

Ćwiczenie 6

Przygotowanie wsadu przez grudkowanie

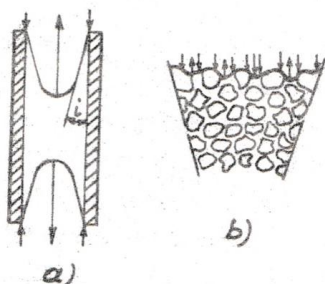
Cel ćwiczenia: Wykonanie grudek surowych w warunkach laboratoryjnych oraz znaczenie wytrzymałości tych grudek i grudek wypalonych

Wiadomości ogólne. Grudkowanie jest jedną z najbardziej rozpowszechnionych metod przygotowania wsadu wielkopiecowego. Nie jest to sposób konkurencyjny do procesu spiekania z uwagi na to, że spieka się materiały ziarniste, natomiast grudkuje się materiały pyliste (koncentraty bardzo drobne). Bardzo drobne pyliste cząstki mieszanki spiekającej zmniejszają przewodność mieszanki, a tym samym zmniejszają również wydajność produkcji spieku. Dlatego przed spiekaniem powinny być odsiewane. W przypadku produkcji grudek, właśnie te najbardziej drobne frakcje (około 0,06 mm i drobniejsze) decydują o powodzeniu procesu produkcji grudek. Oznacza to, że im więcej drobnych frakcji poniżej 0,06, a nawet 0,05 mm jest użytych do grudkowania, tym powstałe grudki są trwalsze i w tym większym stopniu nadają się do dalszej obróbki, mającej na celu zwiększenie ich wytrzymałości. Urządzeniami do produkcji grudek surowych są talerze lub bębny grudkujące, a praktycznie całe zespoły bębnowe oraz talerzy ewentualnie kombinacji bębnowe i talerzy o różnych średnicach i prędkościach obrotowych. Wielkość grudek (średnica), a także wydajność urządzeń grudkujących zależy od ustawienia ich kąta pochylenia i stosowanych prędkości obrotowych tych urządzeń. Na ogół wielkość grudek i wydajność są do siebie odwrotnie proporcjonalne. Dokładne schematy urządzeń grudkujących podano w pracach E. Mazanka i in. [2] i [3]. W pracach tych dokładnie również omówiono zależności zachodzące pomiędzy szybkością obrotową i pochyleniem urządzeń grudkujących a wielkością grudek i wydajnością grudkownika.

Teoretyczne podstawy tworzenia się grudek surowych w urządzeniach grudkujących

Autorami teorii powstawania grudek surowych w urządzeniu grudkującym są Tigerschild i Ilmoni. Zauważyli oni, że przy toczeniu się drobnego,

sypkiego i nawilżonego materiału w obracającym się urządzeniu (talerz z burta lub bębniem) materiał ten zaczyna się zbrylać. Po pewnym czasie zbrylający się materiał formuje się w drobne kulki, zwane grudkami. Autorzy tłumaczą ten efekt w sposób następujący: woda zaczyna zajmować miejsce w wolnych mikroprzestrzeniach pomiędzy pylastym materiałem. Ruch obrotowy wywołuje rozrywanie się nawilżonego materiału w miejscach nie nawilżonych. Tworzą się więc drobne bryłki, które są zalążkami coraz to większych kul powstałych przez nabieranie na siebie wody i pyłu w czasie toczenia. Grudki osiągają coraz to większą objętość w miarę dalszego unoszenia się ku górze i staczania pod własnym ciężarem w dół urządzenia obrotowego, nastawionego pod pewnym kątem do płaszczyzny podstawy. Stwierdzono również, że po przecięciu grudki można zaobserwować rozgałęzioną sieć naczyń kapilarnych pomiędzy drobinami rudy, co przedstawiono na rysunku 20b. Przestrzenie te są wypełnione wodą. Na zewnątrz powierzchni grudki w tych naczyniach w zetknięciu z powietrzem powstają meniski wklęsłe. Istnienie menisków wklęsłych związane jest z istnieniem sił napięcia powierzchniowego. Z zewnątrz działają więc na powierzchnię drobin rudy (ścianki kapilar) siły ściskające. Jeśli te siły ściskające są wystarczająco duże to sprawiają, że grudka utrzymuje swoją postać. Na rysunku 20a przedstawiono działanie sił powierzchniowych w pojedynczej kapilarze.



Rys. 20. Przekrój przez grudkę surową: a - pojedyncza rurka kapilarna, b - przekrój grudki

Technologia produkcji grudek

Szczegółowo technologię produkcji grudek, jak i urządzenia, w których ta produkcja się odbywa przedstawiają dokładnie prace E. Mazanka i Autorów [2] i [3]. W skrypcie przedstawia się tylko skrótowo postępowanie przy produkcji grudek w celu przypomnienia i ogólnego zrozumienia postępowania przy wykonywaniu ćwiczenia w warunkach laboratoryjnych.

Technologię produkcji grudek najogólniej można podzielić na dwa następujące etapy:

- przygotowanie wsadu do procesu produkcji grudek surowych i produkcja grudek surowych,

- utwardzanie grudek celem zwiększania ich wytrzymałości.

W pierwszym etapie przed przystąpieniem do wytwarzania grudek surowych należy dokładnie przygotować mieszankę do grudkowania. Na ogół podstawowym składnikiem tej mieszanki są koncentraty rudne, które są bardzo drobne, co wynika ze sposobu ich wytwarzania w procesach wzbogacania rud. Są więc odpowiednim tworzywem do wytwarzania grudek surowych. Jako inne składniki stosuje się niekiedy bentonit, wapno palone i składniki podwyższające napięcie powierzchniowe wody. Wymaga się, aby skład drobnopięknej mieszanki był następujący:

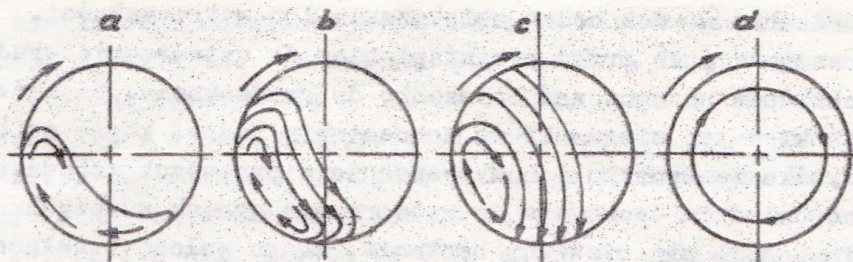
- 100% frakcji poniżej 0,05 mm,
- 80% frakcji poniżej 0,04 mm, a 20% między 0,04 ÷ 0,06.

Taki skład ziarnowy mieszanki uzyskuje się poprzez jej przesiewanie selektywne na sitach o koniecznych wymiarach oczek 0,04 mm ÷ 0,06 mm.

Po uzyskaniu odpowiedniego składu ziarnowego niekiedy stosuje się dodatki. Celem stosowania dodatków jest:

- zwiększanie napięcia powierzchniowego wody lub tzw. napięcia koloidalnego,
- uzyskania grudek o odpowiednim składzie chemicznym.

Należy jednak stwierdzić, że stosowanie dodatków do korekty składu chemicznego występuje w praktyce przemysłowej rzadko, ze względu na trudności technologiczne występujące przy wypalaniu grudek. Po skomponowaniu mieszanki do grudkowania w opisany powyżej sposób, podaje się ją odpowiednimi porcjami do urządzenia grudkującego. Bęben lub talerz ustawione pod wybranym kątem, obracając się z regulowaną szybkością obrotową, porywają drobną mieszankę i unoszą ku górze urządzenia grudkującego (schemat przedstawiony na rysunku 21). Do bębna lub na talerz wtryskiwana jest woda. Ilość dodawanej wody musi być odpowiednio dobrana dla każdej mieszanki. Gdy woda występuje w zbyt małej ilości grudki opornie się tworzą, gdy jest jej za dużo, są słabe i rozlatują się w czasie transportu do pieców wypalających. Wzrokowo bada się to w ten sposób - oglądając grudkę zwraca się uwagę, czy ona nie błyszczy. Gdy błyszczy, tzn. powierzchnia jej pokryta jest warstwą wody. Grudka otoczona jest wodą na całej powierzchni, brak menisków u wyjścia na zewnątrz jej naczyń kapilarnych, a więc i brak sił spajających grudkę. Niedomiar wody łatwo zauważyć, obserwując proces grudkowania. W tym przypadku mieszanka podnosi się do góry i opada bez wyraźnego tworzenia się grudek. Grudki surowe są na ogół przesiewane na końcu urządzenia grudkującego i dzielone wg wymiarów na odpowiednie frakcje. Dalej są one transportowane do wypalania. Tylko grudki o wytrzymałości powyżej 20 N/grudkę gwarantują, że nie rozleczą się w transporcie. Wynika stąd problem, że niektóre rodzaje grudek po wypaleniu zawierają dużo drobnej frakcji, powstałej z rozpadu grudek surowych. Należy wspomnieć, że istnieją połączone stoja-



Rys. 21. Schematyczne przedstawienie ruchu materiału na grudkowniku talerzowym. Oznaczenia: n_1 - ilość obrotów, a - n_1 obrotów, b - $n_2 > n_1$ obrotów, c - $n_3 > n_2 > n_1$ obrotów, d - $n_4 \geq n_{kr}$ (grudka opuszcza urządzenie)

ce bardzo blisko siebie urządzenia do produkcji grudek surowych i ich wypalania, co znacznie obniża stopień zniszczenia grudek surowych. Urządzenia te przedstawiono w pracach E. Mazanka i in. [2] i [3]. Drugim etapem produkcji grudek jest ich utwardzanie. Istnieje bardzo wiele chemicznych sposobów utwardzania grudek. Najczęściej przyjętym sposobem jest utwardzanie ich przez wypalanie w specjalnie służących do tego celu urządzeniach (piece szybowe, taśmy, krótkie taśmy i inne), których schematy i sposoby wypalania grudek dokładnie przedstawiono w pracach [2] i [3] i innych.

Celem wypalania grudek jest nadanie im wytrzymałości zdolnej znieść trudne warunki wielkopieczowe, tj. naciski, ścieranie i inne. Wypalanie grudek prowadzi się w warunkach utleniających w temperaturach 1350°C (1623°K) w przypadku grudek kwaśnych, 1250°C (1523°K) w przypadku grudek zasadowych - samotopliwych, wytwarzanych z koncentratów magnetytowych. Temperaturę wypalania należy tak dobrać, aby nie zachodziło nawet powierzchniowe obtopienie grudek. Powodowałoby to zalewanie kanalików (porów) po wodzie, zmniejszało zatem dostęp gazu do wnętrza grudki w warunkach wielkopieczowych. Zmniejszałoby znacznie redukcyjność grudek. Mechanizm wiązania grudek z magnetytu opiera się na jego utlenianiu, powiązany z egzotermiczną reakcją i rekrytalizacją hematytu połączoną ze zmniejszaniem objętości. Właśnie to rekrytalizujące ściskanie powoduje wzmocnienie grudek. Grudki wykonane z koncentratów magnetytowych są znacznie bardziej twarde i wytrzymałe oraz produkowane z mniejszym dodatkiem paliwa (reakcja jest egzotermiczna). Są zatem bardziej ekonomiczne w produkcji. Grudki, jak już wspomniano, wypala się w piecach szybowych, obrotowych, na taśmach oraz w urządzeniach kombinowanych z tzw. krótką taśmą. W przypadku wypalania grudek samotopliwych (nie wymagających dodatku CaCO_3 w procesie wielkopieczowym) temperatura wypalania jest znacznie obniżona przez CaO . Należy ją jednak dokładnie kontrolować, by grudki się nie obtopiły.

Ocena jakości grudek

waga Michaelisa

Bardzo ważnym czynnikiem jest, aby grudki wypalone posiadały odpowiednie własności. Do własności tych należą:

- wytrzymałość grudek,
- stopień utlenienia grudek,
- redukcyjność grudek,
- skład mineralogiczny grudek.

surowych: 5 zrucen z 200
0,27 - 5,5 kg/gru
wysuszonych: > 3,6 kg/gru
wypalonych: 200 - 500

Wytrzymałość grudek, podobnie jak spieku, wykonywana jest często metodą zrzutową, którą opisano w rozdziale dotyczącym spiekania rud. Ponadto grudki bada się na ściskanie metodą, polegającą na ścisaniu grudki w szczękach wagi aż do jej pęknięcia. Grudki wytrzymują nacisk nawet do 3000 - 3500 N/grudkę. Celem zbadania stopnia utlenienia należy wykonać analizę chemiczną Fe_c , Fe_{Met} , Fe^{2+} , Fe^{3+} . Wtedy stopień utlenienia można wyrazić wzorem

$$U = 1 - \frac{Fe^{2+}}{3Fe_c} \cdot 100\%$$

gdzie: U - stopień utlenienia, [%],
 Fe^{2+} - zanalizowane żelazo dwuwartościowe w próbie,
 Fe_c - całkowite zawartości żelaza w próbie, [%].

Im większy jest stopień utleniania grudek, tym są one bardziej przydatne do procesu wielkopiecowego. Redukcyjność grudek bada się, stosując metody podobne jak dla spieku i innych tworzyw. Dokładnie metody te są omawiane w przedmiocie dotyczącym redukcji.

Skład mineralogiczny grudek bada się pod mikroskopami różnego typu, a ocena obejmuje zawartość przydatnych i szkodliwych składników fazowych oraz ich prawidłowe lub złe rozmieszczenie. Oprócz tego często wykonuje się badania porowatości grudek.

Własności grudek

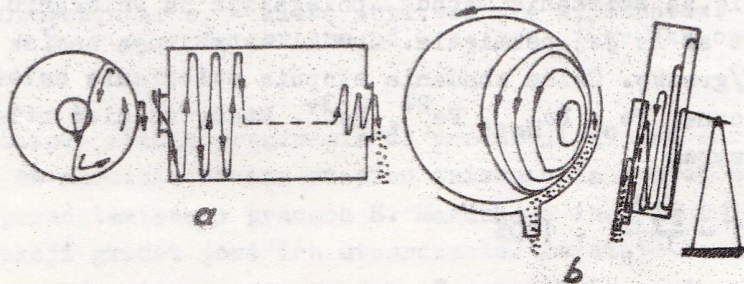
Zawartość Fe w znanych grudkach wynosi od 59 do 68%.

Skład chemiczny grudek importowanych do Polski

	Fe [%]	SiO ₂ [%]	CaO [%]
Kiruna, Szwecja	66,5	4,7	0,4 ÷ 0,6
Malmberget, Szwecja	65,6	3,2 ÷ 3,6	0,8 ÷ 1,2
Grängesberg, Szwecja	60,3	4 ÷ 5	6 ÷ 8
Brazylijskie	64 ÷ 66	2 ÷ 4	1 ÷ 2,5
Krzyworoskie, ZSRR	59 ÷ 60,5	do 12%	do 1%
Michajłowskie, ZSRR	59 ÷ 61	do 6%	do 1,5%

Wytrzymałość grudek wypalonych wynosi 3000 N/grudkę produkowanych z utwardzaniem bez wypalania - ok. 1000 N/grudkę.

Aparatura do wykonania ćwiczenia. Rysunek 22 przedstawia schematy urządzeń do wykonania ćwiczenia. Jak widać na powyższych schematach głównym urządzeniem jest grudkownik, tzn. talerz lub bęben napędzany silnikiem. Moc z silnika jest przeniesiona przez przekładnię, obracając i nachylając pod odpowiednim kątem i szybkością bęben lub talerz.



Rys. 22. Schematy urządzeń do grudkowania: a - bęben, b - talerz

Wykonanie ćwiczenia. Zadaniem ćwiczenia jest zademonstrowanie sposobów wykonywania surowych grudek na dwu urządzeniach grudkujących, tj. talerzu i bębnie. W tym celu należy ćwiczenie przeprowadzić następująco:

- przesiać stosowany koncentrat kowdorski lub krzyworoński (GOK) do frakcji 0,05 mm,
- na płycie żelaznej dokładnie wymieszać koncentrat,
- uruchomić bęben grudkujący, łopatką wrzucać koncentrat, spryskując go najpierw małą, a później większą ilością wody,
- obserwować proces grudkowania przy małym i większym dodatku wody,
- zmieniając najpierw kąt, a potem szybkość obrotową bębna grudkującego obserwować przebieg grudkowania,
- w czasie grudkowania robić pomiary wielkości grudek przy zmiennych kątach pochylenia urządzenia grudkującego i stałej szybkości obrotowej,
- w czasie grudkowania mierzyć wymiary grudek przy stałym kącie pochylenia i zmiennych szybkościach obrotowych urządzenia grudkującego,
- w czasie grudkowania zważyć ilość grudek powstałą w jednostce czasu przy zmiennym kącie pochylenia i stałej prędkości obrotowej urządzenia grudkującego,
- w czasie grudkowania zważyć ilość grudek przy stałym kącie pochylenia i zmiennej szybkości obrotowej urządzenia grudkującego,
- po wykonaniu grudkowania dokonać wzrokowej oceny prawidłowego dodatku wody do grudkowania,
- dokonać pomiaru zrzutowego (5 x 0,2 m).

Sprawozdanie:

- opis i schemat urządzenia grudkującego,
- opis obserwacji procesu grudkowania,
- wnioski dotyczące wzrokowej oceny grudek,
- wnioski dotyczące wpływu kąta pochylenia urządzenia grudkującego na wielkość i ilość produkowanych grudek wraz z pomiarami,
- wnioski dotyczące wpływu szybkości obrotowej urządzenia grudkującego wraz z pomiarami,
- wnioski z próby wytrzymałości.