

3. Лозинский, М.Г. О поведении чистого и технического железа в процессе деформации при циклических изменениях температуры [Текст] / М.Г.Лозинский, И.С.Семенова, А.Е.Федоровский // Известия АН СССР. Metallургия и топливо. – 1969. - №6. – С.24-36.
4. De Jang, M. Mechanical properties of iron-carbon some iron alloys while undergoing allotropic transformation [Text] / M. De Jang, G.Rathenau // Acta metallurgical. – 1959. – v.7, №4. – P. 246-253.
5. Clinard, F. Strength of iron during allotropic transformation [Text] / F. Clinard, V.Sherby // Acta metallurgical. – 1964. – v.12, №8. – P. 911-919.
6. Greenwood, G. The deformation of metals under small stresses during phase transformation [Text] // Proceeding of Royal Society. – 1965. – v.A286, №1394. – P.403-422.
7. Poirier, J. On transformation plasticity [Text] / J. Poirier // J. Geophys. Res. – 1982. – v.87. – P.6791-6797.
8. Гегузин, Я.Е. Влияние направления превращения на ползучесть поликристаллического железа [Текст] / Я.Е.Гегузин, В.И.Кибец, М.И.Чеканов // ФММ. – 1980. – т.49, вып.5. – С.1088-1092.
9. Шаповалов, В.И. Влияние водорода на структуру и свойства Fe-C сплавов [Текст] / В.И.Шаповалов.- М.: Metallургия, 1982. - 232 с.

*У даній роботі розглянуто синтез цеолітних матеріалів на основі золи-виносу Добротвірської ТЕС, гідротермічним методом та методом, який передбачає попереднє сплавлення золи-виносу з кристалічним лугом*

*Ключові слова: зола-виносу ТЕС, синтез, цеоліт*

*В данной работе рассмотрен синтез цеолитных материалов на основе золы-уноса Добротворской ТЭС, гидротермическим и методом, который предполагает предварительное сплавление золы-уноса с кристаллической щелочью*

*Ключевые слова: зола-уноса ТЭС, синтез, цеолит*

*In this paper we consider the synthesis of zeolite materials based on fly ash Dobrotvor TPP hydrothermal method, and method which involves a preliminary fusion of fly ash with a crystalline alkali*

*Key words: fly ash of TPP, synthesis, zeolite*

УДК 549.67

## СИНТЕЗ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ЦЕОЛІТНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ЗОЛИ ВІНОСУ ДОБРОТВІРСЬКОЇ ТЕС

**Я.М. Гумницький**

Доктор технічних наук, професор\*

Контактний тел.: 097-471-63-74

E-mail: jgumnitsky@ukr.net

**Г.А. Тижбір**

Аспірант\*

Контактний тел.: 097-671-93-82

E-mail: tyzhbir2000@yandex.ru

\*Кафедра екології та охорони навколишнього середовища

Національний університет «Львівська політехніка»  
вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

### 1. Вступ

На сучасних теплових електростанціях утворюється від 35 до 200 т відходів на 1кВт-год. електроенергії. Електростанція середньої потужності дає в рік близько 600 тисяч тонн відходів у вигляді золошлакових сумішей, які займають близько 6 га плодоносних земель [1]. На території України накопичено більше 100 млн. т золошлакової техногенної сировини, кількість якої щорічно збільшується більш, ніж на 10 млн. т [2]. Очевидно, що зола виносу створює значне навантаження

на навколишнє середовище і це визначає необхідність розробки ефективних методів її утилізації.

Зола виносу є дешевою альтернативою для заміни активованого вугілля та природних цеолітів, які на даний час широко використовуються як адсорбенти для очищення повітряного та водного середовища від забруднень. Однак, адсорбційна здатність золи виносу сильно залежить від її хімічного складу (який, в свою чергу, залежить від умов утворення вугілля, технології його спалення тощо) і, як правило, є низькою.

Модифікація золи виносу шляхом фізичної і хімічної обробки дозволяє підвищити її адсорбційну здатність та, як результат, цінність в промисловому застосуванні. Зола виносу містить алюмосилікати, які є потенційним джерелом для синтезу цеолітних матеріалів.

Синтез цеолітів – високо-технічного промислового продукту, при обробленні золи виносу лужними реагентами – є добре відомим методом, описаним багатьма авторами [4,5,11].

На даний час існує багато патентів та технічної літератури, що пропонують різні методи активації золи виносу для синтезу на її основі цеолітів. Усі ці методології базуються на розчиненні Al-Si-вмісних фаз золи виносу у лужному розчині (в основному NaOH та КОН р-нах), з подальшим осадженням цеолітного матеріалу.

Згідно літературних даних, серед методів синтезу цеолітних матеріалів на основі золи виносу, можуть бути використані наступні типи процесів [3]:

- Класична лужна конверсія золи виносу. Цей метод базується на комбінації різних співвідношень лужний розчин : зола виносу з температурою, тиском і часом реакції до появи цеолітних матеріалів різного типу [4,8].

- Шігемото та Зінгер [6,7] урізноманітнили класичний процес шляхом введення стадії злиття дуги та золи виносу перед загальноприйнятою лужною конверсією. В результаті цього методу, можна отримати такі типи цеолітів, як цеоліт А та фюзит.

- Суха конверсія, або метод розплавлених солей. Для уникнення утворень стічних вод під час синтезу цеолітів розвивається стратегія синтезу основана на використанні суміші солей замість водного розчину в якості реакційного середовища. Цей процес має свої обмеження, оскільки до цих пір, було синтезовано цеолітні матеріали з низькою катіонообмінною здатністю, також в цьому методі потрібні високі температури для активації процесу [9,10].

- Холлман та ін. (1999) [11] розробили двоетапну процедуру синтезу, що дозволяє отримувати > 99% чистого цеолітного продукту шляхом додавання Si-вмісного лужного розчину до золи виносу. Крім того, твердий залишок, що не прореагував після цієї стадії, може бути перетворений у цеолітний продукт за допомогою класичної лужної конверсії, як другого етапу. Цей процес має перевагою отримання чистих цеолітних матеріалів, а не суміші цеоліт - залишок золи виносу, як це є у інших методах. Окрім того, використовуючи цей метод можна отримати цеоліти з великим об'ємом пор, наприклад цеоліт X та A. Однак, цей метод є найбільш енергозатратним.

В даній статті досліджувалася оптимізація умов синтезу цеолітних матеріалів на основі золи виносу Добротвірської ТЕС гідротермічним та методом, який передбачає попереднє сплавлення золи-виносу з кристалічним лугом.

## 2. Експеримент

### 2.1. Матеріали

Зола виносу – мінеральна речовина, що залишається після спалювання вугілля при температурі біля

800°C при доступі повітря. Основні компоненти золи – оксиди кремнію, алюмінію, заліза, кальцію, магнію, натрію, калію. Вторинне значення мають оксиди титану, фосфору, марганцю. В загальному, зола виносу має гідрофільну поверхню і пористу структуру. На рис. 1 зображені типові мікрофотографії золи виносу.

Зразок золи виносу відібрали безпосередньо з резервуарів Добротвірської ТЕС та перед початком експерименту просушували при температурі 105°C протягом 2 год.

### 2.2. Синтез цеолітних матеріалів

Експеримент було виконано у тефлоновій посуді з застосуванням печі, оснащеної температурним регулятором та в термостатичній бані обладнаній перемішувачем.

#### 2.2.1. Гідротермічний метод

Зразки 1,2,3,4 отримали змішуючи золу виносу (40 г) з розчином NaOH (160 мл), після чого суміш піддавали кристалізації при 90°C та 107°C. Твердий залишок відфільтровували, промивали дистильованою водою до pH =10 і висушували при 105°C протягом 12год. Умови синтезу вказані у табл. 1.

Таблиця 1

Умови модифікації золи виносу гідротермічним методом

| № зразка | NaOH/зола-виносу | Концентрація NaOH | Час кристалізації, год | Температура кристалізації, °C |
|----------|------------------|-------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1        | 4/1              | 2 М               | 12                     | 107                           |
| 2        | 4/1              | 3 М               | 12                     | 107                           |
| 3        | 4/1              | 2М                | 6                      | 90                            |
| 4        | 4/1              | 3 М               | 6                      | 90                            |

#### 2.2.2. Метод сплавлення золи виносу з NaOH

Суміш NaOH і золи виносу у масовому співвідношенні 1.2/1 було змелено, піддано нагріванню у платиновому тиглі при 550°C протягом 1 години. Отриманий сплав було охолоджено до кімнатної температури, знову змелено, і до отриманої суміші додано дистильовану воду (1 г золи виносу/ 4 мл дистильованої води). Після цього, суміш збовтували у термостатичній бані протягом 12 та 24 годин при кімнатній температурі. Після цих дій, зразки було поміщено в сушильну шафу при температурі 100°C протягом 12 годин. В подальшому зразки відфільтрували, промили декілька раз дистильованою водою, і висушили при 105°C протягом 12 годин.

Таблиця 2

Умови модифікації золи виносу двоступеневим методом

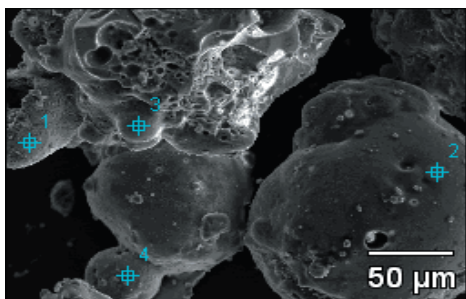
| № зразка | NaOH/зола-виносу | Температура сплавлення, °C | Час коливання, год | Гідротермічний метод |          |
|----------|------------------|----------------------------|--------------------|----------------------|----------|
|          |                  |                            |                    | Температура, °C      | Час, год |
| 5        | 1.2/1            | 550                        | 12                 | 100                  | 12       |
| 6        | 1.2/1            | 550                        | 24                 | 100                  | 12       |

## 3. Методи дослідження синтезованих продуктів

### 3.1. Електронно-мікроскопічні дослідження

Морфологію поверхні та хімічний склад отриманих зразків вивчали за допомогою скануючого елек-

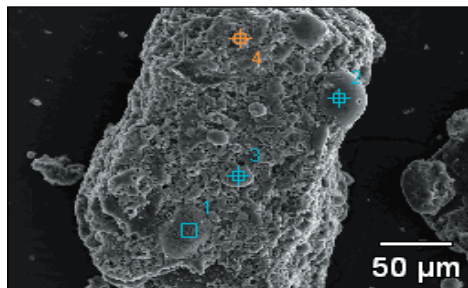
тронного мікроскопу. Діаметр електронного пучка складав 1 мкм, потенціал прискорення 15 кВ. Елементний аналіз виконувався для різних областей зразків площею 100 мкм<sup>2</sup> шляхом сканування електронним зондом, після чого результати було усереднено. Електронно-мікроскопічні зображення поверхні частинок золи виносу та синтезованих продуктів у вторинних електронах, отриманих за допомогою скануючого електронного мікроскопу при різних збільшеннях, наведено на рис. 1-3. Місця позначені цифрами вказують на номери спектрів, хімічний склад яких наведено у табл. 3-5.



а)

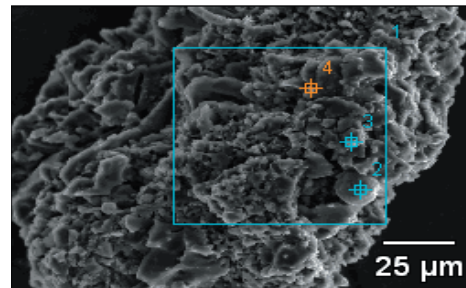
Рис. 1. Зображення поверхні частинок золи виносу при різних збільшеннях

Здійснюючи аналіз мікрофотографій золи виносу бачимо - більшість частинок мають сферичну, гладку поверхню, це свідчить про те, що основним компонентом золи виносу є скловидна алюмосилікатна фаза. Наявність пор різного діаметру та нерівна, зламана поверхня деяких частинок свідчать про присутність



а)

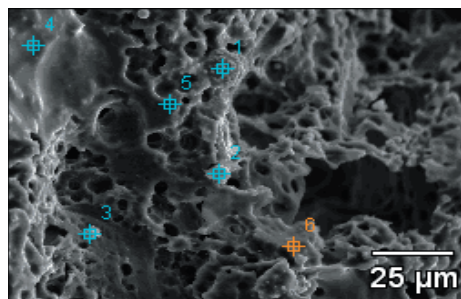
Рис.2. Зображення частинок модифікованої золи виносу 2М NaOH, час кристалізації 12 год. Зразок №1



б)

певних кристалічних фаз. З кристалічних фаз можуть бути присутні кварц, муліт, гематит. В невеликій кількості оксиди кальцію, магнію, сульфати, сульфіди.

З табл. За бачимо, що дані включення містять велику кількість вуглецю, берилію, кисню, заліза та кремнезему. Дані поелементного точкового аналізу (табл.3б (спектр 4, 5, 6)) включень з рис. 16 вказують на наявність карбону вище 90% - це включення незгорілого вугілля.



б)

Аналіз зображень на рис. 2 вказує на появу наростів кристалів на поверхні частинок, хоча ще помітно наявність алюмосилікатної скловидної фази, що підтверджується високою кількістю Be, Al, Si в точковому поелементному аналізі (табл. 4а, табл. 4б (спектр 2 і 3)) В

більшості нерівна та бугриста поверхня свідчить про наявність аморфних сполук. Дані рентгенофазового аналізу підтверджують наявність кварцу, муліту. За результатами поелементного точкового аналізу бачимо, що Fe, Mg, Ca практично повністю вимилися у реакційний розчин.

Таблиця 3а

Концентрація атомів, ат. %

| № спектру | Be-K  | C-K   | O-K   | Na-K | Mg-K | Al-K | Si-K | Ca-K | Ti-K | K-K  | Mn-K | Fe-K  |
|-----------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1         |       | 45.19 | 32.92 |      | 0.36 | 0.91 | 1.27 |      |      |      | 0.30 | 19.06 |
| 2         | 24.07 | 36.19 | 29.36 | 0.07 | 0.41 | 1.00 | 1.66 | 0.19 |      | 0.12 | 0.15 | 6.77  |
| 3         | 26.65 | 32.67 | 29.13 | 0.18 | 0.34 | 2.63 | 6.79 |      | 0.08 | 0.70 |      | 0.84  |
| 4         | 50.19 | 26.71 | 9.17  |      | 0.15 | 1.22 | 1.81 | 0.30 |      | 0.25 |      | 10.21 |

Таблиця 3б

Концентрація атомів, ат. %

| № спектру | C-K   | O-K   | Na-K | Mg-K | Al-K | Si-K | P-K  | S-K  | K-K  | Ca-K | Ti-K | Mn-K | Fe-K  |
|-----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1         | 43.91 | 40.69 |      | 0.83 | 2.95 | 1.04 |      |      |      | 0.17 |      | 0.33 | 10.09 |
| 2         | 49.44 | 38.79 | 0.29 | 0.21 | 4.37 | 5.58 | 0.02 | 0.06 | 0.54 | 0.10 | 0.09 |      | 0.45  |
| 3         | 46.44 | 42.23 | 0.36 | 0.20 | 3.99 | 5.46 |      |      | 0.60 |      | 0.14 |      | 0.57  |
| 4         | 91.67 | 7.51  | 0.08 | 0.06 | 0.12 | 0.13 |      | 0.16 |      | 0.17 |      |      | 0.08  |
| 5         | 99.93 |       |      |      |      |      |      | 0.07 |      |      |      |      |       |
| 6         | 96.90 | 2.88  |      | 0.04 | 0.04 | 0.06 |      | 0.06 |      | 0.02 |      |      |       |

Таблиця 4а

Концентрація атомів, ат. %

| № спектру | Be-K  | C-K   | O-K   | Na-K | Mg-K | Al-K | Si-K | K-K  | Ca-K | Ti-K | Mn-K | Fe-K |
|-----------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1         | 31.54 | 34.26 | 23.98 | 0.65 | 0.23 | 1.46 | 2.26 | 0.11 | 0.21 | 0.07 | 0.29 | 4.94 |
| 2         | 31.34 | 28.24 | 28.84 | 0.39 | 0.42 | 2.34 | 4.84 | 0.41 | 0.19 |      | 0.16 | 2.83 |
| 3         | 33.13 | 28.00 | 27.95 | 1.25 | 0.20 | 4.94 | 3.73 | 0.17 | 0.15 | 0.08 |      | 0.42 |
| 4         | 36.36 | 25.57 | 27.38 | 1.42 | 0.21 | 2.35 | 5.29 | 0.45 |      | 0.35 |      | 0.63 |

Таблиця 4б

Концентрація атомів, ат. %

| № спектру | Be-K  | C-K   | O-K   | Na-K | Mg-K | Al-K | Si-K | S-K  | K-K  | Ca-K | Ti-K | Mn-K | Fe-K |
|-----------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1         |       | 94.54 | 4.63  | 0.22 |      | 0.16 | 0.37 | 0.08 |      |      |      |      |      |
| 2         | 41.83 | 20.22 | 27.30 | 2.40 |      | 2.99 | 4.84 |      | 0.34 |      | 0.07 |      |      |
| 3         | 19.23 | 52.01 | 23.68 | 0.68 |      | 2.50 | 1.66 |      | 0.06 | 0.04 |      |      | 0.10 |
| 4         |       | 73.63 | 22.29 | 0.59 | 0.09 | 1.13 | 1.16 |      | 0.07 | 0.07 |      | 0.08 | 0.89 |

Велика кількість рівномірних кристалічних частинок на рис. 3 вказує на високу степінь конверсії золи виносу у цолітний матеріал. Дані точкового аналізу свідчать про повне вимивання Be, F, Mg, S та залишок невеликої кількості Ca, Ti, Fe, P. Зростання кількості Al, Si та Na на поверхні частинок вказують на повноту реакційного механізму, який схематично можна відобразити так:

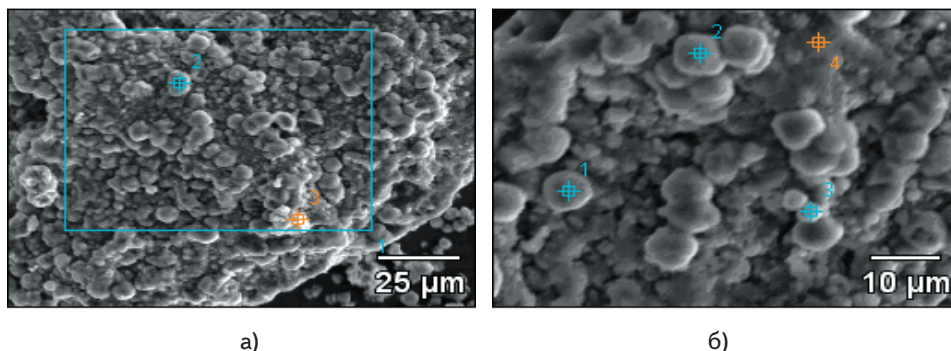
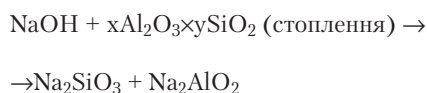
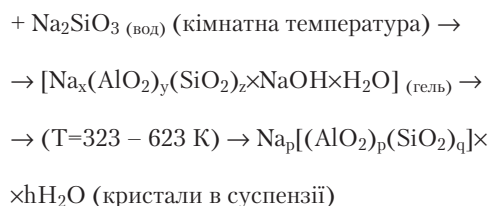


Рис. 3. Зображення частинок модифікованої золи виносу методом спікання з NaOH, час кристалізації 24 год. Зразок № 6



Таблиця 5а

Концентрація атомів, ат. %

| № спектру | Be-K  | C-K   | O-K   | F-K  | Na-K | Mg-K | Al-K | Si-K | K-K  | Ca-K | Ti-K | Fe-K |
|-----------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1         | 21.81 | 41.59 | 25.86 | 0.00 | 3.63 |      | 2.77 | 3.70 | 0.11 | 0.10 |      | 0.43 |
| 2         |       | 36.71 | 43.95 |      | 5.66 |      | 5.71 | 7.34 | 0.15 | 0.08 |      | 0.40 |
| 3         |       | 55.73 | 33.12 |      | 2.65 | 0.93 | 1.30 | 4.17 | 0.17 | 0.23 | 0.17 | 1.52 |

Таблиця 5б

Концентрація атомів, ат. %

| № спектру | C-K   | O-K   | Na-K | Mg-K | Al-K | Si-K | P-K  | K-K  | Ca-K | Ti-K | Fe-K |
|-----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1         | 37.06 | 43.82 | 5.63 |      | 5.62 | 7.35 |      | 0.09 |      | 0.08 | 0.35 |
| 2         | 38.27 | 44.11 | 5.40 |      | 5.12 | 6.59 |      | 0.10 |      | 0.03 | 0.38 |
| 3         | 45.33 | 40.58 | 4.25 |      | 4.12 | 5.30 | 0.05 | 0.11 |      |      | 0.27 |
| 4         | 47.47 | 34.75 | 6.05 | 0.00 | 4.67 | 6.29 |      | 0.21 | 0.15 |      | 0.42 |

### 3.2. Визначення мінерального складу отриманих продуктів за допомогою рентгенофазового аналізу

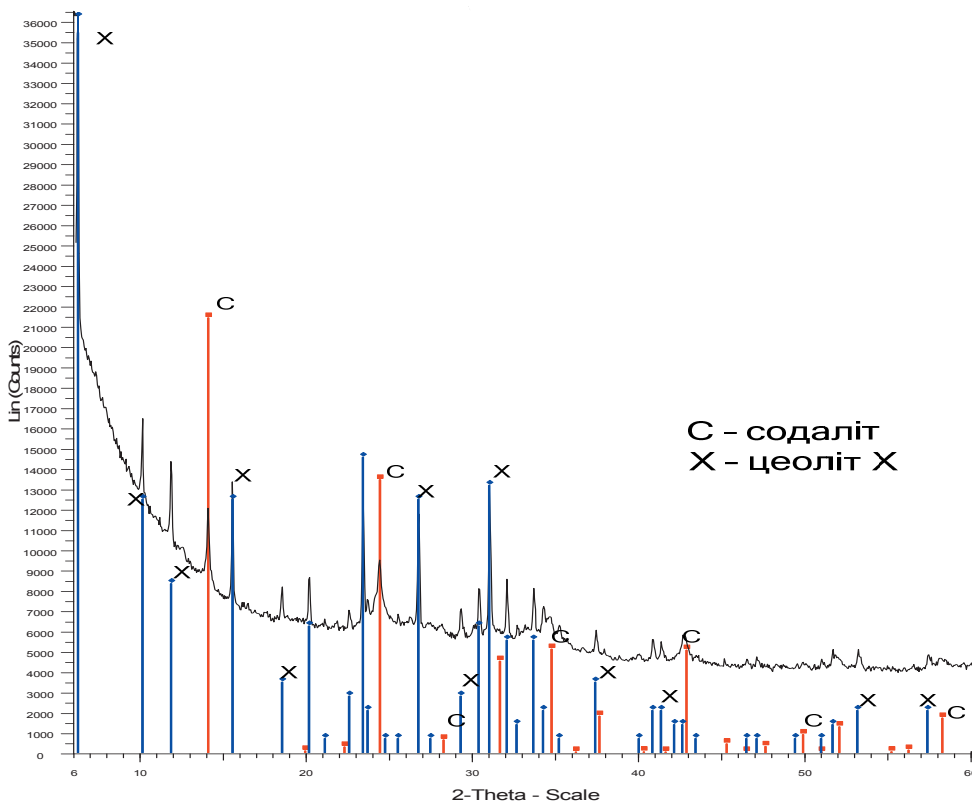


Рис. 4. Дифрактограма цеолітних фаз отриманих в умовах модифікації золи виносу методом сплавлення золи з NaOHкр, час кристалізації 12 год. Зразок 5

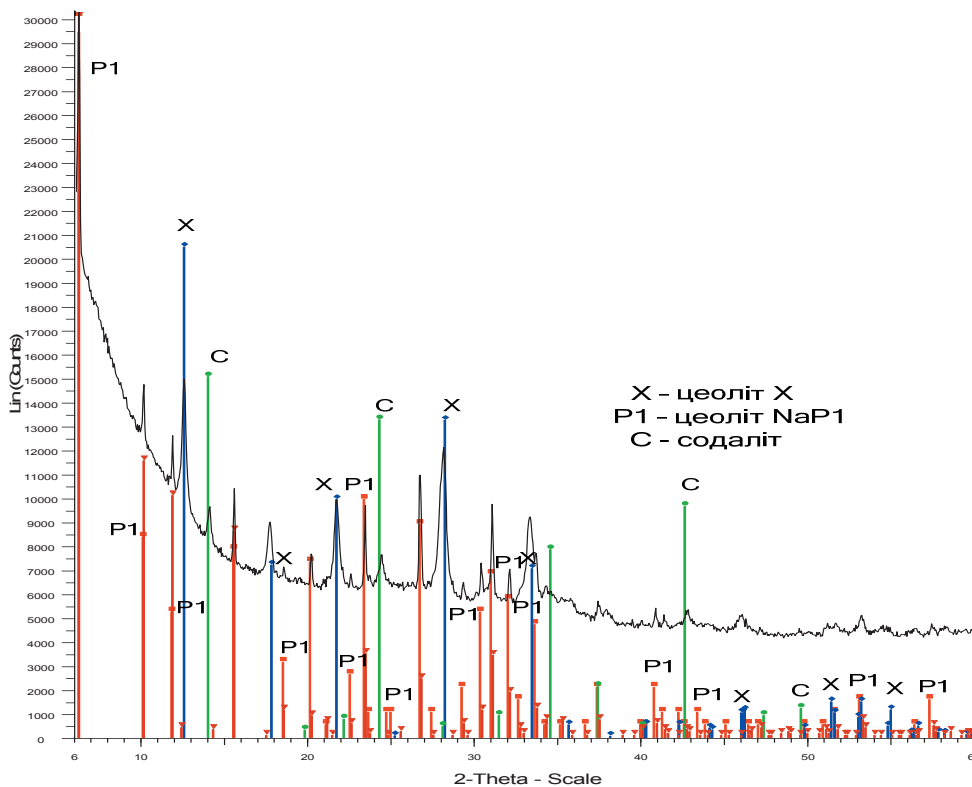


Рис. 5. Дифрактограма цеолітних фаз отриманих в умовах модифікації золи виносу методом сплавлення золи з NaOHкр, час кристалізації 24 год. Зразок 6



**Таблиця 6**

**Мінеральний склад синтезованих продуктів отриманий за допомогою рентгенофазового аналізу**

| Номер зразка | Отримані продукти                           |
|--------------|---|
| 1            | кварц, муліт, фюзит                         |
| 2            | муліт, кварц, фюзит, цеоліт X, цеоліт Na-P1 |
| 3            | кварц, кальцит, муліт                       |
| 4            | муліт, кальцит, кварц                       |
| 5            | цеоліт X, содаліт                           |
| 6            | цеоліт Na-P1, цеоліт X, содаліт             |

#### 4. Результати і обговорення

Відомо, що в гідротермічному методі вихід цеолітних фаз та їх склад широко коливається та залежить в основному від співвідношення розчин луку : зола виносу, концентрації луку, температури і часу кристалізації. Температура – впливає на процеси кристалоутворення, швидкість хімічних реакцій, ступінь перекристалізації наявних мінеральних фаз. Від концентрації розчину луку та його співвідношення до золи виносу залежить процес руйнування алюмосилікатної скловидної фази та вимивання з кристалічних решіток розчинних сполук K, Ca та ін. В даній роботі, вибравши згідно літературних даних найоптимальнішу температуру процесу та співвідношення розчин луку: зола виносу досліджували оптимізацію таких параметрів як концентрація NaOH та час кристалізації. Згідно даних рентгенофазового аналізу та на основі мікрофотографій, отриманих скануючим електронним мікроскопом бачимо, що у всіх зразках модифікованих гідротермічним методом (1, 2, 3, 4) прореагувала невелика кількість золи виносу. У випадку модифікації золи виносу 2М розчином NaOH та часу кристалізації 6 год отриманий зразок 3 містить такі мінеральні фази як кварц, кальцит, муліт. Оскільки кальцит і муліт наявні у невеликих кількостях і у вихідній золі виносу, то можна сказати, що синтез цеолітної фази не відбувся. Те ж у випадку модифікації золи виносу 3М NaOH протягом 6 год, зразок 4 - тут ми також спостерігаємо наявність муліту, кальциту, кварцу. При модифікації золи виносу

2М NaOH протягом 12 годин (зразок 1), окрім кварцу та муліту бачимо наявність фюзиту. У випадку модифікації 3М NaOH протягом 12 год (зразок 2), окрім муліту, кварцу та фюзиту на дифрактограмі появляються піки цеоліту X та Na-P1, але вихід цих цеолітів є незначним. Отже, у випадку модифікування золи виносу гідротермічним методом найоптимальнішими умовами модифікації було додавання розчину 3М NaOH та тривалість часу активації 12 год, але незначний вихід цеолітів X та Na-P1 вказує на необхідність збільшення часу активації, або підвищення концентрації розчину NaOH.

В результаті синтезу цеолітних матеріалів методом, який передбачає введення стадії сплавлення золи виносу з NaOH кристалічним перед гідротермічною обробкою ми бачимо високу степінь конверсії золи конверсії у цеолітні матеріали. Відмінність степені конверсії золи виносу та складу цеолітних фаз у класичному гідротермічному методі та методі, з попереднім сплавленням золи з кристалічним лугом пояснюється різною силою взаємодії Si-Al-вмісних фаз з лужним реагентом. Протягом часу активації 12 годин ми отримали суміш цеоліту X та содаліту. У випадку 24 годин ми отримали суміш цеолітів Na-P1, X та незначну кількість содаліту.

Отримані результати показали, що використовуючи різні методи та варіюючи умови синтезу, можна одержати різні кінцеві продукти кристалізації з одного зразку золи виносу. У випадку синтезу гідротермічним методом бачимо, що збільшення концентрації луку і тривалості синтезу приводить до появи більш стабільних кристалічних фаз таких як фюзит, цеоліт X та Na-P1.

#### 5. Висновок

На основі результатів рентгенофазового аналізу та скануючого електронного мікроскопу встановлено, що ефективнішим методом синтезу цеолітів на основі золи виносу Добровірської ТЕС є метод, який включає сплавлення золи виносу з кристалічним лугом перед стадією лужної конверсії. Отримано, протягом часу активації 12 годин суміш цеолітних фаз: цеоліт X та содаліт. Протягом 24 годин отримано NaP1, цеоліт X та содаліт.

#### Література

1. Пушкарьова К. К. Оптимізація складу та оцінка властивостей композиційних цементів, модифікованих сульфатно-кремнеземистими добавками / К. К. Пушкарьова, О. А. Назим, В. В. Павлюк, В. В. Петренко // Моделирование и оптимизация в материаловедении : 43 междунар. семинар по моделированию и оптимизации композитов, 22 –23 апр. 2004 г. : тезиси докл. – 2004. – С. 43 – 45.
2. Голубничий А. В. Застосування золошлаків для малоповерхового будівництва / А. В. Голубничий, Н. В. Зарубіна // Строительные материалы и изделия. – 2001. – № 3. – С. 27–28.
3. X. Querol, N. Moreno, J.C. Umanna, A. Alastuey, E. Hernandez, A. Lopez-Soler, F. Plana. Synthesis of zeolites from coal fly ash: an overview // Institute of Earth Sciences “Jaume Almera”, CSIC, C/ Lluís Sole Sobaris, s/n, 08028 Barcelona, Spain – 2002 – С. 416–417.
4. Querol, X., Alastuey, A., Lopez-Soler, A., Plana, F., Andre s, J.M., Juan, R., Ferrer, P., Ruiz, C.R., 1997. A fast method for recycling fly ash: microwave-assisted zeolite synthesis. Environ. Sci. Technol. 31 (9), 2527–2533.
5. Shigemoto, N., Shirakami, S., Hirano, S., Hayashi, H., 1992. Preparation and characterisation of zeolites from coal fly ash. Nippon Kagaku Kaishi 5, 484– 492.

6. Shigemoto, N., Hayashi, H., Miyaura, K., 1993. Selective formation of Na-X, zeolite from coal fly ash by fusion with sodium hydroxide prior to hydrothermal reaction. J. Mater. Sci. 28,4781– 4786.
7. Shigemoto, N., Sugiyama, S., Hayashi, H., 1995. Characterization of Na-X, Na-A, and coal fly ash zeolites and their amorphous precursors by IR, MAS NMR and XPS. J. Mater. Sci. 30, 5777– 5783.
8. Singer, A., Berggaut, V., 1995. Cation exchange properties of hydrothermally treated coal fly ash. Environ. Sci. Technol. 29 (9),1748–1753.
9. Park, M., Choi, C.L., Lim, W.T., Kim, M.C., Choi, J., Heo, N.H., 2000. Molten-salt method for the synthesis of zeolitic materials: I. Zeolite formation in alkaline molten-salt system. Microporous Mesoporous Mater. 37, 81– 89.
10. Park, M., Choi, C.L., Lim, W.T., Kim, M.C., Choi, J., Heo, N.H., 2000. Molten-salt method for the synthesis of zeolitic materials: II. Characterization of zeolitic materials. Microporous Mesoporous Mater. 37, 91– 98.
11. Hollman, G.G., Steenbruggen, G., Janssen-Jurkovicova, M., 1999. A two-step process for the synthesis of zeolites from coal fly ash. Fuel. 78, 1225– 1230.
12. Breck, D.W., 1984. Ion Exchange Reactions in Zeolites. Chapter 7 of Zeolite Molecular Sieves, Structure, Chemistry, and Use Robert E. Krieger Publishing, Malabar, FL TIC: 245213.

*Розроблено склад чавунного литого прутка для газового і електродугового зварювання високоміцного чавуну на основі прутків марки А з додаванням легуючих елементів, що містить рідкоземельні метали і бор*  
**Ключові слова:** ремонт, чавун, зварювання, прутки, легування

*Разработан состав чугуна литого прутка для газовой и электродуговой сварки высокопрочного чугуна на основе прутков марки А с добавлением легирующих элементов, содержащий редкоземельные металлы и бор*

**Ключевые слова:** ремонт, чугун, сварка, прутки, легирование

*Composition of the cast-iron cast small twig is developed for gas and arc-metal of the welding of durable cast-iron on the basis of prutkov of brand A and with addition of alloying elements, containing rare-earth metals and coniferous forest*

**Keywords:** repair, cast-iron, welding, rod, alloying

УДК 621.791

## РОЗРОБКА ПРИСАДНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗВАРЮВАННЯ ЧАВУНУ З КУЛЕВИДНИМ ГРАФІТОМ

М.А. Калін

Кандидат технічних наук, доцент\*

О.І. Бурцева\*

\*Кафедра інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва  
 Українська інженерно-педагогічна академія  
 вул. Університетська 16, м. Харків, 61003

### 1. Вступ

Чавун широко застосовується як конструкційний матеріал, що відрізняється хорошими ливарними властивостями і малим коефіцієнтом лінійного розширення, високою зносостійкістю і оброблюваністю.

Останнім часом в світовій практиці розширюється вживання чавунів із спеціальними властивостями: високоміцного, ковкого, аустенітно-нікелевого, високохромистого і ін. Звідси необхідність вивчення процесів їх зварювання.

У чавунних відливках на різних стадіях обробки виявляються різні дефекти.

Крім того, знижена міцність і висока крихкість чавунів призводять в окремих випадках до поломки в процесі експлуатації виготовлених з них деталей, а це у свою чергу призводить до виходу з ладу, або простою устаткування. Поломки можуть бути також викликані великим навантаженням деталей, що перевищують розрахункові, попаданням в механізми чужорідних тіл, утворенням тріщин через нерівномірний нагрів і так далі.