

Gabriel Borowski*

OKREŚLENIE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-MECHANICZNYCH MATERIAŁÓW DROBNOZIARNISTYCH W CELU ICH ZAGOSPODAROWANIA

Streszczenie. W publikacji omówiono najistotniejsze cechy i właściwości fizyczno-mechaniczne materiałów drobnoziarnistych mające wpływ na ich cechy użytkowe oraz możliwości gospodarczego wykorzystania. Przedstawiono cechy charakteryzujące materiał zarówno w postaci sypkiej, jak i zawiesiny czy szlamu. Niektóre materiały drobnoziarniste powstają w procesach technologicznych jako odpady przemysłowe, które powinny być kierowane do przetworzenia w celu odzysku cennych surowców. W oparciu o dostępne w kraju technologie istnieją możliwości zagospodarowania większości rodzajów odpadów drobnoziarnistych. Szczególnie duże zastosowanie mają procesy granulacji oraz brykietowania, w których nadaje się materiałom sypkim formę kawałkową i dodaje się je do wsadu pieców hutniczych. Potwierdzają to pokazane w pracy przykłady technologii zagospodarowania niektórych rodzajów odpadów drobnoziarnistych.

1. SPECYFIKA MATERIAŁÓW DROBNOZIARNISTYCH

Do materiałów drobnoziarnistych zaliczamy substancje w postaci stałej lub ciekłej składające się z ziaren których wymiary wynoszą najczęściej od 0,05 mm do 2,0 mm. Materiały te często występują z różnymi domieszkami i zanieczyszczeniami, które powinno się odseparować. Ze względu na zależności wielkościowe ziaren można wyróżnić struktury: równoziarniste – które mają ziarna w przybliżeniu jednakowej wielkości. nierównoziarniste – w których ziarna różnią się wielkością [Lutyński 2005].

Na podstawie kształtu ziaren wyróżnia się następujące struktury ziarniste:

- o ostrych krawędziach,
- o krawędziach wygładzonych,
- mieszane.

Materiał drobnoziarnisty w postaci stałej (sypkiej) posiada charakterystyczne właściwości i cechy. Jedną z najważniejszych jest skład granulometryczny, czyli ilościowy rozkład ziaren materiału pod względem ich wielkości. Wielkość ziaren jest określona wymiarami liniowymi: długością, szerokością i grubością, mierzonymi w dwóch wzajemnie prostopadłych do siebie płaszczyznach.

* Gabriel BOROWSKI – Katedra Podstaw Techniki, Politechnika Lubelska.

Rozkład granulometryczny cząstek w mieszaninie ziarnistej wyznacza się dość często w celu zorientowania się z jakich frakcji i klas wymiarowych składa się mieszanina. Oznaczenie wykonuje się za pomocą klasyfikatora wielositowego, dobierając zestaw sit odpowiedni do zakresu wymiarowego cząstek. Stosuje się zwykle od kilku do kilkunastu sit, zależnie od wymaganej dokładności analizy. Po przesianiu próbki mieszaniny waży się pozostałość na każdym sicie i wyraża w procentach (w stosunku do wyjściowej masy próbki).

Stopień rozdrobnienia cząstek jest często wyrażany jedną liczbą, nazywana modulem rozdrabniania lub średnim wymiarem cząstek (M). Wielkość tą oblicza się według wzoru:

$$M = \frac{\sum d_i P_i}{100} = \frac{d_1 P_1 + d_2 P_2 + \dots + d_n P_n}{100}, mm \quad (1)$$

gdzie:

d_i – średni wymiar otworów dwóch sąsiednich sit (mm),

P_i – ilość cząstek zatrzymanych na danym sicie (%).

Sposób wykonania analizy sitowej jest w Polsce określony normą PN-71/C-04501.

2. WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNO-MECHANICZNE CIAŁ SYPKICH

Wilgotność wpływa w istotny sposób na pozostałe cechy fizyczno-mechaniczne ciał sypkich, a w szczególności na współczynnik tarcia zewnętrznego i wewnętrznego, wytrzymałość, właściwości sprężyste i inne. Miarą wilgotności, czyli nawilgocenia ciała stałego, jest ilość zawartej w nim wody. Z punktu widzenia ruchu wody w wilgotnym materiale sypkim istotne znaczenie ma sposób wiązania wody przez ciało stałe. Rozróżnia się trzy sposoby wiązania wody: wiązanie chemiczne, fizykochemiczne i mechaniczne.

Woda związana chemicznie wchodzi w skład związku chemicznego z jakiego zbudowany jest dany materiał. Woda ta nie uchodzi z ciała przy podgrzaniu powyżej punktu wrzenia. Ciało zawierające tylko wodę związaną chemicznie nazywamy suchym.

Wiązanie fizykochemiczne wody z ciałem stałym może być wiązaniem adsorbcyjnym, osmotycznym lub strukturalnym. W wyniku fizykochemicznego wiązania wody ciało stałe zmienia swoje właściwości. Wodę tę można usunąć z ciała w procesie suszenia, przy czym może temu towarzyszyć zmiana dotychczasowej struktury i właściwości ciała.

Woda związana mechanicznie może tworzyć ciekłą warstwę na powierzchni cząstek lub wypełniać wolne przestrzenie między cząstkami. Ciała zawierające wodę związaną mechanicznie nazywamy wilgotnymi. W wyniku naturalnego lub sztucznego suszenia można odparować wodę związaną mechanicznie.

Zawartością wody U określamy stosunek masy wody W zawartej w ciele do masy całkowicie suchego ciała M_s wyrażony w kilogramach wody na kilogram suchej masy:

$$U = \frac{W}{M_s}, \frac{\text{kg wody}}{\text{kgs.m.}} \quad (2)$$

Wilgotnością w , wyrażoną w procentach, nazywamy stosunek masy zawartej w ciele związanej mechanicznie wody W do masy wilgotnego ciała M :

$$w = 100 \frac{W}{M} \quad (3)$$

a ponieważ $M = M_s + W$ to:

$$w = 100 \frac{W}{M_s + W} \% \quad (4)$$

Przez **gęstość w stanie zsypanym** (masę usypową) ρ_s materiału sypkiego rozumiemy masę jednostkowej objętości tego materiału (1 m^3) w stanie swobodnie usypanym. Masę usypową wyrażamy najczęściej w kg/m^3 .

Do wyznaczania masy usypowej stosuje się przyrząd zwany gęstościomierzem. Składa się on z naczynia pomiarowego z przymocowanym do niego prętem i pierścienia, który może obracać się wokół pręta. Chcąc wyznaczyć masę usypową sypie się badany materiał do naczynia pomiarowego przez ustawiony nad nim pierścień aż do napełnienia naczynia. Po napełnieniu naczynia pomiarowego obraca się pierścień dookoła pręta do położenia, tak że nadmiar nasypanego materiału zostaje zgarnięty równo z powierzchnią górnej krawędzi i spada na podstawkę przyrządu. Po zdjęciu pierścienia waży się naczynie pomiarowe z nasypanym do niego materiałem.

Masę usypową oblicza się ze wzoru:

$$\rho_s = \frac{m_1 - m_0}{V_1} \quad (5)$$

gdzie:

- m_1 – masa napełnionego naczynia pomiarowego,
- m_0 – masa pustego naczynia pomiarowego,
- V_1 – objętość naczynia pomiarowego.

Materiały sypkie dzielimy pod względem ich masy usypowej na

- lekkie, dla których $\rho_s = 600 \text{ kg/m}^3$ (plewy, torf),
- średnio ciężkie $\rho_s = 600\text{--}1100 \text{ kg/m}^3$ (nasiona zbóż, biomasa),
- ciężkie $\rho_s = 1100\text{--}2000 \text{ kg/m}^3$ (muły węglowe, opilki metali).

Oprócz masy usypowej przy projektowaniu maszyn i urządzeń do przeróbki i transportu materiałów sypkich konieczna jest znajomość gęstości (masy właściwej). Przez gęstość materiału sypkiego rozumie się średnią gęstość cząstek, z jakich się on składa.

Znajomość masy usypowej niezbędna jest m.in. do obliczania następujących parametrów:

- wydajności środków transportowych,
- wyboru typu i rodzaju transportu,
- obliczania sił występujących w urządzeniach transportowych,
- określenia parcia na ściany i otwory wylotowe zbiorników,
- właściwego napełnienia skrzyń ładunkowych pojazdów.

Innym wskaźnikiem oceny właściwości materiałów sypkich jest **masa utrzęsiona** – q_u . Dla określonych warunków drgań, którym poddawana jest próbka materiału, wskazuje zmniejszenie objętości tego materiału, w zależności od cech granulometrycznych, wilgotności itd.

$$q_u = \frac{m_1 - m_0}{V_2 - V_1} \quad (6)$$

gdzie:

m_1 – masa napełnionego naczynia pomiarowego,

m_0 – masa pustego naczynia pomiarowego,

V_2 – objętość naczynia pomiarowego po utrzęsieniu,

V_1 – objętość naczynia pomiarowego przed utrzęsieniem.

Masa utrzęsiona (zwana także gęstością pozorną) wyznaczana jest dla surowców pylistych przy użyciu aparatu Engelsmanna. W tym przypadku materiał wysypuje się do wyskalowanego cylindra o pojemności $0,5 \text{ dm}^3$ przy amplitudzie 10 mm i częstotliwości wstrząsów 150 min^{-1} . Po zakończeniu utrzęsienia odczytuje się objętość próbki oraz waży się ją. Wartość podawana jest w kg/m^3 .

Niektóre materiały sypkie, m.in. śruta i mąka, przy długotrwałym przechowywaniu zbrylają się tj. tworzą większe, nie rozsypujące się samorzutnie aglomeraty. Skłonność do zbrylania wzrasta wraz z wysokością warstwy składowanego materiału i największe bryły tworzą się przede wszystkim w dalszej części warstwy. Wilgotne materiały sypkie (tj. materiały zawierające wodę związaną mechanicznie) zamrażają przy temperaturze otoczenia niższej niż $0 \text{ }^\circ\text{C}$, tworząc zbitą, trudno dającą się rozbić masę.

Dalszą cechą charakteryzującą materiał sypki jest jego **przyczepność** (adhezja). Dużą przyczepność wykazują zwłaszcza materiały wilgotne. Przylepianie się tj. łączenie się powierzchniowe warstwy dwóch różnych materiałów, można wyjaśnić wzajemnym oddziaływaniem cząsteczek materiału, ścianek ograniczających materiał sypki i błonki wodnej, tworzącej się na powierzchni cząstek wilgotnego materiału sypkiego

i rodzaju materiału oraz stanu powierzchni ścianek ograniczających. Przez odpowiedni dobór materiału ścianek i gładkość ich powierzchni można znacznie ograniczyć przylepianie się materiału sypkiego.

Przy wysypywaniu się niektórych materiałów sypkich przez otwory wylotowe ze zbiorników tworzą się nad tymi otworami nieruchome sklepienia, ograniczające lub nawet całkowicie uniemożliwiające dalsze wysypywanie się materiału ze zbiornika. Jest to zjawisko niepożądane.

Tworzeniu się sklepień sprzyjają takie właściwości materiału jak: skłonność do zbrylania się i do zamarzania materiałów wilgotnych, spójność (kohezja) cząstek i przyczepność (adhezja). W przypadku materiałów o grubym uziarnieniu na tworzenie się sklepień wpływa wielkość cząsteczki, stosunek wielkości cząstek do wielkości otworu wylotowego. Z materiałów drobnoziarnistych największą tendencję do tworzenia sklepień wykazują materiały łatwo zbrylające się.

Jedną z najważniejszych właściwości fizyczno-mechanicznych określających materiał sypki jest jego **kąt zsyphu naturalnego**. Jego wartość zależy od stopnia wzajemnej ruchliwości cząsteczek, przy czym im ruchliwość ta jest większa, tym kąt zsyphu naturalnego jest mniejszy.

Naturalny kąt zsyphu wyznaczany jest podczas zsyphywania ładunku ziarnistego na płaszczyznę poziomą, przy niewielkiej prędkości strumienia jego cząstek. Cząstki te tocząc się w dół tworzą stok nachylony pod pewnym kątem do poziomu i najczęściej waha się w granicach 30–40°. Dla ładunku suchego kąt odpowiada w przybliżeniu kątowi tarcia wewnętrznego i z tego powodu często jest stosowany jako charakterystyczny parametr badanego materiału z uwagi na łatwość jego pomiaru.

Z kątem usyphu związana jest ruchliwość wzajemna cząstek, która zależy od sił spójności pomiędzy poszczególnymi cząstkami, jak również od oporów tarcia powstających przy wzajemnym przemieszczaniu się cząstek. Nawet dla tego samego materiału ruchliwość nie jest wielkością stałą, ale jest uwarunkowana wilgotnością, składem frakcyjnym, kształtem i wymiarami cząstek, stopniem zagęszczenia, a dla materiałów skłonnych do zbrylania również czasem przechowywania.

Pod względem ruchliwości poszczególnych cząstek dzielimy materiały sypkie na samozsyphujące się i nie zsyphujące się samoczynnie. Dla przeważającej większości materiałów kąt zsyphu naturalnego zależy od wilgotności i zwiększa się z jej wzrostem.

Kąt zsyphu naturalnego ma duże znaczenie przy transporcie, a w szczególności wpływa na wydajność przenośników taśmowych i innych. Niektóre materiały mają tak duży kąt zsyphu naturalnego, że konieczne jest stosowanie specjalnych urządzeń mechanicznych dla umożliwienia ich ruchu po nachylonych powierzchniach.

Istotną cechą charakteryzującą materiał sypki jest jego **zwięzłość**. Do materiałów zwięzłych zalicza się także materiały, które wykazują duży opór na ścinanie przy bardzo małych obciążeniach normalnych. Zwięzłość materiału sypkiego można wyjaśnić spójnością jego cząstek. Spójność ta może mieć charakter mechaniczny jak np. nasion niektórych roślin o puszystej powierzchni. U materiałów jednorodnych

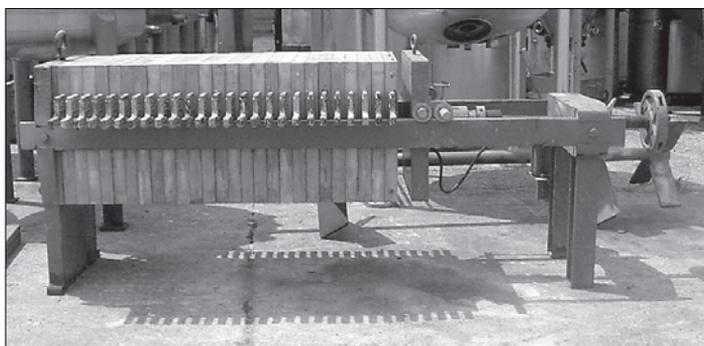
spójność jest wynikiem wzajemnego oddziaływania międzycząsteczkowego, czyli tzw. sił spójności, przeciwstawiających się rozdzieleniu cząstek materiału.

Niektóre materiały, jak sól, saletra amonowa, kreda, cukier i inne wykazują higroskopijność, czyli zdolność łatwego pochłaniania pary wodnej i wody z otoczenia. Materiały te należy składować w odpowiednich warunkach nie dopuszczających do wchłaniania wody (wentylacja pomieszczeń składowych, szczelne zbiorniki i worki).

3. POSTĘPOWANIE Z DROBNOZIARNISTYMI ZAWIESINAMI

Materiały drobnoziarniste występują również w postaci ciekłej jako zanieczyszczone zawiesiny, emulsje i szlamy. Główne zanieczyszczenia stanowią oleje, smary, minerały oraz metale i ich związki. Szlamy te zawierające znaczne ilości wody, są bardzo uciążliwe do zagospodarowania w pierwotnej postaci i wymagają przetworzenia. Często gromadzone są w kontenerach, zbiornikach i na poletkach składowych. Podczas takiego składowania zachodzi proces stopniowego ubytku wilgoci. Jednakże, w celu dalszego wykorzystania zawiesin i szlamów należy usunąć wodę niemal całkowicie oraz oddzielić wszelkie zanieczyszczenia stosując różne metody i procesy techniczne. Wśród nich wyróżnia się procesy fizyczne oraz chemiczne. Podstawowe procesy fizyczne to: filtracja, ultrafiltracja, flotacja, flokulacja, elektrokoagulacja, osmoza, ekstrakcja, mieszanie, zagęszczanie, sedymentacja, rozdrabnianie, odwirowanie, adsorpcja, desorpcja, stapianie, wymrażanie, suszenie i destylacja. Najczęściej zaś stosowane procesy chemiczne to: wymiana jonowa, neutralizacja, utlenianie, hydroliza, strącanie, przemiana katalityczna, elektroliza, absorpcja i cementacja [Borowski, Kuczmaszewski 2005].

Proces filtracji za pomocą płytowej prasy filtracyjnej w sposób prosty i skuteczny umożliwia zmniejszenie uwodnienia szlamów o około 30–40%. Powszechnie stosowany jest do odwadniania osadów w oczyszczalniach ścieków, galwanizeriach, garbarniach oraz zakładach przemysłu spożywczego. Prasa filtracyjna, pokazana na rys. 1, składa się z następujących podzespołów:



Rys. 1. Prasa filtracyjna

- zespół filtracyjny z płytami i tkaninami filtracyjnymi,
- głowice dociskowe z siłownikiem,
- zespół podający filtrat z pompą tłoczącą,
- zespół odprowadzający wodę,
- zespół sterujący pracą urządzenia.

Płyty filtracyjne połączone ze sobą tworzą komory w których zbiera się osad. Pomiędzy płytami nakłada się są polipropylenowe tkaniny filtracyjne. Dobór tkaniny uzależniony jest od rodzaju i właściwości filtrowanego osadu.

Utrzymanie odpowiedniego ciśnienia w komorze filtracyjnej zależy od prędkości obrotowej pompy, która regulowana jest za pomocą zespołu sterującego. W przypadku zastosowania pompy ze ślimakowym zespołem podającym wyróżnia się dwie fazy jej pracy:

- 1) faza ciągłej pracy – podczas napełniania komór filtracyjnych osadem,
- 2) faza pulsacyjnej (przerywanej) pracy – podczas odfiltrowania wody i okresowego dopełniania komór osadem.

Podczas odfiltrowania wody stosuje się ciśnienia od 0,3 MPa do 1,5 MPa, przeciętnie 0,5 – 0,6 MPa. W czasie okresowego dopełniania komór osadem cykle pulsacyjne są coraz krótsze w trakcie trwania tego procesu. Na proces filtracji wpływają następujące czynniki:

- ciśnienie filtrowania,
- czas filtrowania,
- rodzaj tkaniny filtrującej,
- początkowy stopień uwodnienia,
- dodatek tzw. środków wspomagających.

Stosując zagęszczanie osadów w płytowej prasie filtracyjnej możliwe jest uzyskanie filtratów o końcowym uwodnieniu 20–25%. Filtraty te należy dalej dosuszać zarówno w warunkach naturalnych na poletku składowym, jak i termicznie w suszarkach elektrycznych. Po dosuszeniu i ujednorodnieniu stanowią one materiał drobnoziarnisty, którego właściwości fizyczno-mechaniczne można określić tak samo jak w przypadku innych ciał sypkich.

4. DOBÓR TECHNOLOGII ZAGOSPODAROWANIA MATERIAŁÓW DROBNOZIARNISTYCH

Poniżej wymieniono przykładowe rodzaje substancji występujących w postaci drobnoziarnistej [Hryniewicz i in. 2006]:

- muły węglowe,
- odpady poflotacyjne,
- pyły cynkowo-ołowiowe,

- pyły i zgary miedzionośne,
- wióry brązów łożyskowych,
- poregeneracyjny tlenek żelaza,
- zendra,
- mułki zgorzelinowe,
- żużle,
- osady szlamów z oczyszczalni gazów wielkopieczowych,
- osady szlamów konwertorowych,
- osady szlamów poszlifierskich,
- żelazomangan,
- żelazokrzem,
- tlenek cynku,
- gąbka kadmowa,
- zgary aluminiowe,
- fluorek wapnia,
- wapno palone,
- karbid,
- gips z procesu odsiarczania spalin,
- odpady z produkcji wełny mineralnej,
- mączka dolomitowa.

Większość wymienionych materiałów stanowią odpady przemysłowe. Odpady poddawane są procesom odzysku lub unieszkodliwiania. Część z nich nadal jest jednak składowana na składowiskach. Dotyczy to głównie odpadów:

- powstających przy poszukiwaniu, wydobyciu i wzbogacaniu rud oraz innych surowców mineralnych;
- z rolnictwa, sadownictwa, hodowli, rybołówstwa, leśnictwa oraz przetwórstwa żywności;
- z przetwórstwa drewna oraz produkcji papieru, tektury, masy celulozowej, płyt i mebli;
- z przemysłu skórzanego i tekstylnego;
- z produkcji, przygotowania, obrotu i stosowania związków nieorganicznych,
- z produkcji, przygotowania, obrotu i stosowania podstawowych produktów przemysłu syntezy organicznej;
- z produkcji, przygotowania, obrotu i stosowania powłok ochronnych (farb, lakierów emalii ceramicznych) kitu, klejów, szczeliw i farb drukarskich;
- nieorganicznych z procesów termicznych,
- z kształtowania i powierzchniowej obróbki metali i tworzyw sztucznych,
- z budowy, remontów i demontażu obiektów budowlanych oraz drogowych.

Niektóre rodzaje odpadów (np. fosfogipsy) składowane są w znacznych ilościach i brakuje ekonomicznie uzasadnionej możliwości zagospodarowania ich [Hycnar J.

i in. 2005]. Nadal składowane są również duże ilości odpadów z procesów flotacyjnych. Obecnie nie stosuje się technologii pozwalającej na zmniejszenie ilości tych odpadów, jednak prowadzone są intensywne badania zmierzające do ich zagospodarowania zarówno na powierzchni ziemi, jak i w wyrobiskach górniczych [Plewa, Mysłek 2001].

Dla większości rodzajów odpadów istnieją w kraju technologie i instalacje pozwalające na odzysk surowców lub unieszkodliwienie substancji niepożądanych i niebezpiecznych dla środowiska. Poniżej przedstawiono przykłady stosowanych w Polsce technologii do zagospodarowania niektórych rodzajów odpadów drobnoziarnistych.

5. PRZYKŁADY ZAGOSPODAROWANIA ODPADÓW DROBNOZIARNISTYCH

5.1. Zagospodarowanie pyłów i szlamów z hutnictwa żelaza i stali

Oprócz surowki przerobczej i stali w hutach w wyniku prowadzonych procesów technologicznych otrzymuje się produkty uboczne, m.in. żużle i pyły. Odpady te odzyskiwane zostają w ponad 98%, a ich największe ilości wykorzystywane są w procesach hutniczych oraz w przemyśle cementowym.

W zależności od miejsca powstawania, w trakcie procesu technologicznego powstają następujące odpady: żużel wielkopiecowy i konwertorowy, gaz wielkopiecowy i konwertorowy, pył wielkopiecowy i stalowniczy, szlam wielkopiecowy i stalowniczy, pył z oczyszczania gazów odlotowych konwertorów tlenowych stalowni, pył z odpylania namiarowni wielkich pieców, pył z odpylania hali lejniczej, wytrącany w stacji odpylania hal lejniczych, pył spiekalniczy oraz szlam spiekalniczy [Plewa, Mysłek 2001].

Szlamy żelazonośne powstają przede wszystkim w wyniku mokrego odpylania gazów i spalin w takich instalacjach jak odpylnie mieszalni namiaru i ciągi chłodzenia gorącego spieku zwrotnego, oczyszczalnie gazu wielkopiecowego i oczyszczalnie gazu konwertorowego. Z kolei szlam wielkopiecowy jest najdrobniejszą frakcją materiałów wsadowych, wychwyconą podczas mokrego oczyszczania gazu wielkopiecowego, osadzoną w osadnikach radialnych wielkich pieców. Szlam spiekalniczy powstaje wskutek odbioru na mokro pyłów z odpylania taśm spiekalniczych. Pyły żelazonośne są zatrzymywane w odpylni i gromadzone w zbiorniku, a następnie przewożone do namiarowni składników pylastych. Z kolei pył wielkopiecowy jest drobną frakcją materiałów wsadowych, wychwyconą w odpylniku statycznym podczas procesu suchego oczyszczania gazu wielkopiecowego. Według danych Urzędu Statystycznego w Katowicach w 2001 r. w województwie śląskim wytworzono ok. 3 mln Mg odpadów z hutnictwa żelaza i stali. Największymi wytwórcami tych odpadów były: PHS – Oddział Huta Katowice, Huta Częstochowa i Huta Zawiercie — w sumie 98% ww. odpadów. Do końca 2001 r. na składowiskach nagromadzono 10,851 mln Mg żużli

z procesów wytapiania. Procesom odzysku poddano 100% pyłów i szlamów z oczyszczania gazów odlotowych. W ponad 99% odzyskiwane były żużle z procesów wytapiania. W 2001 r. unieszkodliwiono poprzez składowanie 48,1 tys. Mg omawianych odpadów.

5.2. Zagospodarowanie pyłów i szlamów z urządzeń odpylających

Pyły z urządzeń suchego odpylania czy też szlasy z urządzeń odpylających na mokro ze względu na skład chemiczny stanowią cenny materiał wsadowy w piecach hutniczych. Pyły te są materiałem trudnym do składowania i transportu oraz nie nadają się do kawałkowania w prasach. Z uwagi na konsystencję, szlasy nie powodują wtórnego pylenia. Przetworzenie tych odpadów jest możliwe poprzez nadanie im formy granulki o akceptowalnej wytrzymałości. Uzyskanie granulatu z pyłów wymaga ich nawilżenia i utrzymania wilgoci na stałym poziomie. Szlasy z kolei zawierają zbyt dużo wilgoci i ich przerób musi być poprzedzony operacją suszenia, co wymaga dużego zużycia energii. Pył z namiarowni wielkich pieców wraz ze szlamem wielkopieczowym można dozować do mieszanki uśredniającej do produkcji spieku wielkopieczowego. Recykling pyłów i szlamów stalowniczych odbywa się w konwerterze stalowniczym [Robak, Matuszek 2008].

W technologii przygotowania mieszaniny szlamu i pyłu do procesu recyklingu najważniejszą operacją technologiczną jest mieszanie, czyli ujednorodnienie masy. W trakcie tej operacji wykorzystywany jest efekt spadku wilgotności w mieszaniu do poziomu średniej ważonej, przez co uzyskiwana jest konsystencja ułatwiająca proces granulacji. Do ujednorodnienia wszelkich typów mas, m.in. pyłów i szlamów stosuje się mieszalniki. W urządzeniach tych ok. 90% energii napędu zużywane jest na intensywne mieszanie małej porcji masy znajdującej się w zasięgu szybkoobrotowego wirnika, obracającego się w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu miski mieszadła. Takie rozwiązanie konstrukcyjne umożliwia pełne ujednorodnienie masy półplastycznej nawet w ciągu dwóch lub trzech minut. Dodatkową zaletą takiego mieszalnika jest to, że może on również w sposób efektywny rozdrabniać grubsze frakcje zbrylonego materiału, co jest nieodzowne w przypadku docelowego granulowania mieszaniny.

Obrotowa miska i zgarniacz dostarczają w sposób ciągły mieszaną masę w obszar działania intensywnego wirnika, którego robocze łopatki są tak ustawione, aby dokonywać przemieszczenia materiału we wszystkich płaszczyznach, także w kierunku równoległym do osi wirnika. Tylko nieznaczna część mocy napędu przypada na przemieszanie całego wsadu. Dzięki takiej technice mieszania zainstalowanie dużej mocy napędu mieszalnika umożliwia pełną ujednorodnienie mieszaniny o dowolnej konsystencji przy minimalnym zużyciu energii w przeliczeniu na jednostkę masy obrabianego materiału. Konsekwencją tego jest krótki, kilkuminutowy czas mieszania jednego ładunku. Mieszalniki tego typu można również włączyć w linie technologiczne o działaniu ciągłym.

Mieszanki szlamów i pyłów sporządzane dla potrzeb recyklingu w procesie metalurgicznym, mogą być poddane procesowi **granulacji**. W procesie tym materiał uzyskuje formę kulek o dość znacznym stopniu zagęszczenia, bez stosowania form i nacisku mechanicznego. Ważne jest, że drobne proszki, masy drobnoziarniste, masy plastyczne i szlamy mogą być granulowane od razu w mieszalniku intensywnym typu Eirich przy odpowiednim prowadzeniu procesu. Jedynie w przypadku wymagań jednorodności granulatu konieczne jest dodatkowe zastosowanie granulatora. Tworzenie się w końcowym etapie mieszania załączków granul powoduje, że zastosowanie tego typu mieszadła znakomicie ułatwia granulację masy na granulatorach talerzowych. W mieszalniku wytwarzany jest granul o wielkości granulek w przedziale od 0,2 do 8 mm. W mieszadle granulującym podczas jednej operacji można ujednorodnić masę i ją zgranulować. W tego typu mieszalnikach dodatkowym, bardzo ważnym aspektem jest możliwość chemiczno-mechanicznego dosuszania szlamów. Technologia ta pozwala na efektywne obniżenie wilgotności szlamu o kilka procent w wyniku dodatku CaO i intensywnego mieszania bez stosowania procesu suszenia.

Proces granulowania mas drobnoziarnistych przy właściwym przygotowaniu materiału i doborze właściwych konstrukcji urządzeń zachodzi łatwo i nie wymaga dużych nakładów energii. Granulacja na talerzu granulacyjnym zapewnia wysoką jednorodność granulatu oraz uzyskiwanie stosunkowo dużych granulek. Natomiast w mieszalnikach nie uzyskuje się jednakowych i dużych granulek. Doświadczenia wskazują, że maksymalne wymiary granulek uzyskiwanych w mieszalnikach wynoszą ok. 6 mm [Robak, Matuszek 2008]. Na rysunku 2 pokazano granulator z talerzem granulacyjnym.

Proces granulacji jest procesem ciągłym i jednorodności średnicy granulek zależą od nastawienia urządzenia: szybkości obrotów, nachylenia talerza, wydajności natry-

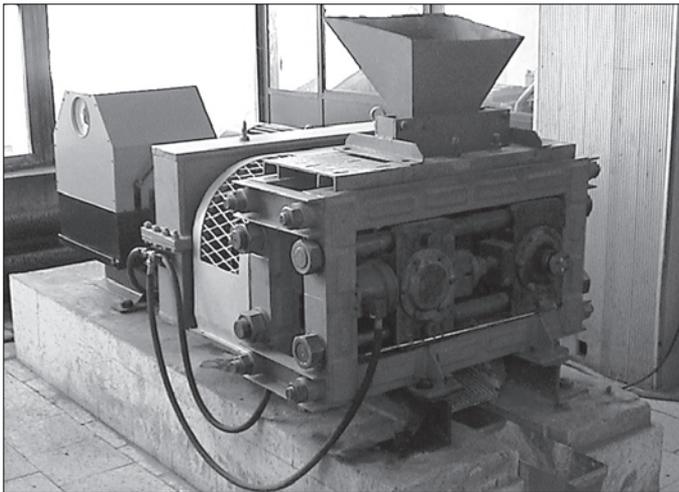


Rys. 2. Granulowanie na talerzu granulacyjnym

sku wodnego, a także od jednorodności i szybkości dozowania materiału. Granulki produkowane na talerzu granulacyjnym odznaczają się wyższą gęstością i wytrzymałością bezpośrednio po wytworzeniu. Proces granulacji zarówno w granulatorach talerzowych, jak i bębnowych wymaga jednostajnego zasilania granulatora w mieszankę surowcową i charakteryzuje się niskim zużyciem energii. Typowa wilgotność granulatu wynosi od 11 do 20%, w zależności od rodzaju materiału, i jest większa w materiałach o porowatych ziarnach, np. popiołach lotnych. Granulki mogą mieć maksymalną średnicę ok. 20 mm, ale należy pamiętać, że wydajność urządzenia gwałtownie spada wraz ze wzrostem ich rozmiaru. Granulacja jest procesem tańszym i wydajniejszym od brykietowania, a właściwości wytrzymałościowe produktu przy właściwym doborze technologii nie ustępują brykietom. Homogeniczność masy poddawanej granulacji ma bardzo duży wpływ na sam przebieg formowania się granulki i ich wytrzymałość mechaniczną. Jej wysoki stopień ujednorodnienia pozwala na znaczne ograniczenie ilości spoiw dodawanych do mieszaniny w celu podwyższenia wytrzymałości granulatu [Heim 2005].

5.3. Zagospodarowanie odpadów zawierających znaczne ilości żelaza

Drobnodziarniste odpady zawierające znaczne ilości żelaza powstają m.in. podczas szlifowania kulek łożyskowych oraz innych elementów łożysk tocznych. Zagospodarowanie tych odpadów polega na ich scalaniu (nadaniu formy kawałkowej) oraz dodaniu do wsadu wraz ze złomem stalowym do przetopienia w piecach hutniczych [Borowski i in. 2008]. Najkorzystniej scalanie wykonuje się metodą brykietowania przy pomocy prasy walcowej (rys. 3). Prasy walcowe stosowane są do brykietowania rozmaitych drobnodziarnistych odpadów żelazonośnych do których należą:



Rys. 3. Prasa walcowa

zendra, pyły wielkopieczowe, mułki zgorzelinowe, szlasy konwertorowe, szlasy z mokrego oczyszczania gazów wielkopieczowych, szlasy poszlifierskie, pylisty żelazomangan oraz drobnoziarnisty żelazokrzem.

Materiał odpadowy do brykietowania należy odpowiednio przygotować – określić jego skład chemiczny i właściwości fizyczne, rodzaj i zawartość lepiszcza oraz najkorzystniejszą wilgotność mieszanki. Jako lepiszcze zaleca się stosować melasę w ilości ok. 8% masy odpadów. Następnie należy mieszać odpady z melasą w mieszarce z dosuszaniem termicznym doprowadzając mieszankę do wilgotności ok. 5%. Do brykietowania przygotowanej mieszanki zaleca się stosowanie prasy walcowej wraz z układem formującym umożliwiającym wytwarzanie brykietów w kształcie „siodła”. Stosując nacisk jednostkowy ok. 65 MPa uzyskuje się trwale i wytrzymałe brykiety spełniające dopuszczalne wymogi hutnictwa i nadające się do wykorzystania jako komponent wsadu pieca stalowniczego. Zanim brykiety skierowane zostaną do przetopu należy je sezonować przez okres co najmniej 120 godzin. Zaleca się przetapianie brykietów w łukowym piecu elektrycznym. Proces ten polega na nagrzewaniu i roztopianiu wsadu, składającego się ze złomu stalowego oraz brykietów, do całkowitego roztopienia po uzyskaniu temperatury około 1580 °C. Następnie należy odlewać uzyskaną fazę ciekłą oraz odczekać do jej zakrzepnięcia. Zastąpienie części złomu brykietami z odpadów łożyskowych jest w pełni uzasadnione, gdyż skład chemiczny kąpieli metalowej z brykietami jest zbliżony do składu chemicznego kąpieli powstałej po stopieniu wyłącznie złomu. Wprowadzenie do procesu wytapiania stali brykietów nie powoduje zwiększonej emisji uciążliwych pyłów do atmosfery, natomiast obecne w brykietach węglowodory (zanieczyszczenia olejowe) ulegają rozkładowi [Borowski, Kuczmazewski 2005].

5.4. Zagospodarowanie odpadów węglowych

Drobnoziarniste frakcje węglowe z procesów wydobywania, wzbogacania i wykorzystania węgla kamiennego i brunatnego stanowią znaczący udział w bilansach produkcji i zagospodarowania węgla. Do drobnoziarnistych frakcji węglowych należą muły węglowe, odpady poflotacyjne, ściery, pyły koksownicze, koksik z procesów zgazowania i wysoko zawęglone stałe produkty spalania paliw. W zależności od własności energetycznych muły węglowe, ściery, pył koksowniczy i koksik często są zagospodarowywane jako paliwa samodzielne oraz jako jeden ze składników wytwarzanych mieszanek paliwowych [Boruk, Winkler 2009]. Odpady poflotacyjne w znacznie mniejszym stopniu są energetycznie zagospodarowywane. W tych to warunkach, znaczne ilości drobnoziarnistych frakcji węglowych stają się odpadem i są składowane w osadnikach lub w wyrobiskach górniczych.

Duża ilość i wysokie rozdrobnienie omawianych frakcji węglowych uzasadniają potrzebę zmiany dotychczasowych praktyk i zwiększenia ich zagospodarowania jako paliwa podstawowego i uzupełniającego dla określonych obiektów energetycznych oraz opanowania produkcji wysokojakościowych koncentratów węglowych i mie-

szanek paliw alternatywnych. W szeregu przypadków, drobnoziarniste frakcje mogą być wzbogacane metodami fizycznymi i fizykochemicznymi, uzyskując wysokoenergetyczne koncentraty węglowe. Proponowane rozwiązania pozwalają na pełne zagospodarowanie, nawet niskoenergetycznych, drobnoziarnistych frakcji węglowych [Hycnar J. i in. 2005].

Do odpadów z przemysłu energetycznego zalicza się: żużle ze spalania węgla kamiennego, żużle ze spalania węgla brunatnego, popioły lotne z węgla kamiennego, popioły lotne z węgla brunatnego, mieszanki popiołowo-żużlowe z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych, mikrosfery z popiołów lotnych, stałe odpady z wapniowych metod odsiarczania spalin, w tym gips poreakcyjny, produkty odsiarczania wg metody półsuchej, produkty odsiarczania wg metody suchej, mieszaniny popiołów lotnych i odpadów stałych z wapniowych metod odsiarczania gazów odlotowych – wg metod suchych, półsuchych odsiarczania spalin oraz spalania w złożu fluidalnym.

Okolo 75% odpadów węglowych podlega odzyskowi. Z przeprowadzonego rozpoznania wynika, że popioły lotne i żużle znalazły bardzo szerokie zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, a przede wszystkim podlegają odzyskowi w przemyśle materiałów budowlanych do produkcji cementu, betonów, kruszyw, cegły, materiałów termo- i hydroizolacyjnych, ceramiki specjalnej itd. W górnictwie węgla kamiennego popioły stosowane są do: podsadzania podziemnych wyrobisk eksploatacyjnych, uszczelniania zrobów przed przenikaniem gazów i wody, wzmacniania górotworu, izolowania pól pożarowych.

Jednym z masowych kierunków wykorzystania odpadów ze spalania jest zastosowanie ich do makroniwelacji i rekultywacji terenu. W kraju powszechnie stosuje się wykorzystanie popiołów i żużli z węgla brunatnego do wypełniania wyrobisk po węglu brunatnym węgla brunatnego, kruszyw, gliny, siarki. Mieszanina popiołowo-żużłowa ze składowisk podlega odzyskowi przy budowie obwałowań składowisk odpadów paleniskowych i innych odpadów.

W budownictwie drogowym popioły i żużle mogą spełniać rolę kruszyw, dodatków doziarniających, dodatków pucolanowych do spoiw, spoiw bądź wypełniaczy. Stosowane są one także do budowy nasypów komunikacyjnych [Hryniewicz 2002].

W związku ze wzrastającą ilością wytwarzanych produktów odsiarczania spalin ich odzysk/unieszkodliwienie staje się problemem ważnym i aktualnym. Największe możliwości w tym zakresie istnieją dla gipsu poreakcyjnego jako materiału zastępującego gips naturalny.

6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Zagospodarowanie materiałów drobnoziarnistych, w tym substancji odpadowych, powinno być poprzedzone dokładnym określeniem ich charakterystycznych cech i właściwości. Najważniejsze z nich to rozkład granulometryczny, czyli ilościowy

rozkład ziaren materiału pod względem ich wielkości, następnie wilgotność (zawartość wody), gęstość w stanie zsypanym (masa usypowa), masa utrzesiona (gęstości pozorną), przyczepność (adhezja), kąt zsypania naturalnego oraz zwięzłość. W przypadku występowania materiałów drobnoziarnistych w postaci ciekłej (jako zanieczyszczone zawiesiny, emulsje i szlamy), należy odseparować nadmiar wody stosując np. proces filtracji za pomocą płytowej prasy filtracyjnej.

Spośród istniejących w kraju technologii pozwalających na zagospodarowanie surowców drobnoziarnistych lub ich unieszkodliwienie, na szczególną uwagę zasługują te, które umożliwiają uzyskanie granulatu lub brykietów o znacznej odporności mechanicznej. Metodę granulacji wykorzystuje się do przetwarzania pyłów z urządzeń suchego odpylania oraz szlamów z urządzeń odpylających na mokro. Z kolei drobnoziarniste odpady zawierające znaczne ilości żelaza ze szlifowania kulek łożyskowych poddaje się brykietowaniu. Uzyskane granulaty oraz brykiety stanowią cenny materiał wsadowy do przetopienia w piecach hutniczych.

Zagospodarowanie drobnoziarnistych frakcji węglowych z procesów wydobywania, wzbogacania i wykorzystania węgla kamiennego oraz brunatnego jest najefektywniejsze w przypadku wykorzystania energetycznego jako paliwa lub jako jednego ze składników mieszanki paliwowej. Produkty spalania paliw stanowią odpady, które mogą być zastosowane w przemyśle materiałów budowlanych do produkcji cementu, a także do niwelacji i rekultywacji terenu, do wypełniania wyrobisk, czy też do podbudowy dróg i nasypów komunikacyjnych.

Analiza przedstawionych zagadnień pozwala wysunąć wnioski, że istnieją w kraju dobrze znane technologie pozwalające na zagospodarowanie drobnoziarnistych materiałów odpadowych, jednak związane jest to ich przetworzeniem obejmującym zmianę ich właściwości fizyczno-mechanicznych, a często także modyfikację składu chemicznego. Pozwala to dostosować parametry przetworzonych substancji do określonych wymogów zakładów utylizujących. Substancje te nabywają cech przydatności i stają się pełnowartościowymi surowcami wykorzystywanymi w różnych gałęziach przemysłu.

LITERATURA

1. Borowski G., Kuczmaszewski J., 2005: Utylizacja drobnoziarnistych odpadów metalowych. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin.
2. Borowski G., Kuczmaszewski J., Hryniewicz M., 2008: Sposób wytwarzania brykietów z drobnoziarnistych materiałów metalowych. Patent PL 363259.
3. Boruk S., Winkler I., 2009: Ecologically friendly utilization of coal processing waste as a secondary energy source. In: Energy and Environmental Challenges to Security. Springer, Netherlands: 251–259.
4. Heim A., 2005: Zagadnienia procesowo-aparaturowe aglomeracji. Materiały VII Ogólnopolskiej Konferencji w problematyce inżynierii środowiska pt. „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska”. Politechnika Koszalińska: 33–54.

5. Hryniewicz M., 2002: Badania procesów przygotowania drobnoziarnistych odpadów żelazonośnych do recyklingu. Materiały IV Forum Inżynierii Ekologicznej, Nałęczów: 75–83.
6. Hryniewicz M., Kosturkiewicz B., Janewicz A., 2006: Scalanie drobnoziarnistych odpadów. Zeszyty Naukowe. Inżynieria Chemiczna i Procesowa / Politechnika Łódzka., 29: 89–98.
7. Hycnar J., Foltyn R., Olkuski R., Blaschke S.A., 2005: Kierunki energetycznego wykorzystania drobnoziarnistych odpadów z wydobycia i wzbogacania węgla kamiennego. Materiały VII Ogólnopolskiej Konferencji w problematyce inżynierii środowiska pt. „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska”. Politechnika Koszalińska: 639–650.
8. Lutyński A., 2005: Wydzielanie ziaren węglowych z odpadów drobnoziarnistych. Materiały VII Ogólnopolskiej Konferencji w problematyce inżynierii środowiska pt. „Kompleksowe i szczegółowe problemy inżynierii środowiska”. Politechnika Koszalińska: 651–657.
9. Plewa F., Mysiek Z., 2001: Zagospodarowanie odpadów przemysłowych w podziemnych technologiach górniczych. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.
10. Robak J., Matuszek K., 2008: Granulowanie paliwa z odpadów. Chemik, 9: 418–424.

Designation of physical and chemical properties of fine-grained materials for their utilization

Summary

An important of physical-chemical features and factors of fine-grained materials influenced for usefulness and utilizing were described in the paper. The were proposed characteristic marks in loose, suspension and sludge type of material. A lot of fine-grained materials forming in technological processes as wastes could be utilize for material recover. There are well known a possibilities of wastes processing, especially granulation and briquetting applications. It is enable to obtain the high material strength products which qualifies them for utilization in furnaces. An examples of technologies to utilise of fine-grained waste shown in the paper confirmed their usefulness.