

УДК 662.741.002.33

А.Г. Старовойт, Є.І. Малий, Є.Л. Сорокін

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНОЇ ТА НАДМОЛЕКУЛЯРНОЇ СТРУКТУРИ ОКРЕМИХ ФРАКЦІЙ МАЛОМЕТАМОРФІЗОВАНОГО ВУГІЛЛЯ З МЕТОЮ ЗАЛУЧЕННЯ ЇХ ДО ПРОЦЕСУ КОКСУВАННЯ У СКЛАДІ ВУГІЛЬНОЇ ШИХТИ

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна

Розглянуті молекулярна та надмолекулярна структури окремих фракцій малометаморфізованого вугілля з метою залучення їх до процесу коксування у складі вугільної шихти. Існуючі технології використання малометаморфізованого вугілля у складі шихти для коксування недостатньою мірою забезпечують раціональне залучення органічної маси вугілля, що відповідно негативно відображається на індексі реакційної здатності коксу та міцності коксу після реакції з CO_2 . Тому було запропоновано технологічне рішення, яке спрямоване на використання густинної частини органічної маси малометаморфізованого вугілля, що за своєю молекулярною та надмолекулярною структурами відповідають органічній масі вугілля марки К. Результати досліджень показали, що видалення густинної частини органічної маси малометаморфізованого вугілля у вигляді окремої фракції, дозволило знизити до 10% кількість вугілля марки К в складі шихти для коксування. Встановлено, що окрема густинна фракція малометаморфізованого вугілля сприяє інтенсифікації процесів асоціації надмолекулярних речовин графітосом і виявлений взаємозв'язок між молекулярною та надмолекулярною структурами цих окремих фракцій. Одержані наукові та експериментальні результати дозволили вирішити конкретну науково-практичну проблему – розробити наукові і технологічні засади розширення сировинної бази коксування.

Ключові слова: малометаморфізоване вугілля, органічна маса вугілля, шихта для коксування, індекс реакційної здатності коксу, міцність коксу після реакції з CO_2 .

DOI: 10.32434/0321-4095-2025-160-3-126-136

Вступ

Коливання якості сировини – вугільних концентратів, змушує хіміків-технологів знаходити постійні рішення щодо одержання коксу необхідної якості, незважаючи на впевненість фахівців-доменників, що найголовніше це сталість показників коксу [1].

Разом із основними технологічними функціями коксу в доменному процесі виділяють, ще дві додаткові:

– адсорбент (вбирач газо- і пилоподібних продуктів у фурменній зоні);

– джерело дрібняку, що знижує плинність шлаку, а отже і газопроникність стовпа шихтових матеріалів у доменній печі [2].

Ефективність виконання всіх цих функцій значною мірою залежить від реакційної здатності, яку більшість фахівців доменного виробництва розглядає, як інтегральний показник якості коксу, пов'язаний з його хімічним складом і фізико-хімічними властивостями [3].

У результаті вивчення реакційної здатності та «холодної» і післяреакційної міцності коксу з фурменної зони, встановлено [4], що кокс з підви-

© А.Г. Старовойт, Є.І. Малий, Є.Л. Сорокін, 2025



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

A.G. Starovoyt, E.I. Malyi, E.L. Sorokin

щеною реакційною здатністю руйнується в доменному процесі менше. Додавання до складу шихти для коксування 14% вугілля з високим виходом летких речовин обумовлює формування якісного коксу із структурною міцністю на рівні 80–90%. При цьому показники механічної міцності коксу залишилися незмінними та не було зафіксовано негативних змін у техніко-економічних показниках доменного процесу.

З урахуванням цих чинників сформовано вимоги [5] щодо підвищення механічної міцності «холодного» коксу і його післяреакційної міцності (після взаємодії з CO_2 за високої температури), а також щодо зниження реакційної здатності. Останнє повинне забезпечити надходження достатньої кількості коксу в зону фурм доменної печі при різкому (в 1,8–2,0 рази) зниженні його загальної кількості внаслідок використання пило-вугільного палива та інших відновників.

Вплив коксу [6], як доменного палива, найбільш ефективний, якщо він характеризується оптимальними значеннями реакційної здатності $\text{CRI} < 30\%$ та питомого електричного опору 3,5–5,0 Ом·см; низькою зольністю 1–1,3%, й виходом летких речовин 0,8–1,2%; достатньою механічною міцністю $\text{M}_{25}=83\text{--}86\%$, $\text{M}_{10}=7,5\text{--}8,0\%$ та термостійкістю 500–650°C; оптимальною крупністю переважно 60–40 мм та достатнім газопроникненням $\Gamma=260\text{--}290$ Д.

Однак сучасна стратегія розвитку виробництва чавуну на наступні десятиліття передбачає розвиток процесів зі зниження викидів CO_2 з одночасним використанням традиційних технологій і мінімальним споживанням коксу. В умовах зниження витрати коксу на виплавку чавуну будуть потрібні зусилля зі значного поліпшення його якості, а також прийомам зі зниження його собівартості за рахунок застосування більш доступного та з меншою вартістю малометаморфізованого вугілля марки ДГ.

Тому для вирішення поставленої мети потрібно розширення уявлень про молекулярну і надмолекулярну будову малометаморфізованого вугілля, що є підставою для здійснення досліджень спрямованих на вивчення структури окремих фракцій малометаморфізованого вугілля з метою залучення їх до процесу коксування у складі вугільної шихти.

Здійснені дослідження ставили за мету наукове обґрунтування раціонального складу шихти для коксування, що базується на використанні окремих фракцій малометаморфізованого вугілля для забезпечення металургії якісним коксом, властивості якого відповідають її потре-

бам, а також пошук можливості залучення до виробництва коксу менш вартісних різновидів вугілля України. Це дасть можливість розширити сировинну базу коксування шляхом розвитку наукових основ і уявлень про молекулярну і надмолекулярну будову окремих фракцій органічної маси вугілля, що забезпечить раціональне використання малометаморфізованого вугілля у коксохімічному виробництві.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- дослідити макромолекулярну і надмолекулярну будову конгломератів густинних фракцій мало- та середньометаморфізованого вугілля;
- визначити структуру і властивості органічної маси окремих фракцій вугілля;
- визначити можливість і ступінь використання вугілля марок ДГ та К в шихті для коксування без суттєвих змін класичної технології;

- розробити рекомендації щодо оптимізації складу шихти, що містить густинну фракцію малометаморфізованого вугілля ДГ для одержання коксу сталюї якості.

Методика експерименту

У дослідженні використовували малометаморфізоване вугілля марки ДГ, а як еталон для порівняння – середньометаморфізоване вугілля марки К (табл. 1).

Розділення дослідного вугілля на окремі фракції відбувалося у водному розчині хлористого цинку (ZnCl_2) за густиною у важких середовищах [7]. Для цього були приготовлені розчини з густиною: 1,25; 1,26; 1,27; 1,28; 1,30 г/см³. У результаті аналізу для подальшого дослідження одержали окремі фракції вугілля (показник густини зразка): <1,25; 1,25–1,26; 1,26–1,27; 1,27–1,28; 1,28–1,30 г/см³ (табл. 2 і 3).

Дослідження надмолекулярної структури мало- та середньометаморфізованого вугілля здійснювали за методикою аналізу поверхні сколу для кожної одержаної фракції. В основі методу атомно-силової мікроскопії лежать силові взаємодії між голкою і зразком у вигляді сил відштовхування, пропорційних розподілу сумарної густини електронних станів. Для аналізу отриманих знімків поверхні сколів дослідних зразків вугілля було використано фрактальний метод аналізу [8].

Для характеристики технологічної цінності окремих фракцій малометаморфізованого вугілля марки ДГ у складі шихти використовували компоненти, властивості та якості яких наведені в табл. 4.

Одержані зразки коксу досліджували за методикою Nippon Steel Corporation (Японія) згідно зі стандартом ISO 18894:2006 (ДСТУ 4703:2006), що передбачає газифікацію проби коксу крупністю 19,0–22,4 мм масою 200 г (яку приготували з доменного коксу фактичної крупності) в спеціальній установці протягом двох годин і визначали реакційну здатність *CRI* (за ступенем втрати маси) та міцність коксу після реакції *CSR* (за виходом класу більше 9,5 або 10 мм після обробки протягом 30 хвилин в барабані довжиною 700 та діаметром 130 мм).

Результати та обговорення

Молекулярну та надмолекулярну структури

окремих фракцій малометаморфізованого вугілля марки ДГ з метою залучення їх до процесу коксування досліджували відповідно по поверхніх сколів. Для виділення окремої густинної фракції з вугілля марки ДГ як еталон використовували фракції середньометаморфізованого вугілля марки К.

В результаті були отримані як плоскі поверхні сколів досліджуваних проб, так і тривимірні топографічні зображення поверхні вугілля з лінійним розміром 10×10 мкм² і нанометровою розмірністю. Отримані поверхні сколу окремих фракцій вугілля марки ДГ наведені на рис. 1.

Таблиця 1

Властивості початкового вугілля

Марка вугілля	Центральна збагачувальна фабрика	Показники технічного аналізу, %			
		A ^d	S _t ^d	V ^{daf}	W ^a
ДГ	Павлоградська	8,40	2,08	43,70	2,20
К	Київська	8,50	1,78	23,50	2,00

Таблиця 2

Окремі фракції з малометаморфізованого вугілля марки ДГ

Показник густини дослідного зразка, г/см ³	Показники технічного аналізу, %			
	A ^d	S _t ^d	V ^{daf}	W ^a
<1,25	2,60	1,23	48,80	1,70
1,25–1,26	1,80	1,25	46,50	1,80
1,26–1,27	2,20	1,27	46,10	1,50
1,27–1,28	2,00	1,29	43,50	1,90
1,28–1,30	2,60	1,35	42,40	1,80

Таблиця 3

Окремі фракції з середньометаморфізованого вугілля марки К

Показник густини дослідного зразка, г/см ³	Показники технічного аналізу, %			
	A ^d	S _t ^d	V ^{daf}	W ^a
<1,25	0,70	0,78	26,90	1,70
1,25–1,26	0,90	0,89	25,20	1,80
1,26–1,27	1,70	1,03	24,50	1,70
1,27–1,28	2,80	1,29	22,60	1,80
1,28–1,30	6,30	1,93	21,50	2,00

Таблиця 4

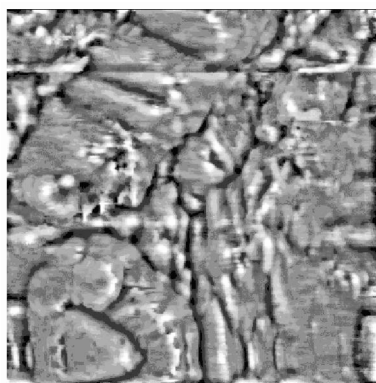
Склад та якість компонентів вугільної шихти

Вміст, %	Марка вугілля	Технічний аналіз, %				Петрографія	
		A ^d	S _t ^d	V ^{daf}	W ^a	R ₀	ΣСК
10	густинна фракція ДГ	2,10	1,27	45,40	2,00	0,62	71,40
37	Г	7,70	2,17	37,90	2,10	0,84	82,00
27	Ж	8,20	1,52	30,80	2,40	1,10	88,90
22	К	8,50	1,78	23,50	2,00	1,24	88,10
4	ПС	8,40	0,67	17,80	2,30	1,37	77,00

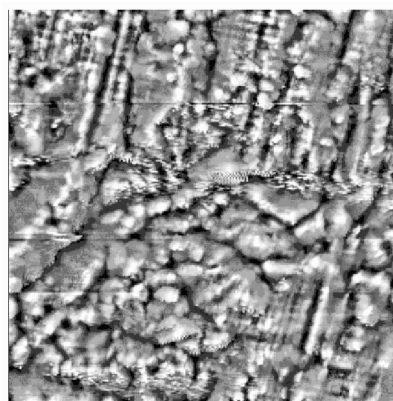
Знімки мікроструктури поверхні сколів окремих фракцій вугілля показують, що зміна густини фракцій приводить до суттєвої зміни характеру поверхні сколу дослідних зразків. Так, поверхня сколу проби вугілля марки ДГ з густиною $<1,25$ г/см³ містить надмолекулярні утворення досить великих розмірів і наноагрегати, що утворилися під час руйнування, мають складну кулеподібну форму. Утворення розташовані в

зразку хаотично і неструктуровано. Тому поверхня зазначеного сколу не має певного впорядкованого характеру та є аморфною. Органічні й органо-мінеральні речовини, які містяться в пробі, розрізнені та розташовані хаотично.

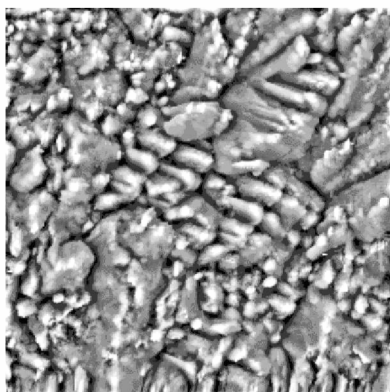
Збільшення густини до 1,25–1,26 г/см³ фракції приводить до появи на поверхні сколу розрізнених як великих, так і більш дрібних наноструктурних «кристалічних» утворень. «Кри-



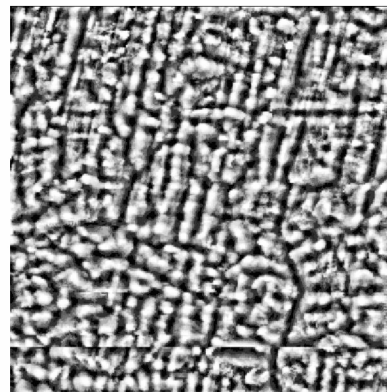
а



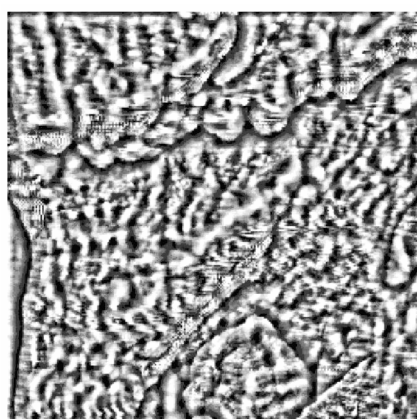
б



в



г



д

Рис. 1. Поверхня сколу малометаморфізованого вугілля марки ДГ масиву окремих фракцій з густиною (г/см³): а – $<1,25$; б – 1,25–1,26; в – 1,26–1,27; г – 1,27–1,28; д – 1,28–1,30

сталічні» утворення в зазначеній фракції починають набувати не кулеподібної, як у зразка з густиною $<1,25 \text{ г/см}^3$, а більш витягнутої форми. Розподіл утворених наноструктурних речовин в окремих частинах отриманого зображення починає перебудовуватися з хаотичного в більш структурований. Зміна густини дослідної фракції вугілля приводить до впорядкування та самоорганізації надмолекулярної структури сполук різного характеру, які входять до масиву органічної частини вугілля.

Поверхня сколу фракції вугілля марки ДГ з густиною $1,26\text{--}1,27 \text{ г/см}^3$ набуває структурова-

ний характер. В органічній частині дослідній фракції вугілля наноструктурні «кристалічні» речовини, які можна спостерігати на поверхні в результаті руйнування масиву, мають більш витягнуту форму, а їх розміри змінюються від середніх до дрібніших. Розподіл надмолекулярних утворень у зазначеному зразку, як і їх форма, змінюються в порівнянні з попередніми пробами, особливо це явище спостерігається на окремих ділянках де відбувається поступова зміна шаруватості з ексцентричної на плоскопаралельну.

Більш істотно цей ефект можна розгледіти

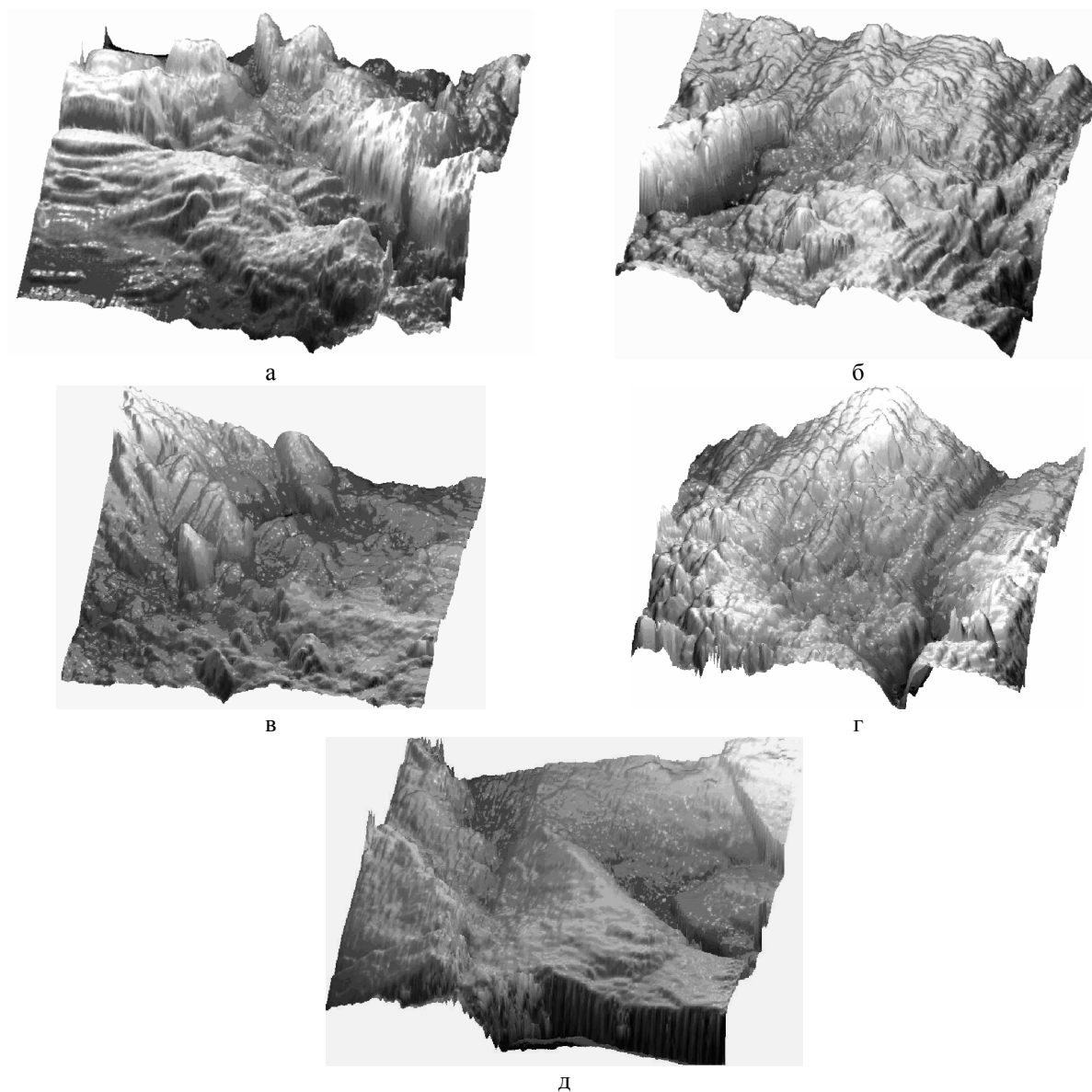


Рис. 2. Тривимірні топографічні зображення поверхні сколу окремих фракцій вугілля марки ДГ з показником густини (г/см^3): а – $<1,25$; б – $1,25\text{--}1,26$; в – $1,26\text{--}1,27$; г – $1,27\text{--}1,28$; д – $1,28\text{--}1,30$

на зразку фракції з густиною $1,27\text{--}1,28\text{ г/см}^3$. Топології структури надмолекулярних утворень в цій пробі набувають плоскопаралельні ниткоподібні форми. Вони мають практично однакову форму в усьому об'ємі дослідного масиву, а речовини, що мають кулеподібний вигляд, у цій пробі відсутні. Розподіл наноструктурних утворень має подобу графітосомних шарів [9].

Дослідження топології фракції з показником густини $1,28\text{--}1,30\text{ г/см}^3$ характеризує, що на поверхні сколу з'явилася більш впорядкована «дендритоподібна» структура. Окремі утворення мають витягнуту форму, також з'явилися утворення, що мають нанорозміри. Самі утворення розподілені в об'ємі компактно з рівномірним покриттям площі сколу.

Таким чином, результати дослідження поверхні сколу окремих фракцій малометаморфізованого вугілля марки ДГ свідчать, що зміна показника густини окремих фракцій вугілля характеризується зміною структури їх надмолекулярних утворень. Розподіл надмолекулярних наноструктурних утворень змінюється з підвищенням показника густини окремих фракцій зразків від хаотичного розподілу до появи організованої «дендритоподібної» структури.

Подальші дослідження окремих фракцій вугілля марки ДГ здійснювали з використанням тривимірного топографічного зображення [8] (рис. 2), що базувалося на врахуванні таких властивостей, як твердість, крихкість, тріщинуватість і окремість.

Фракція вугілля з показником густини $<1,25\text{ г/см}^3$ має на своїй поверхні досить велику кількість утворених вершин округлої форми, заглибини мають пологий характер, тут також необхідно зазначити, що цей зразок має слабо виражену шаруватість.

На зображенні зразка з показником густини $1,25\text{--}1,26\text{ г/см}^3$ можна спостерігати на окремих ділянках його поверхні чітко окреслену шарувату структуру, а також зміну вигляду і висоти вершин, утворених у результаті сколу.

Зразок з показником густини $1,26\text{--}1,27\text{ г/см}^3$ має поверхню сколу більш рівномірну відносно попередніх фракцій, проте на зображенні його поверхні можна спостерігати початок вершини, що має куполоподібну форму, при цьому шаруватість зазначеного зразка в цьому випадку має більш виражений характер.

На топографічному тривимірному зображенні поверхні сколу густинної фракції вугілля марки ДГ з показником густини $1,27\text{--}1,28\text{ г/см}^3$ можна спостерігати чітко окреслену вершину куполопо-

дібної форми, проте розміри шарів, що утворилися в результаті сколу поверхні, мають менші розміри ніж у попередніх фракціях.

Отримане тривимірне зображення поверхні сколу фракції вугілля з показником густини $1,28\text{--}1,30\text{ г/см}^3$ фіксує зміну характеру поверхні сколу, а саме спостерігається зміна вершин і розвинення системи дрібних шарів з утворенням рівних ділянок.

Слід зазначити, що отримані топографічні тривимірні зображення поверхні сколу окремих фракцій малометаморфізованого вугілля марки ДГ показують, що зміна показника густини істотно впливає на збільшення твердості і крихкості фракцій, що відповідно відображається на властивостях і будові надмолекулярних утворень, які є складовими дослідного масиву проби вугілля.

Для вибору унікальної частини органічної маси вугілля марки ДГ, що відповідає за спікливість та коксоутворення, був проведений порівняльний аналіз дослідних фракцій з фракціями середньометаморфізованого вугілля марки К. Поверхні сколу фракцій вугілля марки К з різними показниками густини зображено на рис. 3.

Поверхні сколу фракцій середньометаморфізованого вугілля мають характер змін, що є спільним з малометаморфізованим вугіллям, але динаміка зміни надмолекулярних утворень та їх розподіл на поверхні інший. Так фракція з показником густини $1,25\text{--}1,26\text{ г/см}^3$ вугілля марки К на своїй поверхні додатково має досить велику кількість складних шароподібних надмолекулярних утворень, також простежується певна подоба шарів, проте цей розподіл утворень ще має хаотичний характер.

Відмінності простежуються і в інших окремих фракціях. Так, наприклад, фракція з показником густини $1,26\text{--}1,27\text{ г/см}^3$ не має шароподібних утворень але розподіл наноструктур складається в певну упорядкованість. Фракції з показниками густини $1,27\text{--}1,28\text{ г/см}^3$ і $1,28\text{--}1,3\text{ г/см}^3$ на поверхні мають певне структуровання ниткоподібних надмолекулярних утворень з «дендритоподібною» структурою їх розташування. Проте варто враховувати, що у таких фракцій малометаморфізованого вугілля марки ДГ спостерігається певна подоба структури.

Топографічні тривимірні зображення поверхні сколу окремих фракцій вугілля марки К приведено на рис. 4. З цих зображень видно, що поверхні сколу окремих фракцій вугілля марки К

мають відмінну ознаку: розвинений рельєф в порівнянні з поверхнями окремих фракцій вугілля марки ДГ. Крім цього, фракції вугілля марки К з показником густини 1,26–1,27, 1,27–1,28 і 1,28–1,3 г/см³ мають гострі вершини, а у дослідної фракції 1,28–1,30 г/см³ утворюється плато. Це свідчить про те, що речовини органічної маси вугілля змінюють свої властивості зі зміною показників густини дослідних фракцій.

Таким чином, порівняльний аналіз дає мож-

ливість стверджувати, що надмолекулярні структури фракцій, зі зміною показника густини, змінюються практично однаково в обох марках вугілля. Тобто зі зміною густини в органічній масі вугілля спостерігається вже інший розподіл шарів надмолекулярних наноструктурних утворень, які мають структурований «дендритоподібний» вигляд, що відображається на збільшенні таких показників, як твердість і крихкість.

Для теоретичного обґрунтування отриманих

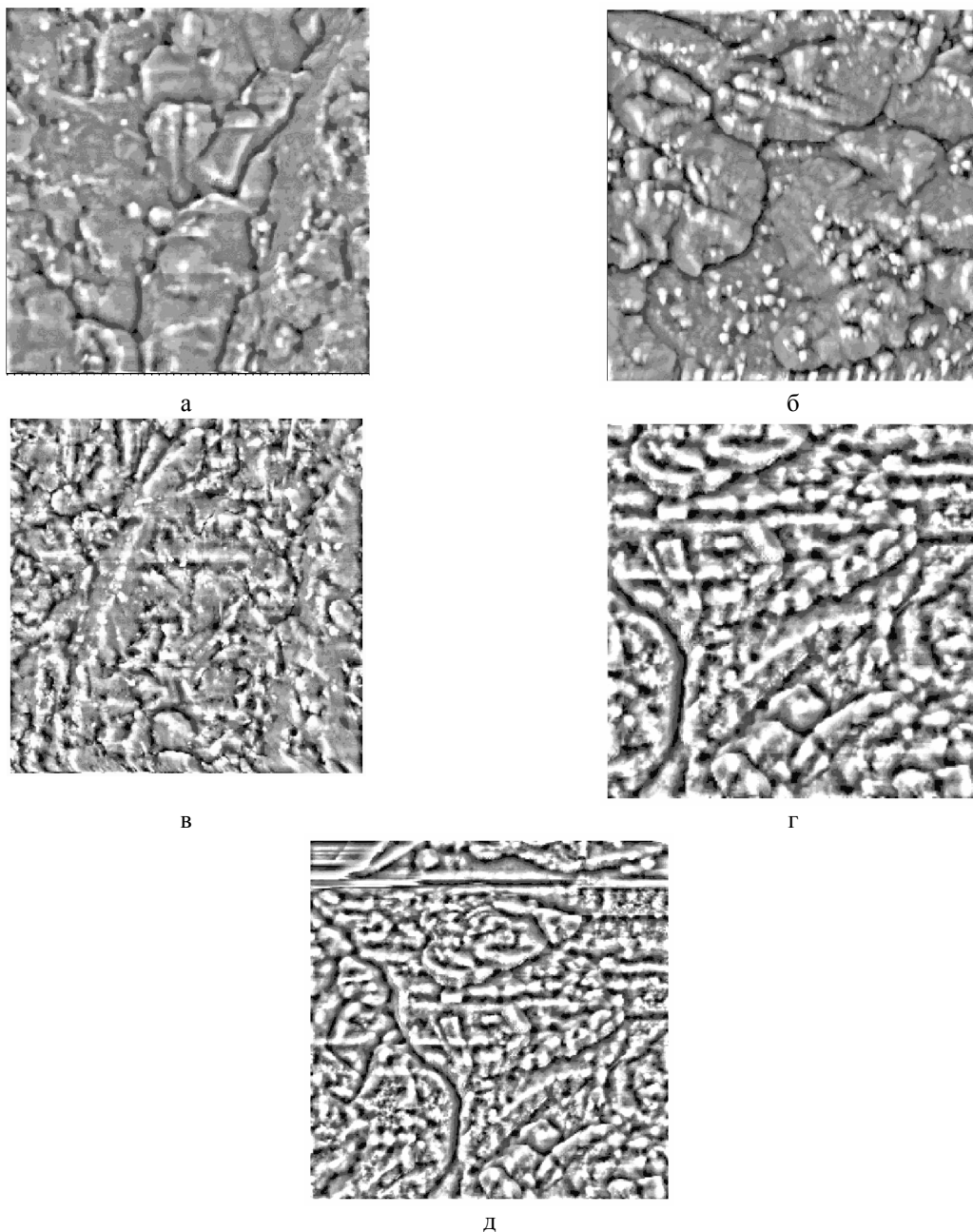


Рис. 3. Поверхня сколу середньоморфізованого вугілля марки К масиву окремих фракцій з густиною (г/см³):
а – <1,25; б – 1,25–1,26; в – 1,26–1,27; г – 1,27–1,28; д – 1,28–1,30

даних використали теорію фракталів, яка дала можливість розрахувати фрактальну розмірність d_f ієрархічної структури поверхні окремих фракцій на поверхні сколів дослідних проб вугілля. За результатами розрахунку фрактальної розмірності надмолекулярних утворень на поверхні сколів окремих фракцій вугілля марок ДГ та К зведені у табл. 5.

Отримані результати розрахунку фрактальної розмірності показують, що збільшення показника густини окремих фракцій вугілля марок ДГ та К приводить до організації та рекомбінації наноструктурних утворень з формуванням більш розвиненої конфігурації надмолекулярних утво-

рених — графітосом, а складність структури графітосом вищий у вугілля марки ДГ, ніж у вугілля марки К.

Цей факт простежується практично в усіх дослідних фракціях проб вугілля ДГ та К, за винятком фракції з густиною 1,26–1,27 г/см³, після якої зразки за показником фрактальної розмірності практично однакові.

Отже, на підставі здійснених досліджень з вивчення надмолекулярної структури можна визначити, що спіклива частина малометаморфзованого вугілля знаходиться у фракціях з показником густини 1,27–1,28, а також 1,28–1,30, які мають схожу будову з подібними фракціями

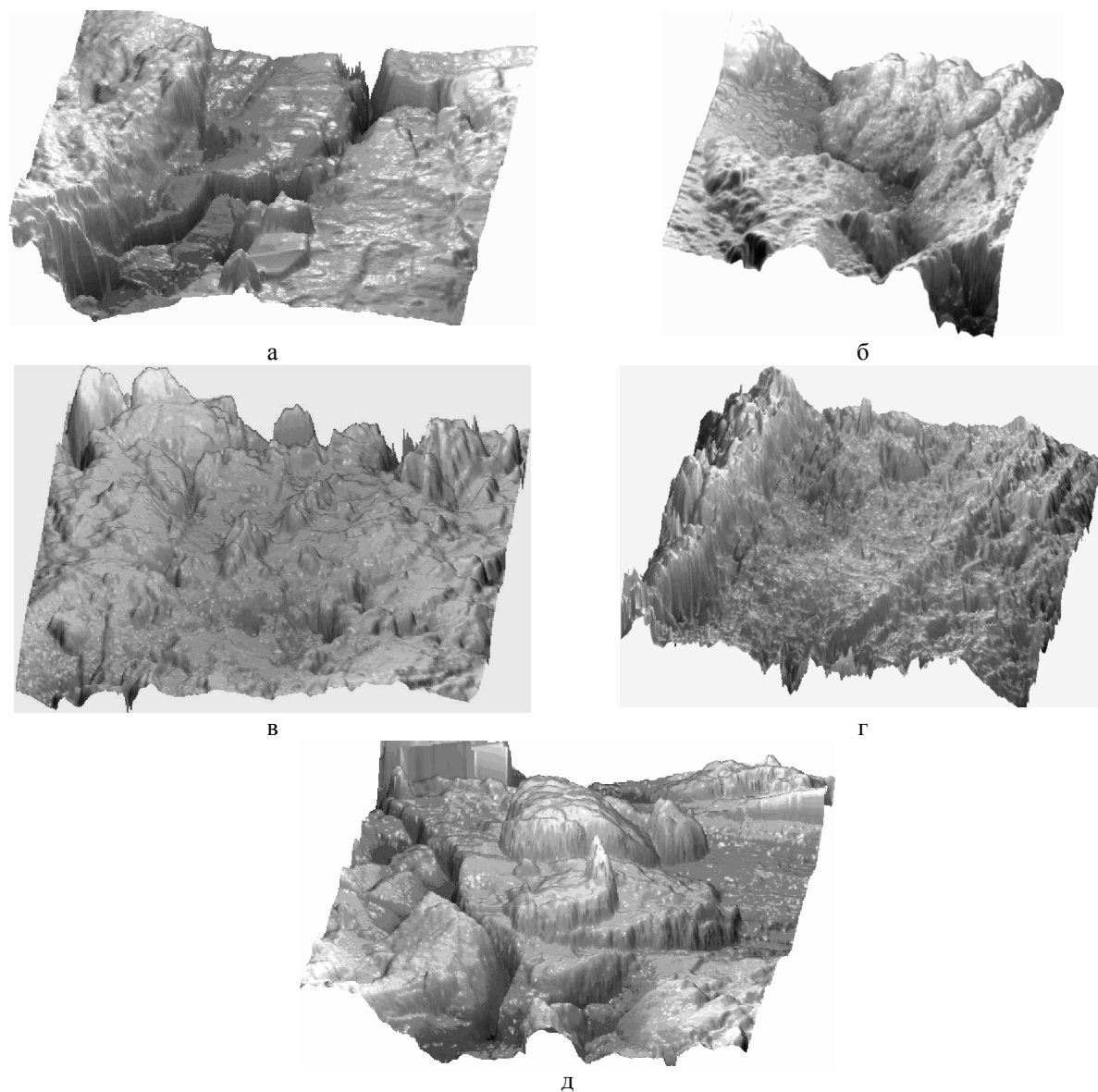


Рис. 4. Тривимірні топографічні зображення поверхні сколу окремих фракцій вугілля марки ДГ з показником густини (г/см³): а — <1,25; б — 1,25–1,26; в — 1,26–1,27; г — 1,27–1,28; д — 1,28–1,30

середньометаморфізованого вугілля. Тому для подальших досліджень використовувалась суміш фракцій 1,27–1,28 та 1,28–1,30, яка мала назву «густинна фракція».

При проведенні досліджень використовували середньозмінну шихту коксохімічного підприємства ПРАТ «ЮЖКОКС». Для наочності, окрім проб з добавками густинної фракції, була також складена вугільна шихта, яка вміщувала до себе збагачене вугілля марки ДГ. Так було складено три вугільні шихти: № 1 Середньозмінна; № 2 Шихта з 10% густинної фракції; № 3 Шихта з 10% збагаченого вугілля марки ДГ. Густинна фракція та вугілля марки ДГ в шихту додавали замість вугілля марки К.

З одержаними шихтами було здійснено дослідження на установці NSC. У процесі дослідження зі складених вугільних шихт одержали зразки коксу, що визначали за показниками реакційної здатності (CRI) та міцності коксу після реакції з CO₂ (CSR). Результати дослідження наведено у табл. 6.

Результати аналізу показали, що кокс, який був отриманий з вугільної шихти № 2 та № 3, істотно розрізняється за показниками реакційної здатності (CRI) та міцності (CSR). Так, додавання лише густинної фракції малометаморфізованого вугілля марки ДГ не змінює показники якості, а введення самого вугілля суттєво підвищує реакційну здатність і знижує міцність коксу після реакції. Також варто зазначити, що додавання збагаченого вугілля марки ДГ до вугільної шихти, на відміну від густинної фракції з цього вугілля, призводить до суттєвого погіршення

якісних показників коксу. Цей факт зумовлений негативним впливом легкої фракції вугілля, а саме низькомолекулярні органічні сполуки в процесі коксування сприяють погіршенню секстету вуглецевого тіла доменного коксу. Отримані результати досліджень підтверджують обґрунтованість виділення окремих фракцій за густиною з малометаморфізованого вугілля марки ДГ, що дозволить суттєво задіяти їх потенціал для отримання доменного коксу поліпшеної якості.

Висновки

Результати здійснених досліджень та лабораторних коксувань вугільних шихт, які містять густинну фракцію малометаморфізованого вугілля, показують, що такий технологічний підхід сприяє внутрішньомолекулярній зміні протікання реакцій термічного розкладання в процесі коксування, за рахунок чого створюються умови поліпшення міцнісних та реакційних характеристик доменного коксу.

Обмеження використання запропонованого методу можуть бути пов'язані з використанням додаткового обладнання, технічними умовами та розробкою технологічного завдання щодо впровадження процесу в промислові умови. Недоліками запропонованого технологічного рішення є те, що розроблена пілотна установка реалізована в умовах ПРАТ «ЮЖКОКС», а не в технологічному циклі центральної збагачувальної фабрики.

Розвиток такого технологічного підходу є перспективним. Це пов'язано з тим, що на центральній збагачувальній фабриці можливо організовувати виробництво відповідної кількості густинної фракції з вугілля марки ДГ у достатній

Таблиця 5

Фрактальність окремих фракцій вугілля

Показник густини дослідного зразка, г/см ³	Фрактальна розмірність середньозваженого дослідного зразка, d _f			
	К		ДГ	
<1,25	1,73	1,75	1,30	1,30
1,25–1,26	1,78	1,79	1,50	1,50
1,26–1,27	1,83	1,84	1,57	1,57
1,27–1,28	1,83	1,84	1,84	1,83
1,28–1,30	1,86	1,86	1,86	1,86

Таблиця 6

Якісні показники доменного коксу

Номер шихти	Середньозважені показники якості коксу, %			
	CSR	CSR	CRI	CRI
1	49,50	50,00	26,50	28,00
2	49,90	50,50	24,50	26,50
3	43,10	40,50	35,50	37,50

кількості. При одержанні густинної фракції з малометаморфізованого вугілля у водному розчині хлористого цинку (ZnCl_2) за густиною у важких середовищах не потрібно впроваджувати енергоємні процеси та реалізовувати значні капіталовкладення. Всі необхідні хімічні реагенти, реактиви, сировинні матеріали та обладнання є в технологічному циклі центральної збагачувальної фабрики.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Eisbacher-Lubenski J., Kiltinger F., Pichter S.* High-temperature changes of coke in blast furnace during iron production: forensic psychiatric resource page // *Proc. Eur. Coke and Ironmaking Congress*. – Bardolino, Italy, 2024.
2. *Correlation* between the concentration of aromatic hydrocarbons and bap from coke oven fugitive emissions in Shanxi, China / Li Z., Mu L., Peng L., Bai H.L., Liu X.F., Du B. // *Aerosol Air Qual. Res.* – 2012. – Vol.12. – P.1373-1378.
3. *Variations* in concentrations and compositions of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coals related to the coal rank and origin / Laumann S., Micic V., Krüge M.A., Achten C., Sachsenhofer R.F., Schwarzbauer J., Hofmann T. // *Environ. Pollut.* – 2011. – Vol.159. – P.2690-2697.
4. *Analysis* of carboxyl group in coal and coal aromaticity by Fourier transform infrared (FT-IR) spectrometry / Geng W., Nakajima T., Takanashi H., Ohki A. // *Fuel*. – 2009. – Vol.88. – P.139-144.
5. *Jaber J.O., Probert S.D.* Non-isothermal thermogravimetry and decomposition kinetics of two Jordanian oil shales under different processing conditions // *Fuel Process. Technol.* – 2000. – Vol.63. – P.57-70.
6. *Modification* of the clinkering properties of coal I. Profound enrichment / Starovoyt A.G., Sorokin E.L., Kushnareva T.A. // *Coke Chem.* – 2019. – Vol.62. – No. 5. – P.174-176.
7. *Kushnareva T.A., Sorokin E.L.* Clinkering properties of individual fractions of enriched poorly clinkering coal // *Coke Chem.* – 2018. – Vol.61. – No. 2. – P.38-41.
8. *A comparison* of different methods for predicting coal devolatilisation kinetics / Arenillas A., Rubiera F., Pevida C., Pis J. // *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. – 2001. – Vol.58-59. – P.685-701.
9. *Modification* of the properties of coal electrode pitch / Starovoyt A., Malyi E., Chemerinskiy M., Starovoyt M. // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. – 2023. – No. 6. – P.187-195.

Надійшла до редакції 07.11.2024

INVESTIGATION OF THE MOLECULAR AND SUPRAMOLECULAR STRUCTURE OF INDIVIDUAL FRACTIONS OF LOW-METAMORPHOSED COAL FOR THEIR INCLUSION IN THE COKING PROCESS AS PART OF THE COAL CHARGE

A.G. Starovoyt *, E.I. Malyi, E.L. Sorokin

Ukrainian State University of Science and Technologies,
Dnipro, Ukraine

* e-mail: a.g.starovoyt@ust.edu.ua

The molecular and supramolecular structures of individual fractions of poorly metamorphosed (low-metamorphosed) coal were investigated in order to involve these fractions in the coking process as part of the coal charge. Existing technologies that incorporate low-metamorphosed coal into coking blends do not adequately engage the entire organic mass of the coal, which negatively affects the coke reactivity index and coke strength after CO_2 reaction. Therefore, we propose a technological solution based on the selective use of the high-density portion of the organic mass of low-metamorphosed coal, whose molecular and supramolecular structures correspond to those of the organic mass of standard K-grade coal. Research results showed that removal of this dense organic mass of low-metamorphosed coal as a separate fraction allowed a reduction of up to 10% in the amount of K-grade coal required in the coking charge. It was established that this isolated high-density fraction promotes intensified association of supramolecular substances with graphite, and a clear relationship between the molecular and supramolecular structures of these separate fractions was revealed. These scientific and experimental findings provide the basis for developing technological principles to expand the raw-material base for industrial coking.

Keywords: low-metamorphosed coal; organic mass of coal; coking charge; coke reactivity index; coke strength after reaction with CO_2 .

REFERENCES

1. *Eisbacher-Lubenski J., Kiltinger F., Pichter S.* High-temperature changes of coke in blast furnace during iron production: forensic psychiatric resource page. In: *Proceedings of the European Coke and Ironmaking Congress*; 2024 October 16-18; Bardolino, Italy.
2. Li Z, Mu L, Peng L, Bai HL, Liu XF, Du B. Correlation between the concentration of aromatic hydrocarbons and BaP from coke oven fugitive emissions in Shanxi, China. *Aerosol Air Qual Res.* 2012; 12: 1373-1378. doi: 10.4209/aaqr.2011.11.0190.
3. Laumann S, Micic V, Krüge MA, Achten C, Sachsenhofer RF, Schwarzbauer J, Hofmann T. Variations in concentrations and compositions of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coals related to the coal rank and origin. *Environ Pollut.* 2011; 159: 2690-2697. doi: 10.1016/j.envpol.2011.05.032.
4. Geng W, Nakajima T, Takanashi H, Ohki A. Analysis of carboxyl group in coal and coal aromaticity by Fourier transform infrared (FT-IR) spectrometry. *Fuel.* 2009; 88: 139-144. doi: 10.1016/j.fuel.2008.07.027.
5. Jaber JO, Probert SD. Non-isothermal thermogravimetry and decomposition kinetics of two Jordanian oil shales under different processing conditions. *Fuel Process Technol.* 2000; 63: 57-70. doi: 10.1016/S0378-3820(99)00064-8.

6. Starovoyt AG, Sorokin EL, Kushnareva TA. Modification of the clinkering properties of coal 1. Profound enrichment. *Coke Chem.* 2019; 62: 174-176. doi: 10.3103/S1068364X1905003X.

7. Kushnareva TA, Sorokin EL. Clinkering properties of individual fractions of enriched poorly clinkering coal. *Coke Chem.* 2018; 61: 38-41. doi: 10.3103/S1068364X18020047.

8. Arenillas A, Rubiera F, Pevida C, Pis JJ. A comparison of different methods for predicting coal devolatilisation kinetics. *J Anal Appl Pyrolysis.* 2001; 58-59: 685-701. doi: 10.1016/S0165-2370(00)00183-2.

9. Starovoyt A, Malyi E, Chemerinskiy M, Starovoyt M. Modification of the properties of coal electrode pitch. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.* 2023; (6): 187-195. doi: 10.32434/0321-4095-2023-151-6-187-195.