

## ТЕРМОХІМІЧНЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПИЛОВУГІЛЬНОГО ПАЛИВА У НВЧ-ПЛАЗМІ

### Вступ

Важливим напрямком вирішення проблеми погіршення якості вугілля, що пов'язана із вироботкою запасів на існуючих копальнях, є застосування плазмохімічної підготовки пилоподібного палива перед спалюванням на теплових станціях.

Технологія застосування НВЧ-плазмотронів для розжигу та стабілізації горіння вугільного пилу до останнього часу залишалася маловивченою [1]. Це зумовлює необхідність ретельних теоретичних та експериментальних досліджень механізмів впливу НВЧ-плазми на вугільні частинки [2]. Мета даної статті полягає в експериментальному дослідженні закономірностей термохімічного перетворення пиловогільного палива в НВЧ-плазмі. Застосування НВЧ-плазми, що реалізується у потоці аеросуміші з високою концентрацією енергії та присутністю там активних у хімічному відношенні центрів (атомів, радикалів, іонів та електронного газу), сприяє більш енергетично ефективному, ніж у традиційних вогневих методах та за умов використання повітряно-електородугової плазми, нагріву та термохімічним перетворенням вугільних частинок [3]. Вугільні частинки в НВЧ-плазмі, термодинамічна температура якої сягає  $\sim 5000\text{K}$ , зазнають теплового удару, який подрібнює частинки на десятки дрібних осколків. При цьому мінеральні складові частинки відшаровуються і це призводить до збільшення реакційної властивості палива.

Вважається, що методи сучасних інформаційних технологій в змозі детально аналізувати форму кожної окремої частинки [2]. На плоскому зображенні (слайді), що отримується методами цифрової оптичної або растрової електронної мікроскопії

(РЕМ, рис.1), група частинок може мати випадкову орієнтацію. Оцінка розміру частинок складної форми базується на визначенні відповідного «діаметру». На одному з подібних принципів (серія хорд, що розташовані «всередині» частинок) засновані статистичні алгоритми обробки зображень (стереологія).

У ряді випадків розмір частинок, що спостерігається, залежить від того, як саме вони розташовані на твердій поверхні перед зйомкою. При цьому середній «проективний» розмір в цілому вірно відповідає дійсно середньому [3]. Статистичний аналіз більш ніж 200 частинок може вважатися «вірним» при оцінці середнього розміру. Результатом такої оцінки всього масиву розмірів стає гістограма як основа для пропонування та визначення функції розподілу. Для процесів, що пов'язані із займанням або хімічними реакціями, варто використовувати [3] середній діаметр Саутера  $D_{vs}$ , який виражається в вигляді

$$D_{vs} = \frac{\sum N \cdot D^3}{\sum N \cdot D^2}.$$

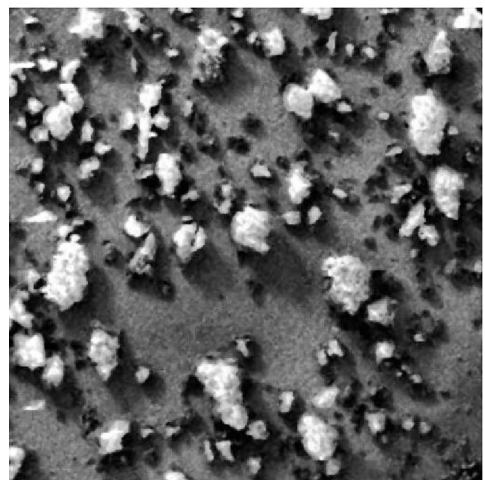


Рис. 1. Вхідне зображення, РЕМ,  $\times 200$ .

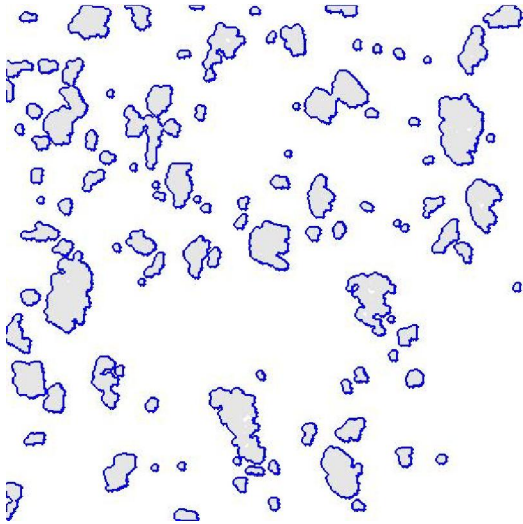


Рис. 2. Виділення частинок вугільного пилу.

Частинки вугільного пилу, які відібрані з потоку в зоні за НВЧ-плазмою відрізняються наступним чином. Перші, за відсутності НВЧ-плазми, другі при наявності НВЧ-плазми. Знімки, що отримані за допомогою растрового електронного мікроскопа, є інструментом кількісної оцінки. Середня площа елементів зображення складає  $269 \text{ мкм}^2$ , середня відстань між ними -  $19 \text{ мкм}$ .

Комп'ютерна процедура обробки зображень (система MatLab), що пропонується в роботі, оцінює питому поверхню «зерен». Проводиться послідовність формальних операцій визначення об'єктивного розміру «двовимірних» областей (рис.1): еквівалентного діаметра (тобто діаметра кола такої ж площі). При цьому зображення переводиться до бінарного формату, вирівнюються контрастність та інтенсивність фону. Здійснюється двовимірна фільтрація, завдяки чому усуваються фонові шуми растрового мікроскопа. Власне обробка полягає у визначенні загальної кількості та «еквівалентного діаметра» кожної порошокинки, яка виділена як структурний елемент інтенсивності, спочатку у пікселях, а потім у мікрометрах.

Статистична обробка складається з того, що порошокинки «шикуються в одну шеренгу». Тоді їх

загальний об'єм можна знайти шляхом складання об'ємів кожної, якщо вважати їх сферами. Діаметр таких сфер вже визначений, виходячи із «плоского» зображення, якщо дотримуватись умови про співпадіння реальної площі і площі кола еквівалентного діаметра. По відомим значенням об'єму та густини,  $(1.22 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3)$  [5], визначається загальна маса. В такій моделі питома поверхня вугільного пилу визначається як відношення загальної поверхні до загальної маси.

Окремо визначається масив площ, який враховує кожну «двовимірну» порошокинку, рис 2. Після цього оцінюється розмір «квадратної порошокинки» як квадратний корінь з величини реальної площі порошокинки. Це значення порівнюється з долею площі повного зображення, що припадає на одну «середню» частинку.

Крім цього, визначаються координати «центра мас» кожної порошокинки. Це надає змогу визначити середню відстань між центрами «середніх» порошокинок, не зважаючи на їх розмір. Залишається розглянути відношення середньої відстані між центрами порошокинок і стороною «квадрата», що утворюється як доля площі повного зображення, що припадає на одну частинку. Таким чином отримується оцінка «рихлості» порошкової системи в цілому.

Крім цього, форма являє собою очевидну характеристику частинок, що якісно відрізняє різні зразки. Кількісний вимір форми – більш важка задача, враховуючи різновимірність часток. В роботі з цією метою обчислюється метричний параметр форми кожної порошокинки. Цей параметр пропорційний відношенню площі частинки до квадрату її периметра (на площинному зображенні). Модель полягає у визнанні двох типів порошокинок: наближених до кола і віддалених від такої форми. Разом з тим, обидві фракції розподілені за функцією Гауса. Ітераційна процедура, що запропонована в роботі, визначає параметри такого розподілу, тобто найвірогідніші зна-

чення параметра форми обох типів порошинок. Дані, що отримані в роботі і стосуються плазмової обробки, вказують на зміну середнього параметра форми з 0.74 до 0.68 для невеликих частинок і від 1.2 до 1.1 для великих.

В роботі проведений ситовий аналіз вихідного вугільного пилу шляхом послідовного розподілу його системою сит різного розміру. Спеціально приготовлена навіска вугільного пилу ( $G_H$ ) масою 25г оброблялась ручними ситами з розміром отворів 200...50мкм. Маса залишку вугільного пилу на ситах ( $G_X$ ) визначалась за допомогою електронних ваг з точністю до 0,01г. Функціональна залежність відносних залишків вугільного пилу на ситі ( $R_X = G_X/G_H$ ) має вигляд

$$R_X = 100 \cdot \exp(-0,041 \cdot x^{0,89}),$$

де  $x$  – розмір частинки вугілля, мкм.

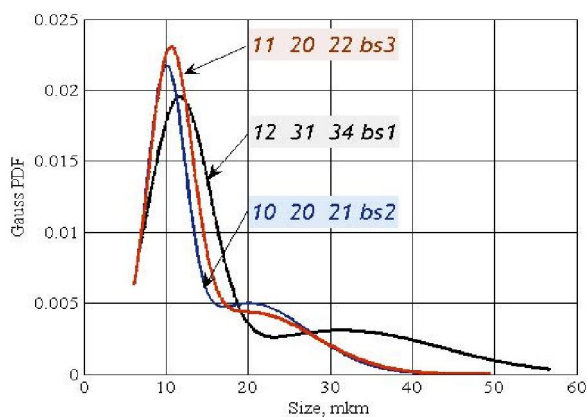


Рис. 3. Розподіл за розмірами частинок вугільного пилу, що відібрані з потоку у зоні за НВЧ-плазмою: **bs1** – за відсутності НВЧ-плазми; **bs2, bs3** – при наявності НВЧ-плазми двох різних режимів. Наведені: середній діаметр Саутера «дрібних» частинок, мкм; середній статистичний діаметр частинок усього зразка, мкм; середній діаметр Саутера «великих» частинок, мкм.

### Висновки

Результати кількісної статистичної обробки безпосередніх зображень частинок підвищують достовірність заключень, які робляться на основі інших методів. Тепловий вибух пиловугільних частинок

багаторазово прискорює вихід летючих компонентів за рахунок більш розвиненої поверхні реагування, а також призводить до появи дуже дрібних частинок. Вони розігріваються до температур виділення летючих компонентів суттєво швидше, ніж великі частинки.

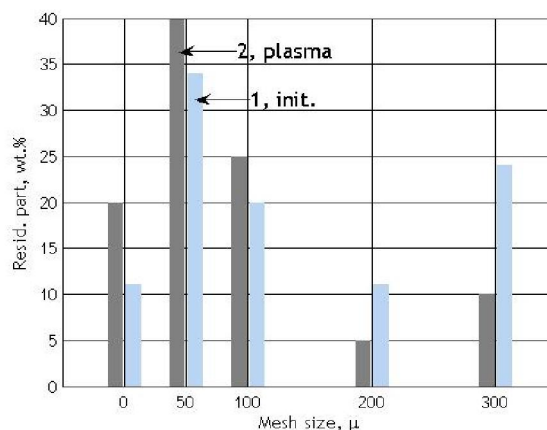


Рис. 4. Відносна вага частинок вугільного пилу за умов ситового аналізу: 1 – за відсутності НВЧ-плазми; 2 – при наявності НВЧ-плазми.

### Список літератури:

1. Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Шидловский А.К., Яцкевич С.В. Современное состояние угольных электростанций Украины и перспективы их развития // Экотехнологии и ресурсосбережение, 1996. № 3.– С. 3–8.
2. Wojnar Leszek // Image analysis applications in materials engineering © 1999 by CRC Press LLC.
3. Klinzing George, // Gas-solid transport, Copyright © 1981 by McGraw-Hill.
4. Ваврич Д.М., Канило П.М., Казанцев В.И., Расюк Н.И. и др. Исследование СВЧ-плазменной технологии поджига низкосортных углей на экспериментальной установке // Труды междунар. науч.-техн. конф. «Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования». – Харьков: ИПМаш НАНУ, 2003. – С. 265–269.
5. Волковинский В. А. Влияние термической обработки на дисперсный состав пыли АШ // Изв. ВУзов Энергетика, 1988, №7 – С. 55 – 58.