ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: GÓRNICTWO z. 190 Nr kol. 1088

Jacek KORDEK
Stanisław LENCZOWSKI
Kazimierz SZTABA

NIEKONWENCJONALNE METODY KONTROLI PROCESOW PRZERÓBCZYCH

Streszczenie. W artykule zestawiono zagadnienia, nad jakimi pracowano w Instytucie Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych AGH w okresie ostatnich 10 lat, w zakresie rozpoznawania obrazów optycznych i wykorzystania metod radiometrycznych. W sposób szczegółowy opisano możliwości kompleksowego wykorzystania wyników badań radiometrycznych i oznaczeń optycznych dyfraktometrycznych do oceny składu ziarnowego i densometrycznego materiałów grubo uziarnionych, traktowanych jako modelowe. Kolejne próby w warunkach dynamicznych pozwalają na przygotowanie założeń dla pomiarów przemysłowych.

1. WSTĘP

Zdecydowana większość opisanych w niniejszym artykule prac została wykonana w Instytucie Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych w okresie ostatnich kilku lat w ramach Centralnego Problemu Badań Podstawowych nr 03.07 pt. "Badania podstaw procesów wzbogacania kopalin", koordynowanego przez Politechnikę Śląską.

Rozwój automatyzacji a także automatycznej kontroli procesów technologicznych w zakładach kopalin jest tendencją trwałą. Określenie chwilowych warunków przebiegu procesu, z uwzględnieniem aktualnych własności przerabianego materiału, ma podstawowe znaczenie dla optymalnego prowadzenia procesu zarówno w sensie ekonomicznym, jak i dla pełnego wykorzystania kopaliny. Stawia to konkretne zadania przed techniką identyfikacji i pomiaru określonych własności materiału i inspiruje do poszukiwań niekonwencjonalnych metod badawczych w przeróbce surowców mineralnych.
W Instytucie Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych AGH podjęto prace nad możliwościami wykorzystania informacji optycznej oraz informacji radiometrycznej dla potrzeb kontroli procesów. Korzystny skład zespołu pracowników, a także współpraca z wyspecjalizowanymi jednostkami naukowymi, jak: Instytut Automatyki i Informatyki AGH, Międzynarodowy Instytut Fizyki i Techniki Jądrowej AGH, Centralne Laboratorium Optyki w Warszawie, Zakład Elektroniki Górniczej w Tychach i inne, pozwoliły zarówno na wykonanie prac teoretycznych, jak i konkretnych rozwiązań technicznych, możliwych do wdrożenia a następnie powielenia w różnych podobnych zakładach.

2. INFORMACJA OPTYCZNA

W zakresie prac nad wykorzystaniem informacji optycznej można wyróżnić wykonanie trzech głównych programów. Zbudowano i oprogramowano system CESARO - Cyfrowy Eksperymentalny System Analizy i Rozpoznawania Obrazów. System ten, to komputerowy analizator obrazów wyposażony w kamerę telewizyjną, przetwornik i mikroprocesor specjalnie oprogramowany, głównie dla potrzeb przeróbki surowców mineralnych.

Drugi problem, to opracowanie metody analizy niektórych obrazów przestrzennych na podstawie cieni. Opracowanie obejmuje algorytmy i programy komputerowe, pozwalające na szacowanie objętości i powierzchni brył trójwymiarowych bez znajomości trzeciego wymiaru (wysokości), na podstawie cieni obiektu, uzyskiwanych w zestawie o specjalnej konstrukcji. Opracowanie to, obejmujące również analizę warunków konstrukcyjnych zestawu do zdejmowania obrazów, jest konsekwentną kontynuacją tematów poprzednich, realizujących rozpoznawanie obrazów optycznych.

Kolejne zadanie, to analiza obrazów dyfraktometrycznych. Otrzymywane za pomocą analogowej aparatury optycznej obrazy dyfraktometryczne scen rzeczywistych, podlegają analizie komputerowej w zakresie ich częstotliwości przestrzennych. Analiza dyfraktometryczna ma zastosowanie wszędzie tam, gdzie przy analizie bardzo licznych prób - szybko zmieniających się scen w krótkich sekwencjach czasowych - istotne cechy obrazu zmieniają się wolno. Przykładami mogą być strumień materiału na przenośniku czy powierzchnia piany w maszynie flotacyjnej, gdzie poszczególne sceny różnią się znacznie w zakresie morfologii obrazu w krótkich odstępach czasu, ale istotne technologicznie cechy obrazu, np. rozkład rozmiarów ziaren, barwa i wielkość pęcherzyków piany, stopień ich zmineralizowania, zmieniają się powoli i często nieznacznie. Analiza dyfraktometryczna jest szczególnie przydatna w rozpoznawaniu takich powolnych zmian. Temat ten jest ostatnio przedmiotem największych zainteresowań autorów i jest systematycznie rozwijany [8]. Szersze omówienie zagadnień wykorzystania informacji optycznej dla celów przeróbki surowców mineralnych zmieszczono w referacie pt. "Problemy wykorzystania analizy obrazów w kontroli procesów przeróbczych".

Przedstawione w kolejnych punktach wyniki prac i sposób ich realizacji mają istotne znaczenie poznawcze. Zarówno rozpoznawanie obrazów optycznych, we wszystkich aspektach, jak i pomiary radiometryczne, mają zastosowanie uniwersalne.

3. NOWA METODA OKREŚLANIA CHARAKTERYSTYK MATERIAŁU GRUBO UZIARNIONEGO

W Instytucie Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych AGH podjęto próbę opracowania całkowicie nowej metody jednoczesnego pomiaru charakterystyk granulometrycznej (ziarnowej) i densymetrycznej strumienia mate-

riału grubo uziarnionego, bezpośrednio w trakcie biegu procesu przeróbki lub transportu tego materiału. Koncepcja ogólna metody polega na wykorzystaniu związków składu ziarnowego, określanego analogową metodą optyczną - analiza dyfraktometryczna - z zapełnieniem przestrzeni (upakowaniem materiału), w której zawarty jest badany materiał - analiza radiometryczna. Ta ostatnia opiera się na analizie typu densymetrycznego, przy znanych charakterystykach gęstości i zdolności pochłaniania promieniowania dla dwóch składników mieszaniny. W dużym uproszczeniu przyjęto, że od postaci funkcji rozkładu wielkości ziarn $f(d)$, a także od kształtu ziarn, zależy w określonych warunkach technicznych upakowanie przez badany materiał obszaru przestrzennego, przyjętego do obserwacji (np. strumienia materiału), a to z kolei ma wpływ na wartość absorbcji promieniowania przechodzącego przez ten materiał [1]. Jako minimum wymagań przyjęto opracowanie metody określania wychodów (Γ) czterech frakcji, ograniczonych przez pewne wartości d_o ($d_{min} < d_o < d_{max}$) i p_o ($p_{min} < p_o < p_{max}$), a więc wyznaczenie

$$\Gamma\left[(-d_o, -p_o), (-d_o, +p_o), (+d_o, -p_o), (+d_o, -p_o)\right],$$

przy czym ziarna $d = d_o$, $p = p_o$, przypisane są do frakcji $+d_o$, $+p_o$. Do pomiaru uziarnienia zastosowano dyfraktometryczną metodę analizy obrazów wyrównanej powierzchni badanego materiału [2], [3].

W badaniach radiometrycznych wykorzystano zależności podstawowe, dotyczące pochłaniania promieniowania γ w mieszaninie dwóch materiałów:

$$I = I_o \exp(-u_{11,2} \times H),$$

gdzie:

- I - liczba fotonów padających na absorbent,
- I_o - liczba fotonów przechodzących przez absorbent,
- H - grubość absorbenta,
- $u_{11,2}$ - liniowy współczynnik osłabiania dla mieszaniny dwóch składników,

$$u_{11,2} = -(1/D) \times \ln\left\{(1-n) + n \times C \times \left[\exp(u_1 \times D) + m \times \exp(u_2 D)\right]\right\},$$

gdzie:

- u_1, u_2 - liniowe współczynniki osłabiania dla materiałów 1 i 2,
- C - koncentracja objętościowa fazy stałej,
- n - współczynnik upakowania,
- m - wzajemny stosunek objętości materiałów 1 i 2.

Dla określenia względnej koncentracji objętościowej jednego ze składników, w tym wypadku węgla, zastosowano prześwietlanie tej samej próbki ko-

lejno dwiema wiązkami promieniowania γ o różnych energiach fotonów, uzyskując odpowiednio natężenia I_o i I'_o, a stąd odpowiednie wyrażenie:

$$\ln(I/I_o)/\ln(I'/I'_o) = \left[u_1 \times C_v 5u_2 \times (1-C_v)\right]/\left[u'_1 \times C_v + u'_2 \times (1-C_v)\right],$$

gdzie:

C_v - względna koncentracja objętościowa węgla w fazie stałej próbki,

u_1, u'_2 - współczynniki osłabiania dla 1 materiału dla obu źródeł promieniowania,

u_2, u'_2 - współczynnik osłabiania dla 2 materiału dla obu źródeł promieniowania.

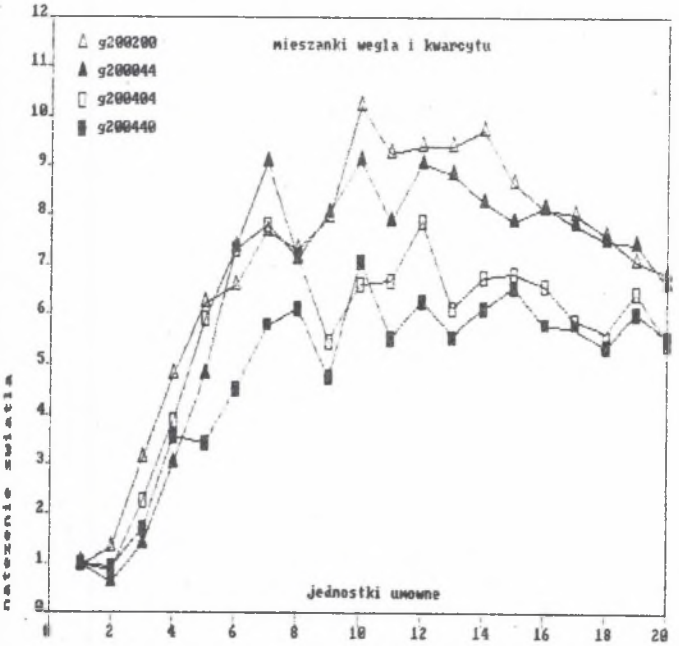
Badania rozpoznawcze przeprowadzono w specjalnie zbudowanym stanowisku pomiarowym, gdzie fotografowano warstwę powierzchniową materiału wypełniającego odpowiedni pojemnik pomiarowy. Ponadto, podobnie jak i fotografowanie, wykonano w warunkach statycznych pomiary pochłaniania promieniowania γ-miękkiego i twardego z dwóch źródeł promieniowania.

Do badań użyto suchy materiał modelowy w postaci mieszanin wybranych klas ziarnowych kwarcytu i węgla kamiennego. Uziarnienie wybranych klas zawierało się w granicach 3,15 do 20 mm. Średnia gęstość materiałów modelowych wynosiła 2621 kg/m^3 dla kwarcytu i 1274 kg/m^3 dla węgla. Do pomiarów dyfraktometrycznych wykorzystano negatywy zdjęć fotograficznych różnych klas czystych minerałów oraz ich mieszanek.

Otrzymane rezultaty badań potwierdziły poprawność przyjętych na wstępie założeń. Wyniki otrzymane na tym etapie, mające charakter bardziej jakościowy niż ilościowy, pozwoliły na oszacowanie dokładności pomiarów oraz określenie dalszego kierunku badań [4].

Celem dalszych badań było rozpoznanie możliwości pomiarów dyfraktometrycznych dla mieszanek dwumateriałowych, tj. mieszanek kwarcytu i węgla oraz zmniejszenie wartości błędu pomiarowego dla pomiarów radiometrycznych poprzez ich wykonywanie w warunkach dynamicznych. Wykonane pomiary, zarówno dyfraktometryczne, jak i radiometryczne potwierdziły wyniki uzyskane poprzednio, a tym samym uzasadniły właściwość wybranej metody. Otrzymane rezultaty stanowiły podstawę do zaprojektowania i zbudowania wielkolaboratoryjnego stanowiska pomiarowego do oceny składu densymetrycznego materiału grubo uziarnionego w warunkach przemysłowych [5]. Stanowisko takie zaprojektowano i zbudowano w IPiWSM AGH. Pozwala ono w obiegu zamkniętym symulować pracę przenośnika ze strumieniem materiału grubo uziarnionego [6].

Wyniki pomiarów otrzymane w trakcie opisanych powyżej badań dyfraktometrycznych składu ziarnowego mieszanek jedno i dwumateriałowych, a także rezultaty badań prowadzone przez autorów w ramach innych zagadnień badawczych, jednoznacznie wskazują na możliwość wykorzystania tej metody w procesach przeróbki wzbogacania surowców mineralnych. Zasadniczą jej niedogodnością jest proces fotograficznej rejestracji analizowanego obrazu.



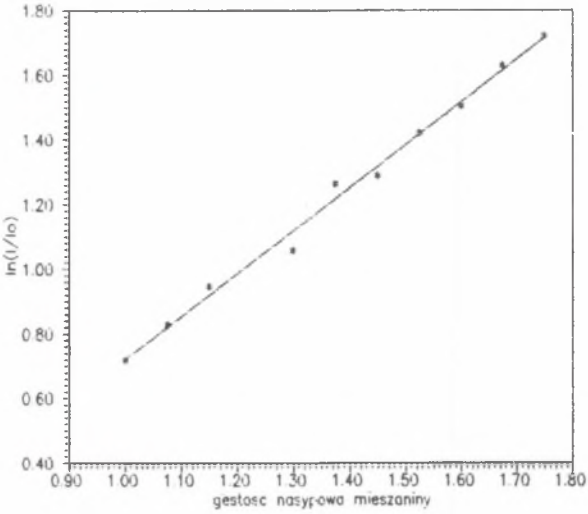
Rys. 1. Wyniki pomiarów dyfraktometrycznych mieszanek kwarcytu i węgla
Fig. 1. Results of difraction evaluation of coal and quartzite mixtures
Podstawa składu mieszanki: 50% kwarcyt klasa 15-20 mm

g200200 - kwarcyt + węgiel, 50% klasa 15-20 mm,
g200044 - kwarcyt + węgiel 25% klasa 6,3-8 mm, 25% klasa 3,15-4 mm,
g200404 - kwarcyt + węgiel 25% klasa 15-20 mm, 25% klasa 3,15-4 mm,
g200440 - kwarcyt + węgiel 25% klasa 15-20 mm, 25% klasa 6,3-8 mm,

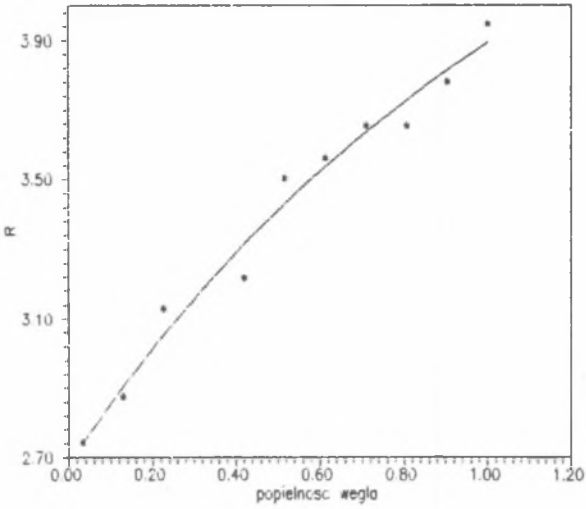
W celu eliminacji tej uciążliwości podjęto we współpracy z Wojskową Akademią Techniczną w Warszawie prace nad możliwością zastąpienia kliszy fotograficznej odpowiednim elementem optoelektronicznym, pozwalającym na wykonywanie pomiarów dyfraktometrycznych metodą "on line". Uzyskano pozytywną opinię na ten temat [7]. W związku z tym kontynuacja prac nad tym zagadnieniem zależeć będzie od przyszłych nakładów finansowych.

Radiometryczne pomiary składu densymetrycznego materiału grubo uziarnionego, składającego się z określonych mieszanek dwóch materiałów, tj. porfiru i węgla, wykonane w wielkolaboratoryjnym stanowisku pomiarowym, pozwoliły na określenie krzywej gęstości nasypowej (znormalizowanej do gęstości nasypowej węgla - rys. 2), oraz krzywej popielności węgla w danej mieszaninie węgla i porfiru (rys. 3) [6].

Uzyskane wyniki pomiarów radiometrycznych potwierdziły pierwotne założenia opracowywanej, nowej metody pomiarowej. Pozwala ona na jednoczesne określanie dwóch parametrów, tj. gęstości nasypowej i popielności strumienia materiału, składającego się z węgla i skały płonnej. Radiometryczny układ pomiarowy, zainstalowany w wielkolaboratoryjnym stanowisku pomia-



Rys. 2. Gęstość nasypowa mieszanek węgla i porfiru
Fig. 2. Bulk density of coal and porphyry mixtures



Rys. 3. Ilość popiołu w mieszaninie węgla i porfiru
Fig. 3. Ash content in coal and porphyry mixtures

rowym w IPiWSM, po odpowiedniej adaptacji można zainstalować bezpośrednio na taśmociągu w zakładzie wzbogacania węgla. Pozytywne rozwiązanie problemu rejestracji optoelektronicznej obrazu do celów pomiarów dyfraktometrycznych uzupełniłoby ten układ o tor pomiaru uziarnienia materiału grubo uziarnionego, działający podobnie, jak tor pomiarów radiometrycznych w systemie "on line". Taki zestaw kontrolno-pomiarowy byłby na pewno użyteczny w zakładach wzbogacania węgla kamiennego i nie tylko.

LITERATURA

[1] Sztaba K.: O pewnej możliwości wyznaczania charakterystyk materiału grubo uziarnionego w warunkach przemysłowego zkładu przeróbki kopalin. XXI Krakowska Konferencja nt. Przeróbki Kopalin, Koninki 1987.

[2] Lenczowski S.: Możliwości zastosowania optycznej transformacji Fouriera do analizy i klasyfikacji struktur obrazów na przykładzie struktur biologicznych. Praca doktorska. Politechnika Warszawska Warszawa 1983.

[3] Sawicki W., Ostrowski K., Różycka M., Lenczowski S., Daszkiewicz M.: Dyfraktometria optyczna jako metoda ilościowej analizy obrazu mikroskopowego. Topochemiczne Metody Badań Komórek i Tkanek. Wyd. Lekarskie 1983.

[4] Zespół pod kierownictwem Sztaby K.: Opracowanie metod identyfikacji procesów technologicznych w przeróbce surowców mineralnych - sprawozdanie z etapu prac za rok 1986 w CPBP 03.07, temat nr 05.01/86 - IPiWSM AGH, Kraków 1986.

[5] Patrz poz. 4. Sprawozdanie z etapu prac za rok 1987 w CPBP 03.07, temat nr 05.01/87 - IPiWSM AGH, Kraków 1987.

[6] Patrz poz. 4. Sprawozdanie z etapu prac za rok 1988 w CPBP 03.07, temat nr 05.01/88 - IPiWSM AGH, Kraków 1988.

[7] Patrz poz. 4. Sprawozdanie z etapu prac za rok 1989 w CPBP 03.07, temat nr 05.01/89 - IPiWSM AGH, Kraków 1989.

[8] Kordek J., Lenczowski: The evaluation of flotation froth images by the optical methods, XVI International Mineral Processing Congress, Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam, 1988, 481-486.

НЕКОНВЕНЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Р е з ю м е

В работе сопоставлено обогащения над которыми работано в Институте полезных ископаемых Горно-Металлургической Академии в последние 10 лет в области опознавания оптических изображений и использования радиометрических метод. Подробно описано возможность комплексного использования результатов исследовании радиометрических для оценки зернистого и денсиметрического состава крупнозернистых материалов предполаганных как модельные. Очередное испытания в динамических условиях позволяют подготовить предположения для промышленных измерений.

THE CON-CONVENTIONAL METHODS IN MINERAL PROCESSING CONTROL

S u m m a r y

The paper presents the problems which have been studied in the Institute of Processing and Utilization of Mineral Raw Materials of the Academy of Mining and Metallurgy for the last 10 years in the range of recognizing optical images and applying radiometric methods. Special concern has been paid to the possibilities of complex utilization of radiometric investigation results and diffractometric optical denotations to evaluate the size distribution and density compositions of coarse-grain materials, treated as model ones. Consecutive attempts in dynamic conditions allow the authors to prepare the assumption for industrial measurements.