподілу

Далі можна скористатися можливостями використовуваної програми та в автоматичному режимі визначити геометричні властивості «темних» частинок, включаючи площу, периметр, характеристики апроксимуючого еліпса, кут нахилу його великої півосі щодо горизонтального напрямку та характеристики форми. Частинки нумеруються, обмежуються і геометричні характеристики вказуються для кожної з них (рис. 3). Крайові ділянки матеріалу при цьому не враховуються (це артефакт сегментації).

Результати виміру оброблялися статистично. В результаті такої обробки можна отримати емпіричні моменти розподілу (зокрема, емпіричні середні та дисперсії), квантили розподілу, ентропійні характеристики та зіставити їх за допомогою регресійної процедури з експлуатаційними властивостями. Інший шлях дослідження – якісна характеристика структури міжчасткових інтервалів за допомогою зображення та аналізу гістограм розподілу геометричних характеристик.

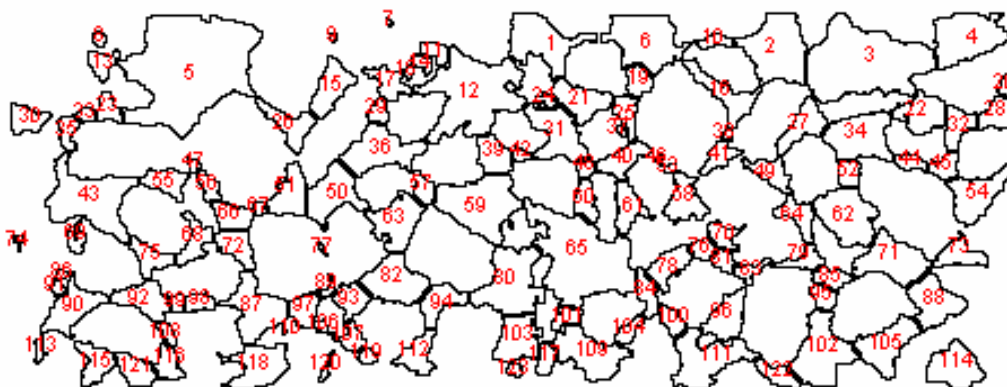


Рис. 3. Автоматичний вимір геометричних характеристик міжчасткових проміжків

На рис. 4 (1-4) наведені гістограми розподілу площ міжчасткових проміжків (1), характеристики округлості – циркулярності (2), що дорівнює 1 у разі кола та 0 у разі нескінченно вузького еліпса, відношення довжини осей апроксимуючого еліпса (3) та кута нахилу довгої осі від горизонталі. Циркулярність обчислюється виходячи з площі області (Area) та її периметра (Perimeter) за формулою (2):

$$Circularity = 4\pi \frac{[Area]}{[Perimeter]^2} \quad (2)$$

Зображені гістограми можна якісно інтерпретувати. Композиційний матеріал є високонаповненими, площі міжчасткових інтервалів переважно невеликі. У той самий час, ступінь їх подібності кола також невелика, що видно з гістограми циркулярності і, особливо, з геометричних параметрів апроксимуючого еліпса (такі еліпси мають витягнуту форму). Це

стає зрозумілим, якщо врахувати, що частинки наповнювача мають неправильну форму та кут їхнього розподілу, а також координати випадкові. Кути розташування великої півосі апроксимуючого еліпса для міжчасткових інтервалів також є відносно випадковими.

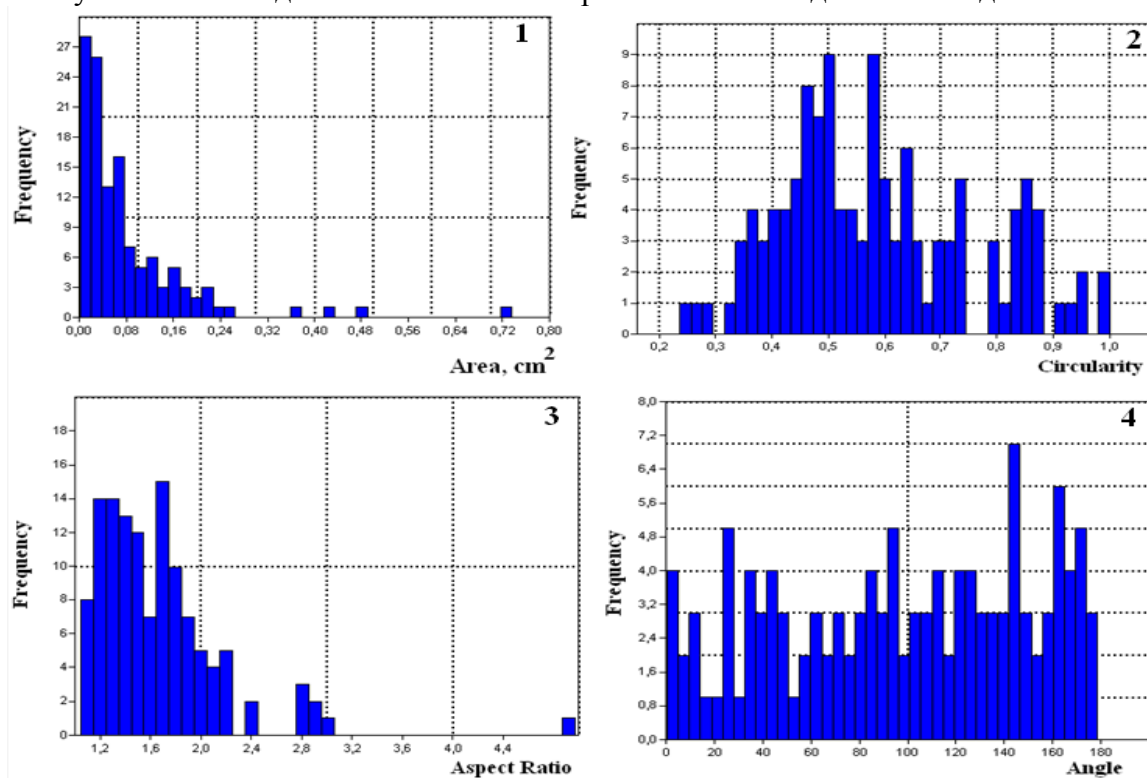


Рис. 4. Гістограми площі (1), циркулярності (2), співвідношення великої та малої напівосі апроксимуючого еліпса, кута нахилу великої півосі щодо горизонталі

Висновки. Відображений розподіл геометричних показників міжчасткових інтервалів та інші, легко одержувані з урахуванням наведеного підходу імовірнісні величини, пропонується використовувати для прогнозу експлуатаційних властивостей матеріалу з його структури. Тобто, використання такого методу дає можливість вирішити одне з фундаментальних завдань матеріалознавства. Якісний опис гістограм, що наводиться вище є початковим кроком у цьому напрямку.

Література:

1. Керш В.Я., Колесников А.В., Замула М.А. Подбор составов теплозвукоизолирующих композиций. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Енергоефективне місто. XXI століття», Одеса, 2020, с. 39-41.
2. Heilbronner R., Barrett S. Image Analysis in Earth Sciences. Microstructures and Textures of Earth Material, Springer, 2014. 520 p.
3. Конюхов А.Л., Руководство к использованию программного комплекса ImageJ для обработки изображений: Учебное методическое пособие. Томск: кафедра ТУ, ТУСУР, 2012. 105 с.