

УДК 549:553.94

## СКЛАД МІНЕРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ВУГЛЕВІСНИХ ПОРІД ЯК ПОКАЗНИК УМОВ ПІДЗЕМНОЇ ГАЗИФІКАЦІЇ ВУГІЛЛЯ

Ю. Стефанік<sup>1</sup>, Д. Брик<sup>1</sup>, В. Храмов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України,  
79053 м. Львів, вул. Наукова, 3а*  
<sup>2</sup>*НАК “НАФТОГАЗ України”*

Розглянуто вплив мінеральної частини вуглевмісних порід на процес підземної газифікації вугілля (ПГВ). Температура плавлення мінеральних компонентів вугілля є важливим критерієм придатності конкретних вугільних пластів для проведення ПГВ.

*Ключові слова:* вугілля, мінеральні компоненти, зола вугілля, температура плавлення, підземна газифікація вугілля.

Процес підземної газифікації вугілля (ПГВ) відбувається при високих температурах, що може призвести до плавлення його мінеральної частини. Якщо температура газифікації є вищою або дорівнює температурі плавлення мінеральних компонентів вугілля, то розплавлений шлак стає нездоланною перешкодою для процесу:

- рідка фаза золи огортає вугілля і припиняє доступ до нього газифікувального реагенту (повітря, кисню, води). Це призводить до значних перевитрат реагентів, зменшення об'єму зони синтезу горючих газів, неможливості контакту вугілля з реагентами і в решті-решт до повного загасання процесу ПГВ;
- закупорює прохідні канали, що призводить до суттєвого зменшення коефіцієнта охоплення вугільного пласта процесом ПГВ, різкого зростання тиску газифікації, а отже, до невиправданих енергетичних витрат на доставку реагенту в зону синтезу.

Якщо в процесі ПГВ плавиться покрівля та/або підшва вугільного пласта, то це призводить до таких самих негативних наслідків, як і в разі плавлення мінеральної складової вугілля. Отже, температура плавлення вуглевмісних порід та мінеральної частини вугілля – один із важливих чинників, що впливає на процес ПГВ і є критерієм придатності конкретного вугільного пласта для проведення процесу підземної газифікації вугілля. Цей критерій однозначно забороняє газифікувати ті ділянки вугільних пластів, для яких температура плавлення покрівлі й підшви або температура плавлення мінеральної частини вугілля є нижчою або дорівнює температурі процесу газифікації.

Температура плавлення будь-якої речовини залежить лише від хімічного складу та зв'язків між її компонентами. Проте складність мінеральної частини вугілля, а також різноманітність форм її зв'язку з органічною масою зумовлюють значні труднощі у визначенні мінеральних компонентів вугілля. У процесі ПГВ під дією високих температур відбувається процес деструкції мінеральної частини вугілля, внаслідок чого утворюється твердий залишок (зола). Незважаючи на те, що хіміч-

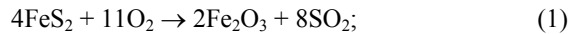
ний склад золи не можна точно перерахувати на кількість мінеральної речовини вугілля і він не може характеризувати кількість та якість мінералів, що є у складі вугілля, хімічний аналіз золи – один із головних та доступних методів у разі оцінювання придатності вугілля для технологічних та енергетичних цілей.

Зола вугілля складається головно з кремнезему, глинозему, оксидів заліза, магнію, титану, фосфору, кальцію та ін. [1]. Вміст цих сполук залежить від різних чинників: вихідного складу материнського рослинного матеріалу вугілля; середовища, в якому воно накопичувалося (ландшафтні, гідрохімічні та мікробіологічні особливості); умов перетворення рослинної маси в торф під дією біохімічних чинників до часу покриття родовища породами покрівлі (перша стадія вуглеутворення); перетворення в надрах Землі торфу у вугілля залежно від часу, температури й тиску (друга стадія вуглеутворення); температури й тиску геотехнологічного процесу підземної газифікації вугілля.

Термічне перетворення мінеральної частини вугілля в процесі ПГВ відбувається зі зміною її маси.

Головні процеси, що призводять до зменшення в золі маси мінеральних компонентів такі:

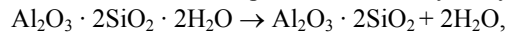
пірит у разі надлишку повітря згоряє з утворенням оксиду заліза та сірчастого ангідриду [2]:



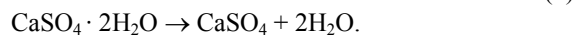
карбонати повністю розкладаються при температурі горіння понад 900°C [3]:



глинисті речовини, силікати та гіпс втрачають конституційну воду [4]:

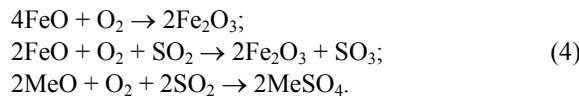


або



Деякі мінеральні речовини в умовах озолення можуть частково випаровуватися, наприклад, хлориди лужних металів, оксид цинку та ін.

Одночасно з перетворенням мінеральної частини вугілля, внаслідок чого збільшується маса, в процесі газифікації відбуваються також реакції, що призводять до збільшення кількості золи:

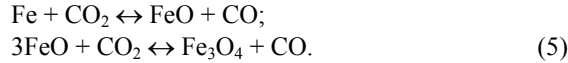


З викладеного випливає, що мінеральна частина вугілля суттєво змінюється внаслідок його термічного перетворення, тому кількість золи не дорівнює кількості мінеральних речовин у вугіллі.

Хімічний аналіз золи, яку отримують унаслідок лабораторного спалювання вугілля, дає змогу приблизно розрахувати мінеральну масу, однак не дає майже жодної інформації про температуру плавлення цієї маси. Ще складніші перетворення мінеральної частини вугілля в процесі його газифікації: вони суттєво впливають як на склад, так і на температуру плавлення золи.

Температура плавлення однієї золи коливається в певних межах залежно від умов термічного перетворення вугілля. Найважливішим чинником є характер газового середовища, в якому відбувається процес. Різниця в температурах плавлення золи одного вугілля, визначена в окиснювальному або відновлювальному середовищі, може сягати 200–300°C [5].

Головною причиною цього явища є наявність двох рівноваг у системі CO, CO<sub>2</sub>, Fe, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а саме:



За однакових об'ємів CO і CO<sub>2</sub> у сумішах при температурі вище 1000°C не відбуватимуться ні відновлення до металевого заліза, ні окиснення до Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, оскільки в цих умовах стійкою сполукою є FeO, який не змінюється і при вищих температурах.

Найнижчу температуру плавлення золи дає напіввідповне газове середовище, яке складається з приблизно однакових об'ємів CO і CO<sub>2</sub>, оскільки відомо, що FeO і SiO<sub>2</sub> утворюють легкоплавкі сполуки, тоді як вищі оксиди заліза – тугоплавкі силікати. В окисненому середовищі, а також у середовищі повного окиснення FeO переходить у вищі оксиди заліза, у відновлюваному – відновлюється до елементного заліза. Отже, як у першому, так і в другому випадках температури плавлення золи будуть дещо завищеними, що необхідно враховувати в разі вибору вугільних пластів для ПГВ.

Попередню інформацію про температуру плавлення золи можна отримати з такого співвідношення [6]:

$$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}}. \quad (6)$$

Як бачимо з (6), найбільш тугоплавкою є зола, що за складом наближається до алюмінієвого силікату.

#### Середній хімічний склад золи вугілля

Пласт	Кількість проб	SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> з	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +CaO +MgO	$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}}$	Температура плавлення, °C
Волинське родовище					
n <sub>7</sub>	11	60,00	31,18	1,92	1270
n <sub>8</sub>	21	44,30	45,18	0,98	1110
Міжрічінське родовище					
v <sub>6</sub>	7	66,71	27,82	2,40	1330
n <sub>7</sub>	19	43,01	40,21	1,07	1120
n <sub>7</sub> <sup>1</sup>	3	65,17	24,18	2,70	1355
n <sub>7</sub> <sup>B</sup>	23	63,04	28,83	2,19	1310
n <sub>8</sub>	8	66,03	27,19	2,43	1335
n <sub>8</sub> <sup>B</sup>	26	61,99	32,04	1,94	1275
n <sub>9</sub>	24	72,73	22,24	3,27	1395

Високий вміст оксидів Fe, Ca і Mg знижує температуру плавлення золи. Це не означає, що CaO, MgO і Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> є легкоплавкими. Навпаки, якби вони були в золі у вільному стані, зола була би дуже тугоплавкою. Проте з іншими компонентами вони можуть давати легкоплавкі сполуки. Наприклад, FeS<sub>2</sub> активно реагує в присутності кисню з SiO<sub>2</sub>, утворюючи легкоплавкий силікат заліза:



Оскільки у вугіллі завжди є багато  $\text{SiO}_2$ , то утворення більшої чи меншої кількості легкоплавкого силікату буде залежати від наявності у вугіллі Fe, Ca і Mg.

У таблиці наведено дані хімічного складу золи вугілля пластів Волинського та Міжрічинського родовищ [6], де значення емпіричного відношення (6) змінюється від 0,98 до 3,27.

Для пластів  $n_7^B$  та  $n_9$  температуру плавлення золи визначали співробітники лабораторії ДонВДІ. Базуючись на цих даних, в останній колонці таблиці наведена приблизна оцінка температури плавлення золи, яка змінюється в межах від 1100 до 1395°C. Окрім пласта  $n_8$  Волинського родовища, зола є тугоплавною, і ці пласти придатні для процесу ПГВ.

1. *Агроскин А. А.* Химия и технология угля. М., 1969.
2. *Камнева А. Н.* Химия горючих ископаемых. М., 1974.
3. *Нестеренко Л. Л., Бирюков Ю. В., Лебедев В. А.* Основы химии и физики горючих ископаемых. К., 1987.
4. *Аронов С. Г., Нестеренко Л. Л.* Химия твердых горючих ископаемых. Харьков, 1960.
5. *Гофман М. В.* Прикладная химия твердого топлива. М., 1963.
6. *Каменные угли Львовско-Волынского бассейна / Под ред. В. З. Ершова.* Львов, 1978.

#### COMPOSITION OF A MINERAL PART OF COAL CONTAINING ROCKS AS AN INDICATOR OF COAL UNDERGROUND GASIFICATION CONDITIONS

Yu. Stefanyk<sup>1</sup>, D. Bryk<sup>1</sup>, V. Khramov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals,  
Naukova st. 3a, UA – 79053 Lviv, Ukraine;*

<sup>2</sup>*NAC "NAFTOGAS of Ukraine"*

The influence of coal containing combinations on the process of underground gasification of coal (UGC) is considered. The melting point of the coal mineral part is the important criterion of concrete coal seams fitness for conducting UGC.

*Key words:* coal, mineral components, coal ash, melting point, underground gasification of coal.

*Стаття надійшла до редколегії 23.04.2001*