

Karl HÖFFL
Thomas FOLGNER
Klaus IRMER

Bergakademie Freiberg
Sektion Maschinen- und Energietechnik

SPOSÓB SZYBKIEJ OCENY SKŁADU ZIARNOWEGO MATERIAŁÓW METODĄ RADIOMETRYCZNĄ

1. Wstęp

Procesy przetwarzania materiałów w zakresie mechanicznej przeróbki surowców związane są ogólnie ze zmianą składu ziarnowego produktu.

Ze względów na zapewnienie właściwej jakości oraz ekonomiczności energetycznej i materiałowej konieczne staje się zautomatyzowanie procesu, pozwalające na możliwie szybkie wykonanie pomiaru składu ziarnowego lub innych własności produktu powiązanych z tym składem.

Wymaganie to może być spełnione przez zastosowanie techniki pomiarowej "On-Line", która pozwala na uzyskanie interesujących informacji w krótkim czasie [1, 2]. Podczas gdy laboratoryjne metody pomiarowe oznaczania składu ziarnowego materiałów rozdrabnianych osiągnęły wysoki poziom szczególnie przez zastosowanie mikroelektroniki, to metody pomiarowe "On-Line" wymagają dalszego rozwoju.

Korzystne warunki dotyczące wykorzystania tych metod są tam, gdzie dla automatycznej kontroli produkcji lub sterowania procesem technologicznym stawiane są niezbyt wysokie wymagania odnośnie zakresu i dokładności pomiaru, lecz potrzebne są jedynie wartości względne jednego z parametrów zależnych od wielkości cząsteczki [3].

Akademia Górnicza we Freibergu prowadzi od roku 1979, w zakresie maszyn wydobywczych i wzbogacania, badania nad wykorzystaniem metody radiometrycznej do szybkiej oceny składu ziarnowego różnych surowców.

Początkowe prace na ten temat omówiono w cytowanej literaturze [4, 5, 6, 7].

2. Teoretyczne podstawy zasady pomiaru

Metoda pomiaru składu ziarnowego surowców polega na efekcie fizycznym absorpcji promieniowania jądrowego przy przechodzeniu przez próbki materiałów. Jeśli mamy próbkę materiału w postaci mieszaniny gazowej i cząstek stałych to określa się procentowy udział fazy stałej w objętości całkowitej poprzez charakterystyczne lub statystycznie zdefiniowane parametry cząstek oraz przez rozdział wielkości w próbce.

Dla rozkładu intensywności w jakimś nieskończone rozszerzonym medium obowiązuje reguła absorpcji promieniowania izotopowego w formie;

$$V_I = \frac{J}{J_0} = B \exp(-h \mu' \rho) \quad (1)$$

Przy czym oznacza;

V_I - stosunek ilości impulsów promieniowania przed J i po absorpcji J_0 ,

B - współczynnik wzrostu, uwzględniający udział promieniowania rozproszonego,

h - grubość próbki materiałowej absorbującego w cm,

μ' - współczynnik rozwinięcia powierzchni masy próbki w $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$,

ρ - gęstość próbki materiału w g cm^{-3} .

Dla mieszanin gazowo-stałych gęstość próbki materiału może być wyrażona przez gęstość upakowania φ_p oraz gęstość ciała stałego ρ_s

$$\rho = \varphi_p \cdot \rho_s \quad (2)$$

Jeśli następnie zastąpimy współczynnik rozwinięcia powierzchni masy przez produkt z przekroju czynnego na elektron (w cm^2), stała Loschidta L ($6,025 \cdot 10^{23}$ g - atom) oraz stosunek liczby atomowej Z i ciężaru atomowego A pierwiastków zawartych w materiale to otrzymujemy;

$$\mu' = \delta_e L \left(\frac{Z}{A} \right) \text{eff} \quad (3)$$

Przy uwzględnieniu dalszego współczynnika wzrostu według Hartmanna [8] przez rozwinięcie w szereg, które według wyrazu 1. zostaje przerwane, wynika;

$$B = \left[1 + h \delta_e L \rho_s \varphi_p \left(\frac{Z}{A} \right) \text{eff} \right] \quad (4)$$

Po wstawieniu (2), (3) i (4) w (1) otrzymujemy;

$$V_I = \left[1 + h \delta_e L \rho_s \varphi_p \left(\frac{Z}{A} \right) \text{eff} \right] \exp \left[-h \delta_e L \rho_s \varphi_p \left(\frac{Z}{A} \right) \text{eff} \right] \quad (5)$$

Z literatury specjalistycznej [9, 10] można wyprowadzić, że gęstość upakowania materiału sypkiego określana jest przez charakterystyczne parametry granulometryczne danego materiału, jak np. ;

- średnią wielkość cząsteczek x_m ,
- medianę x_{50} ,
- średnicę Sautera d_{ST} lub powierzchnię właściwą według Blaina A_{Bl} lub metodą BET, A_{BET}

Przy przyjęciu zależności liniowej pomiędzy gęstością upakowania a dowolnym parametrem granulometrycznym K obowiązuje;

$$\varphi_p = a + b K \quad (6)$$

gdzie;

$$K = x_m, x_{50}, x_{63}, d_{ST} \dots A_{Bl}$$

Należy określić empirycznie współczynniki zależne od uziarnienia materiału a i b .

Po wstawieniu (6) w (5) otrzymujemy dla zdefiniowanej geometrii pomiaru oraz stałej materiału, funkcjonalną zależność pomiędzy stosunkiem ilości impulsów V_J a uziarnieniem materiału K

$$V_J = \left[1 + h \delta_e L \rho_s \frac{Z}{A} \cdot (a + b K) \right] \exp \left[-h \delta_e L \rho_s \frac{Z}{A} (a + b K) \right] \quad (7)$$

Relacja pomiędzy V_J a odpowiednią cechą uziarnienia K w danym stopniu uzależniona jest od;

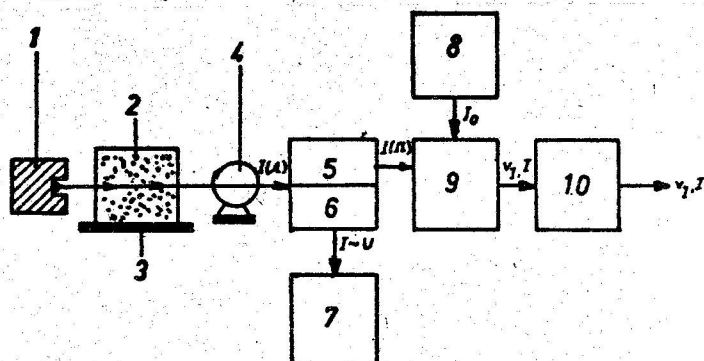
- energii pierwotnej oraz aktywności zastosowanego źródła promieniowania,
 - czułości wykazywania zastosowanego detektora promieniowania,
 - geometrii pomiaru w szczególności od grubości absorbera h oraz własności materiału
- przede wszystkim od gęstości materiału stałego oraz składu chemicznego scharakteryzowanego przez stosunek liczby porządkowej Z oraz ciężaru atomowego A pierwiastków występujących w badanym materiale.

3. Urządzenie pomiarowe oraz przeprowadzenie pomiarów

Technika pomiaru uziarnienia metodą radiometryczną opiera się wyłącznie na aparaturze stosowanej przy pomiarach gęstości i grubości materiałów./

Na rys. 1 pokazano schematycznie urządzenie pomiarowe. Próbkę materiału znajduje się na panelu wsuwany usytuowanej nastawnie pomiędzy

schemat pomiaru



Rys. Schemat urządzenia pomiarowego

1 - źródło promieniowania, 2 - pojemnik z próbką, 3 - podstawa pojemnika, 4 - sonda licznika jonizującego, 5 - blok formowania impulsów, 6 - licznik impulsów, 7 - analogowy aparat pomiarowy, 8 - generator częstotliwości, 9 - licznik uniwersalny (pomiar cyfrowy), 10 - drukarka wartości pomiarowych.

emitorem z zabudowanym źródłem promieniowania a sondą licznika jonizującego. Przy pomiarze cyfrowym impulsy detektora normowane w urządzeniu zmuszającym kształt impulsów doprowadzane są do dwukanałowego licznika impulsów.

Dla otrzymania stosunków ilości impulsów $V_J = J/J_0$ wprowadza się do licznika wytworzoną w nadajniku częstotliwości ilość impulsów J_0 . Drukarka drukuje stosunek ilości impulsów V_J .

W przeciwieństwie do wielu konwencjonalnych metod pomiarowych przy stosowaniu metody radiometrycznej nie stawia się dużych wymagań.

Próbkę mierzoną wkłada się do pojemnika, przy czym dla poprawienia powtarzalności wyników próbka powinna być zgęszczona przy pomocy płyty wibracyjnej. Czas zgęszczania zależy od specyficznej płynności materiału i wynosi sekundy lub minuty.

Dla uniknięcia błędów statystycznych i systematycznych analizowana próbka powinna być w miarę możliwości dostatecznie duża. Próbkę materiału wprowadza się do naświetlenia przy pomocy wsuwanego panela.

Konieczny czas pomiaru dla określenia V_J zależy od wymagania dokładności i wynosi sekundy lub minuty. Po wykonaniu pomiaru możliwe jest określenie uziarnienia graficznie lub cyfrowo z krzywych wzorcowych względnie równań. Całkowity czas analizy, łącznie z przygotowaniem próbki oraz graficznym lub cyfrowym określeniem uziarnienia wynosi 2-3 minut.

4. Badania eksperymentalne

Możliwości zastosowania metody jak również pierwsze wyniki zostały dokładnie opisane w publikacjach [5, 6].

Celem referatu niniejszego jest przedstawienie dalszych wyników otrzymanych w czasie badań, przy czym szczególną uwagę zwrócono na powtarzalność wyników.

4.1. Badania powtarzalności pomiarów

Decydującym dla zastosowania tej metody pomiaru do oznaczania uziarnienia materiałów jest uzyskanie odpowiedniej powtarzalności pomiarów.

W celu zagwarantowania wysokiej powtarzalności wyników próbkę należy poddać zagęszczeniu wibracyjnemu.

Na powtarzalność wpływają przy tym poza niedokładnościami upakowania próbek również odchyłki wskazań.

W celu ilościowego określenia tych czynników próbki materiału o różnym uziarnieniu i płynności wkładano wielokrotnie do pojemnika i zagęszczano na wibratorze płytowym w czasie $t = 1$ min. W końcu panel z próbką wsuwano do naświetlania i pomiaru promieniowania przechodzącego przez próbkę. Dla oceny powtarzalności obliczono odchylenie standardowe

$$(\Delta V_J)_s = \sqrt{\frac{\sum_1^n (V_{J1} - \bar{V}_J)^2}{n - 1}} \quad (8)$$

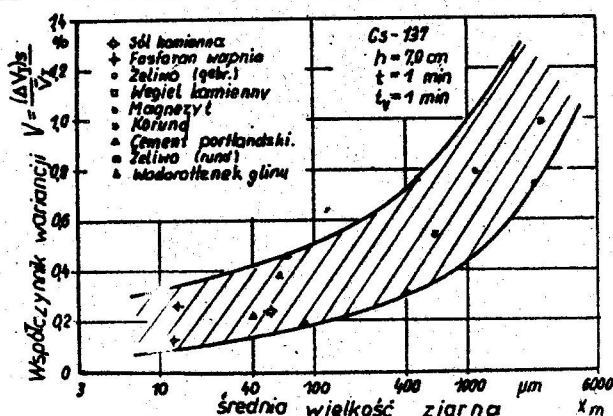
oraz współczynnik wariancji

$$V = \frac{(\Delta V_J)_s}{\bar{V}_J} \quad (9)$$

średnią arytmetyczną ilości impulsów obliczono z dziesięciu pomiarów $n = 10$ według równania;

$$\bar{V}_J = \frac{1}{n} \sum_1^n V_{Ji} \quad (10)$$

Na rys. 2 pokazano współczynnik wariancji jako funkcję średniej wielkości cząstek dla materiałów o różnych własnościach płynności. Stwierdzono dużą powtarzalność szczególnie w zakresie drobnego uziarnienia. Różnica wariancji V wynikają ze specyfiki materiału i można je wytłumaczyć różnymi własnościami płynności.



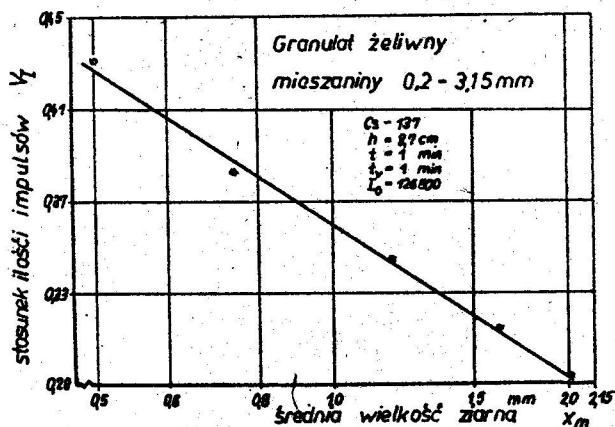
Rys. 2. Współczynnik wariancji jako funkcja średniej wielkości ziarna dla różnych materiałów

4.2. Wykorzystanie zasady pomiarów z i bez kalibracji

W publikacjach [5, 6, 7] opisano możliwości wykorzystania zasady określania uziarnienia materiałów przy wykorzystaniu parametrów wielkości ziarna i powierzchni, przy czym szczególną uwagę poświęcono na badanie materiałów drobnych.

Rys. 3. pokazuje, że radiometryczne pomiary mogą być również wykorzystane w zakresie grubszego uziarnienia do pomiaru uziarnienia produktów rozdrabniania, klasyfikacji i granulacji.

Podstawiono stosunek ilości impulsów promieniowania V_I jako funkcję średniej arytmetycznej wielkości ziarna X_M , produktu kruszarki walcowej.



Rys. 3. Stosunek ilości impulsów promieniowania jako funkcja średniej asymetrycznej wielkości ziarna X_M granulat żeliwny

W siatce półlogarytmicznej możliwe jest aproksymowanie funkcjonalnego związku pomiędzy V_I i V_m przez linię prostą, którą można opisać w zakresie przeprowadzonych pomiarów przez równanie.

$$V_J = 0,356 I_m^{-0,27142} \left| \frac{I_m}{mm} \right| \quad (11)$$

Obliczony współczynnik korelacji K wynosi 0,998.

Wynika stąd, że mieszanina granulatu żeliwnego, którego skład ziarnowy zaszeregowany do jednego ze znanych rodzajów rozkładu uziarnienia, może być określany radiometrycznie z dużą dokładnością.

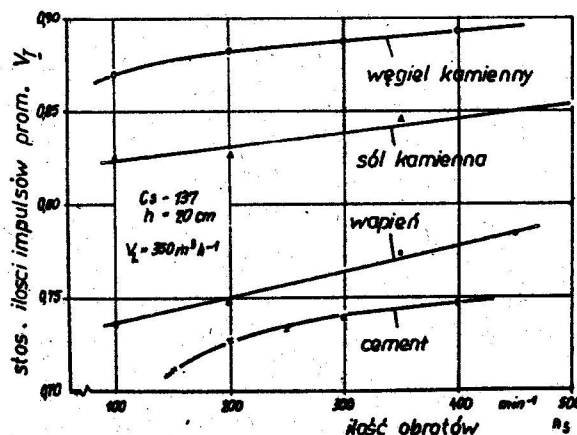
Wiele zakładów przemysłowych dąży do obniżenia kosztów produkcji przez stosowanie lepszych maszyn i technologii.

Podany przykład pokazuje, że radiometryczne metody przy niewielkim nakładzie środków i czasu mogą być wykorzystane do określania wpływów maszyn i parametrów technologicznych na skład ziarnowy produktów procesów przerobczych.

Uziarnienie produktu młyna strumieniowo-walcowego zależy między innymi głównie od ilości obrotów klasyfikatora powietrznego n_s oraz od natężenia przepływu powietrza V_L . Dla określenia tych wielkości mających wpływ na stopień zmielenia przebadano dokładnie laboratoryjny młyn walcowy.

Dla pomiaru uziarnienia produktu mielenia wykorzystano metodę radiometryczną przy czym wzrastająca ilość impulsów promieniowania odpowiada rosnącemu stopniowi zmielenia.

Na rysunku przedstawiono stosunek ilości impulsów promieniowania V_I jako funkcję prędkości obrotowej klasyfikatora powietrznego dla różnych materiałów przy stałym natężeniu przepływu powietrza V_L .

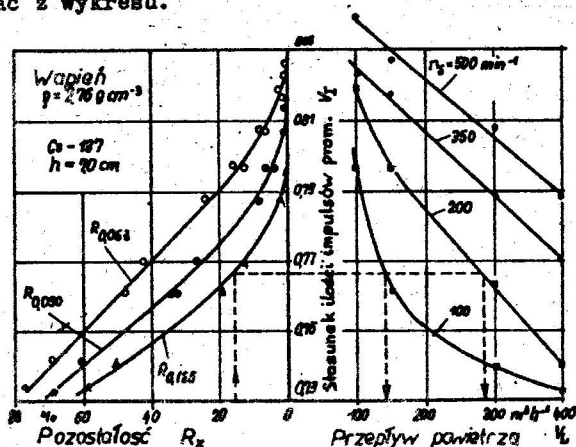


Rys. 4. Stosunek ilości impulsów promieniowania jako funkcja prędkości obrotowej klasyfikatora powietrznego dla różnych materiałów

Zgodnie z oczekiwaniem stwierdzono niezależnie od rodzaju materiału, wzrost ilości impulsów promieniowania z rosnącą prędkością obrotową klasyfikatora powietrznego to zn. produkt końcowy był lepiej zmielony.

Przedstawiony przykład pokazuje że metoda radiometryczna może być stosowana również bez wzorcowania do określenia wpływu wielkości wynikających z procesu technologicznego na uziarnienie materiału.

Po kalibrowaniu urządzenia wg konwencjonalnej analizy sitowej można odczytywać z wykresu.



Rys. 5. Nomogram pracy laboratoryjnego młyna strumieniowo-walcowego

Rys. 5. Nomogram pracy młyna strumieniowego walcowego na przykładzie rozdrabniania kamienia

Podsumowanie

Opierając się na podstawach teoretycznych dotyczących absorpcji promieniowania izotopów stwierdzono, że przy uwzględnieniu zależności upakowania materiału od uziarnienia i powierzchni właściwej istnieje funkcyjna zależność pomiędzy absorpcją promieniowania i uziarnieniem materiału. W celu potwierdzenia tych wiadomości teoretycznych przeprowadzono badania doświadczalne, które wskazują na możliwość wykorzystania metody radiometrycznej do oznaczania uziarnienia materiałów a tym samym do ciągłej kontroli procesów rozdrabniania, klasyfikacji innych.

LITERATURA

- [1] Leschonski K., Die On-Line-Verfahren der Teilchengrößenanalyse.
1. Europäisches Symposium "Partikelmeßtechnik" Dechema-Monographie

- Bd. 79, (1976) B, S. 21-38.
- [2] Leschonski L., On-Lino-Meßtechnik für die Ermittlung von Partikelgrößenverteilungen. 1. Fachtagung Granulometrie Dresden 1979.
 - [3] Schubert H., Zur Bedeutung der Kennzeichnung physikalischer Eigenschaften von Körnungen und Kornschüttungen für die Verfahrenstechnik. Freiburger Forschungsheft A 633 (1980) S. 11-24.
 - [4] Polgner Th., Höfl K. und Irmer K., Verfahren zur Schnellbestimmung der charakteristischen Kennwerte von Körnerkollektiven nach dem radiometrischen Durchstrahlungsprinzip. 17. Diskussionstagung "Zerkleinern und Klassieren" Forschungsinstitut für Aufbereitung der AdW Freiberg Okt. 1980.
 - [5] Polgner Th., Höfl K. und Irmer K., Verfahren zur Schnellbestimmung der charakteristischen Kenngrößen von grobdispersen Stoffsystemen nach dem radiometrischen Durchstrahlungsprinzip. Neue Bergbautechnik 11 (1981) 5, S. 296-298.
 - [6] Polgner Th., Höfl K. und Irmer K., Ergebnisse experimenteller Untersuchungen zur Bestimmung der charakteristischen Kenngrößen grobdisperser Stoffsysteme nach dem radiometrischen Durchstrahlungsprinzip. Neue Bergbautechnik 11 (1981) 8, S. 452-455.
 - [7] Polgner Th., Höfl K. und Irmer K., Verfahren zur indirekten Körnungsanalyse nach dem radiometrischen Durchstrahlungsprinzip. Vortrag auf der XIII. Silicconf. Budapest 2. - 6. Juni 81.
 - [8] Hartmann W., Meßverfahren unter Anwendung ionisierender Strahlung. Bd V des Handbuches der Meßtechnik in der Betriebskontrolle. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1969.
 - [9] Lukas A., Unter den Einfluß der Granulometrie und der Kornform auf die Packungsdichte von Siliziumkarbidmassen. Radex-Rundschau (1964), 6, S. 334-340.
 - [10] Richter und Born, Untersuchungen zur Optimierung der Kornverteilung im Hinblick auf die maximale Packungsdichte. Freiburger Forschungshefte A 534 (1974), S. 83-100.

RADIOMETRIC METHOD OF THE FAST MEASUREMENT OF GRAIN SIZE DISTRIBUTION

The theoretical bases of radiometric method of grain size measurements of different materials are given. The method is based on absorption measurements of radiation crossing through the sample of material.

The scheme of equipment and the way of measurement are described. The tests which were carried out showed high reproductivity of measurement results.