ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1982

Seria: GÓRNICTWO z. 117

Małgorzata KOZDRÓJ-WEIGEL

ELEKTROINICJACJA PROCESU PODZIEMNEJ GAZYFIKACJI WĘGLA

Streszczenie. W pracy rozpatrzono zjawisko elektroinicjacji procesu podziemnej gazyfikacji węgla oraz zamieszczono opis proponowanego stanowiska laboratoryjnego przeznaczonego do badania tego procesu.

1. WSTĘP

Ilość dostępnej energii i surowców determinuje w coraz bardziej widoczny sposób możliwości egzystencji i rozwoju poszczególnych społeczeństw. Energia, a zwłaszcza rodzaj jej nośnika, staje się obecnie naczelnym obok żywności kierunkiem zainteresowań ośrodków naukowych oraz ośrodków decyzyjnych. Rodzaj stosowanego nośnika energii w danym społeczeństwie istotnie wpływa na poziom technologii.

Aktualny stan wiedzy pozwala na korzystanie z dwóch zasadniczych grup nośników energii:

a) nośniki fizyczne (promieniowanie słoneczne, przemiany jądrowe itp.),
b) nośniki typu organicznego (węgiel, nafta, gaz ziemny itd.).

Nośniki typu organicznego stawiają naukowców przed dylematem optymalnego ich użytkowania. Duża ilość energii zawartej w tych nośnikach stanowi poważne niebezpieczeństwo ich marnotrawstwa jako surowców dla przemysłu chemicznego.

Trudności surowcowo-paliwowe zmuszają nas coraz bardziej do opracowania optymalnych technologii wydobywania i wykorzystania paliw i surowców.

Jednym z zasadniczych problemów w Polsce w najbliższych latach stanie się optymalne zagospodarowanie istniejących pokładów węgla kamiennego i brunatnego. Jeżeli problem ten postawić systemowo, to zasadnicze kierunki przedstawiają się następująco:

1) sposób pozyskania złoża,
2) cel przeznaczenia węgla,
3) gazyfikacja węgla,
4) upłynnianie węgla,
5) sposoby neutralizacji szkodliwych aspektów technologii w celu ochrony naturalnego środowiska.

Wydaje się, że konwencjonalne spalanie węgla jest już obecnie technologią, która powoli będzie ustępować miejsca nowszym, bardziej racjonalnym.

Stosunkowo duże koszty inwestycyjne, a zwłaszcza obecny poziom technologii upłynniania węgla, powodują, że ten rodzaj przetworzenia węgla będzie jeszcze przez około 20 lat w stadium intensywnych prac na poziomie badań podstawowych, co oczywiście odsuwa szybkie zastosowanie w praktyce. Możliwość gazyfikacji węgla. to alternatywa w stosunku do spalania, którą już w nadchodzących latach będzie można wprowadzić w życie.

2. CHARAKTERYSTYKA GAZYFIKACJI WĘGLA

Gazyfikacja węgla to w największym uproszczeniu zmiana stanu stałego nośnika energii w stan gazowy.
Skomplikowana budowa fizykochemiczna węgla kamiennego (brunatnego) to główny powód braku jednoznacznego opisu formalnego procesu zgazowania [8], [9].

Energię potrzebną do procesu można dostarczyć w różnorodny sposób. W zależności od tego otrzymać można różnorodne w kształcie i idei działania generatory zgazowujące. Przykładem różnorodności tych form są technologie stosowane w latach 30 i 40 w Niemczech [2].
Jednakże ówczesne podejście do zagadnienia ma jeden wspólny mianownik, a mianowicie: węgiel (najczęściej kamienny) dopiero po konwencjonalnym wydobyciu na powierzchnię poddawany zostaje zgazowaniu.

W chwili obecnej najlepiej rozwijają ten kierunek zgazowania następujące technologie:
1) metoda Synthane, opracowana przez firmę Bureau of Mines,
2) metoda Bi-Gas (BCR), opracowana przez Bituminous Coal Research,
3) metoda CSG, opracowana przez Consolidation Coal Company Pittsburgh,
4) metoda Hygas, stworzona w Institute of Gas Technology w Chicago,
5) udoskonalone metody Winklera.

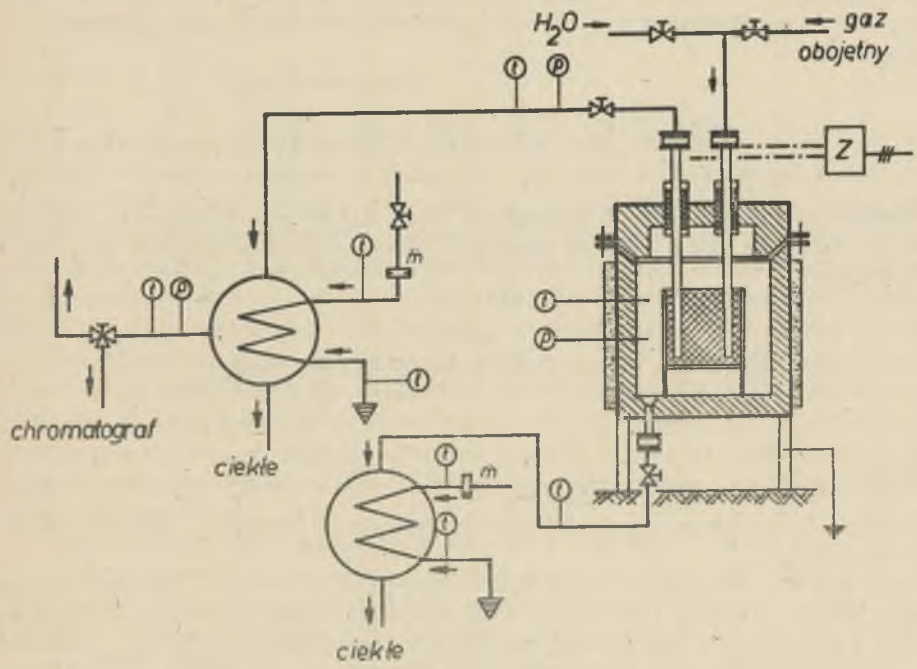
Wadą tych metod jest oderwanie się od sposobów i kosztów wydobycia węgla. Wydaje się, że prawdziwie nowoczesne podejście do zgazowania węgla musi uwzględniać łącznie wydobycie węgla ze złoża i jego przeróbkę. Powolny rozwój tego kierunku to wynik braku kompleksowych badań podstawowych oraz czynnika zasadniczego, jakim są koszty. Zgazowanie, a zwłaszcza metodą podziemną, należy rozpatrywać jako proces wieloparametrowy. Procesy takie cechuje trudna i uciążliwa metodyka identyfikacji [5]. Zasadniczym problemem, który obecnie stoi przed badaczami, jest określenie wpływu parametrów geologicznych złoża, jego budowy i zakłóceń występujących w procesie na ilość i jakość produktów. Odpowiedź na to pytanie pozwoliłaby na takie prowadzenie procesu, aby efekt zgazowania podziemnego był najbardziej optymalny ze względu na przyjęty układ kryteriów.

Na podstawie publikowanych opisów przeprowadzonych eksperymentów należy sądzić, że proces podziemnego zgazowania powinno się traktować w sposób dynamiczny, gdyż statyczne ujęcie procesu spowoduje wyeliminowanie z rozważań zmian stanów generowanego gazu, jakie były obserwowane doświadczalnie.

W obiektach dynamicznych zasadniczo interesujące są następujące stany:
1) rozpoczęcie procesu (jego inicjacja),
2) praca w stanie ustalonym (quasi-ustalonym),
3) zmiana stanu procesu pod wpływem zmian parametrów wejściowych.

Proces podziemnego zgazowania można próbować opisać w dziedzinie przestrzeni stanów układu. Uwidoczni się wtedy, że na efekt zgazowania wpływa istotnie:
1) temperatura procesu,
2) ciśnienie,
3) rodzaj czynnika zgazowującego (skład chemiczny),
4) struktura (budowa fizykochemiczna węgla),
5) warunki prowadzenia procesu (ujmowane jako postać warunków początkowych i brzegowych).

Dla konkretnego pokładu węglowego najbardziej na proces zgazowania będzie miał wpływ sposób prowadzenia procesu, czyli rodzaj czynnika zgazowującego, jego ilość oraz ciśnienie. Temperatura w generatorze będzie w tym przypadku wypadkową ww. warunków.
Aby można było zapoczątkować proces podziemnego zgazowania, należy spowodować przyspieszenie szybkości utleniania węgla aż do granicy zapłonu, aby w ten sposób wykorzystać energię cieplną procesu spalania do zgazowania. Można to uzyskać na drodze chemicznej lub fizycznej.



3. ELEKTROINICJACJA W PROCESIE PZW. (PODZIEMNE ZGAZOWANIE WĘGLA)

Interesujące wydaje się wykorzystanie do zainicjowania procesu możliwości przewodzenia prądu elektrycznego przez węgiel. Idea ta pozwoliłaby na podniesienie temperatury węgla do stanu, w którym proces utleniania przechodzi w spalanie i dalszy ciąg reakcji spalania będzie już samopodtrzymywalny.

Inicjacja procesu za pomocą prądu elektrycznego musi być rozpatrzona jako konglomerat zjawisk elektrycznych, cieplnych i chemicznych. Nagrzewanie substancji węglowej można opisać (przy braku źródeł ciepła) równaniem:

$$\frac{\delta T}{\delta \tau} = a\nabla^2 T \tag{1}$$

Rozpływ ciepła w ciele w przypadku przepływu prądu elektrycznego można interpolować równaniem (1), uzupełnionym równomiernie rozmieszczonymi w objętości źródłami ciepła.

W trakcie nagrzewania następują reakcje chemiczne w obrębie substancji węglowej. Zjawiska te aproksymuje się jako rozmieszczone po objętości źródła ciepła o określonej wydajności; znak plus lub minus zależny jest w tym przypadku od endotermiczności lub egzotermiczności procesu.
Przy tak sformułowanych założeniach proces w ortotropii kartezjańskiej opisujemy:

$$\frac{\delta T}{\delta \tau} = a\left[\frac{\delta^2 T}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta y^2} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2}\right] + \frac{\dot{q}_{el}}{\varrho c} + \frac{\dot{q}_{chem}}{\varrho c} \tag{2}$$

Równanie (2) jest postacią szczególną równania Furiera-Kirchhoffa. Dla układów ciągłych można również utworzyć równanie bilansu ładunku elektrycznego [7]:

$$\frac{\delta}{\delta \tau}(\bar{e}_i \varrho_i) = -\mathrm{div}(\bar{e}_i \bar{I}_i + e_i \varrho_i \vec{V}) + \sum_l \vartheta_{il} \bar{e}_i M_i I_l, \tag{3}$$

gdzie:

$\bar{e}_i$ - ładunek właściwy składnika i.

Wielkość $\bar{e}_i \bar{I}_i$ podaje udział danego składnika w dyfuzyjnej gęstości prądu elektrycznego.

Człon $\bar{e}_i \varrho_i \vec{V}$ jest udziałem w konwekcyjnej gęstości prądu. Ostatni człon jest źródłem ładunku (odniesionym do jednostki czasu i jednostki objętości) wynikającym z reakcji chemicznych. Postać funkcji $\dot{q}_{el}$ i $\dot{q}_{chem}$ w równaniu (2) oraz I_l w równaniu (3) jest przedmiotem licznych badań. W lite-

raturze przedmiotu spotyka się wyrażenie opisujące funkcję q_{chem} i J_i, brak natomiast danych co do postaci funkcji q_d w równaniu (2).

Przedmiotem pracy jest określenie postaci funkcji q_{el} oraz funkcji z nią związanych. Zakłada się, że węgiel kamienny w trakcie procesu elektroinicjacji zmienia swoje właściwości elektryczne wskutek zachodzących przemian chemicznych i fazowych następujących w wyniku przepływu prądu elektrycznego. Węgiel kamienny zmienia swe właściwości elektryczne od wartości zbliżonych do wartości spotykanych dla dielektryków do wartości spotykanych dla dobrych przewodników. Początkowe parametry elektryczne węgla zbliżone są co do wartości do anizotropowego dielektryka.

W celu określenia możliwości wykorzystania przepływu prądu elektrycznego przez węgiel kamienny do inicjacji procesu podziemnego zgazowania postanowiono określić następujące zależności:

1. Ilość ciepła wydzielonego w jednostce objętości złoża w zależności od jakości przyłożonego napięcia rozumianej jako zakres napięcia, zakres częstotliwości i natężenia prądu.
2. Zmiana porowatości lokalnej górotworu wynikająca z postępujących reakcji fizykochemicznych, wyznaczona na podstawie aktualnego spadku ciśnienia na odcinku pomiarowym.
3. Wpływ ingerencji prądu elektrycznego i czynników zgazowujących na inicjację procesu, rozumiany jako zdolność do przygotowania złoża do prowadzenia procesu PZW.

4. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO

W celu wyznaczenia szukanych zależności zaprojektowano i zbudowano stanowisko badawcze. Przestrzeń pomiarowa zbiornika ciśnieniowego pozwala na badanie próbek węgla w kawałkach jak i w bloku. Odpowiednia izolacja termiczna zastosowana do budowy stanowiska minimalizuje straty energii cieplnej do otoczenia. Dwie elektrody umieszczone w węglu dostarczają energię elektryczną, której jakość (częstotliwość napięcie) i ilość regulowane są przez blok zasilania elektrycznego. Wydzielające się produkty (gazowe i ciekłe) wytleniania i odgazowania odbierane są z aparatu i w sposób ciągły rejestrowana jest ich temperatura, ciśnienie oraz ilość. Próbki produktów gazowych i ciekłych poddawane są analizie chemicznej w celu określenia składu, który pozwala oszacować aktualny stopień przereagowania węgla. W trakcie procesu mierzona jest stale temperatura i ciśnienie przestrzeni reakcyjnej.

Stanowisko zostało zaopatrzone również w mikrofon, który służy do rejestracji zjawisk akustycznych (pękanie węgla od naprężeń termicznych). Wmontowane też są układy zadawania gazu obojętnego, którego spadek ciśnienia w trakcie przepływu przez próbkę pozwala oszacować zmiany przepuszczalności węgla. Znajdujący się układ dozowania H_2O umożliwia uchwycenie wpływu wody na elektroinicjację.

Wpływ wody na proces oceniany jest jako wpływ wilgotności węgla lub cieku wodnego, ewentualnie wpływ nagłego wtargnięcia wody do przestrzeni reakcyjnej. Zamontowane urządzenia pomiarowe umożliwiają dokonanie bilansów energii i masy oraz wyznaczenie przebiegu czasowego szukanych zależności.

5. SPOSÓB PROWADZENIA BADAŃ

Badania na stanowisku modelowym mogą być przeprowadzone głównie w celu obserwacji zjawisk występujących w procesie elektroinicjacji, a następnie w procesach odgazowania i zgazowania.
Każdorazowo przed pomiarami zasadniczymi określone będą:
1) porowatość próbki,
2) skład chemiczny próbki (w tym wilgotność),
3) wartość opałowa,
4) własność mechaniczna (ściśliwość, twardość, wytrzymałość na ściskanie).

Pomiar zasadniczy poprzedza się każdorazowo sprawdzeniem stanu izolacji elektrycznej jako głównego wskaźnika bezpieczeństwa badań. Badania przeprowadzane są w celu określenia postaci funkcji $q_{el} = f(\eta_i)$. Jako η_i podstawia się następujące parametry: ϱ, c, a, w, λ, λ_{el}, ω.
Badany będzie również parametr λ_{el}, określony jako:

$$\lambda_{el} = \sqrt{\frac{\sigma_\perp}{\sigma_\parallel}},$$

w celu optymalizacji rozmieszczenia elektrod w pokładzie węglowym [4]. Zebrane wyniki opracowywane będą w celu wyznaczenia funkcji opisujących proces. Obróbkę danych przeprowadzać się będzie z wykorzystaniem analizy korelacyjnej i regresyjnej.

6. OMÓWIENIE PIERWSZYCH WYNIKÓW DOŚWIADCZEŃ

Pierwszy etap eksperymentów pozwolił stwierdzić, że sposób przepływu energii elektrycznej w caliźnie węglowej jest zasadniczo różny od przepływu prądu przez węgiel kamienny rozdrobniony.
Ze wzrostem rozdrobnienia czas nagrzewania i jego koszty wzrastają. Zaobserwowano jednakże, że przy średnicach węgla poniżej 0,1 mm zjawisko nagrzewania ponownie zbliża się ze swymi parametrami osiąganymi jak dla węgla w caliźnie.

Węgiel kamienny nagrzewany w stanowisku typu in situ wykazuje wyraźną kierunkowość własności elektrycznych i częściowo cieplnych. Rozdrobniony węgiel traci kierunkowe własności elektryczne, jednakże koszt nagrzewania rośnie. Dla danego typu węgla rozpatrywanego in situ można dobrać optymalny kierunek nagrzewania, który uwarunkowany jest płaszczyznami łup-

liwości i krystalizacji. Dla węgla kamiennego in situ istnieje optymalna częstotliwość graniczna prądu zasilania, której wartość zależna jest najprawdopodobniej od stopnia uwęglenia. Optymalny zakres częstotliwości dla węgli kopalni "Generał Zawadzki", "Czerwone Zagłębie" mieści się w granicach 300-450 Hz. Stwierdzono gwałtowny spadek wartości oporu elektrycznego w trakcie zachodzenia reakcji chemicznych w węglu, a zwłaszcza reakcji wytlewania i odgazowania. Zaobserwowano, że w trakcie tych reakcji parametry elektryczne substancji węglowej zostają jak gdyby zatrzymane - następnie węgiel szybko zmienia podatność elektryczną w kierunku zbliżonym do wartości grafitu.

Elektroinicjacja podziemnego zgazowania węgla (PZW) jako operacja technologiczna wykazuje zalety oraz wady.

Do wad metody zaliczyć należy powstawanie pól elektrycznych dużej wartości, które mogą być uciążliwe dla obsługujących proces. Zaletą metody jest to, że energia elektryczna, która zostaje zamieniona w energię cieplną, jest wykorzystana następnie w procesie zgazowania. Pogląd o dużych kosztach elektroinicjacji jest wątpliwy, gdyż proces PZW należy traktować zawsze całościowo. Elektroinicjacja pozwoli nie tylko na zapoczątkowanie podziemnego zgazowania węgla (PZW), ale także na sterowanie kształtem wypalonego kanału w pokładzie. Wstępne obserwacje na stanowisku modelowym pozwalają sądzić, że pole elektryczne wysokiej częstotliwości pozwoli ocenić aktualny kształt generatora PZW, co byłoby istotnym postępem w dziedzinie sterowania tym procesem.

7. OPIS OZNACZEŃ

T - temperatura ośrodka
x, y, z - koordynaty
a - wsp. wyrównania temperatury $a = \frac{\lambda}{\varrho \cdot c}$
ϱ - gęstość ośrodka (węgla)
c - ciepło właściwe
q_{el} - objętościowa wydajność elektrycznych źródeł ciepła
q_{chem} - objętościowa wydajność chemicznych źródeł ciepła
σ - oporności materiału
η_i - własności fizykochemiczne materiału
τ - czas
ω - częstotliwość
∇ - operator nabla
ν - wskaźnik stechiometryczny w równaniu reakcji chemicznej
M - masa drobinowa składnika
I_1 - szybkość reakcji chemicznej
$\sigma_\perp, \sigma_\parallel$ - oporność materiału odpowiednio w kierunku prostopadłym i równoległym do przepływu prądu.

LITERATURA

[1] DUBOS R.: The American Scholar 1979 by the United Chapters of Phi Beta Kappa.

[2] KOWALSKI : Wytlenianie paliw stałych. PWT, Katowice 1952.

[3] WASILEWSKI P., KOBEL-NAJZAREK E.: Chemiczna przeróbka węgla kamiennego. Skrypt nr 704 Pol.Śl. Gliwice, 1977.

[4] HOBLER M.: Badania fizykochemicznych własności skał. PWN, Warszawa 1977.

[5] MAŃCZAK K.: Metody identyfikacji wielowymiarowych obiektów sterowania. WNT, Warszawa 1971.

[6] CHEŁKOWSKI A.: Fizyka dielektryków. PWN, Warszawa 1979.

[7] BARANOWSKI B.: Nierównowagowa termodynamika w chemii fizycznej. PWN, Warszawa 1974.

[8] AGROSKIN A.A.: Tiepłofizyka twiordogo topliwa. Niedra, Moskwa 1980.

[9] TENGLER Sz.: Współczesne metody chemicznej przeróbki węgla kamiennego. PWN, Warszawa 1981.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Jan Palarski

Wpłynęło do Redakcji 23.03.82 r.

ЭЛЕКТРОИНИЦИИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ

Р е з ю м е

В работе было рассмотрено явление электроинициирования процесса подземной газификации угля и было помещено описание предлагаемого лабораторного стенда предназначенного для исследования такого процесса.

ELECTRO-INITIATION OF THE PROCESS OF UNDERGROUND GASIFICATION OF COAL

S u m m a r y

The paper discusses the phenomenon of electro-initiation of the process of underground gasification and presents the description of the proposed laboratory stand designed for examining this process.