

Kruszenie

w zamkniętym cyklu technologicznym

Jakość otrzymywanych produktów z procesów przerobczych zależy głównie od prawidłowego doboru maszyn i urządzeń współpracujących, zależnie od rodzaju przerabianego surowca. Zakładając konkretny proces technologiczny zwykle bierzemy pod uwagę charakterystyki pracy poszczególnych maszyn, które zależne są między innymi od właściwości fizyko-mechanicznych nadawy oraz wielkości parametrów konstrukcyjnych i sterowalnych maszyn. Okazuje się jednak, że na uzyskiwanie dobrych produktów wpływ ma także sposób prowadzenia procesu technologicznego (ilość stadiów rozdrabniania, cykle technologiczne, sterowanie strumieniami przepływu materiału do wybranych maszyn itp.).

Układy cykli kruszenia

W procesach kruszenia i mielenia przy produkcji kruszyw łamanych i mączek stosuje się często tzw. zamknięte cykle technologiczne. Mówimy wówczas o procesie rozdrabniania w obiegu zamkniętym. Istnieją również układy technologiczne z otwartym obiegiem materiału. Na rysunku 1 przedstawiono najprostsze cykle technologiczne rozdrabniania z klasyfikacją ziarnową.

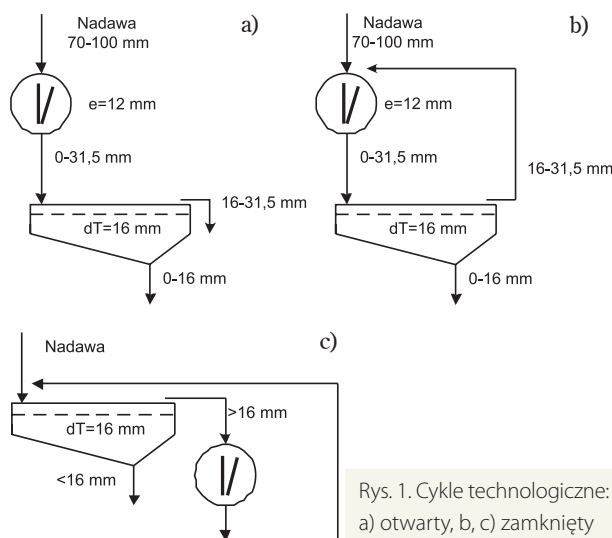
Zgodnie z literaturą [1,2] ideę takich układów można wyjaśnić na przykładzie przepływu konkretnej ilości materiału. Załóżmy, że chcemy uzyskać produkt o uziarnieniu 0-16 mm. Jeżeli z kruszarki szczękowej przy szczelinie wylotowej 12 mm otrzymamy uziarnienie 0-31,5 mm, jak na rys. 3 (wytluszczone krzywa 1), wówczas frakcja powyżej 16 mm stanowi 33% a frakcja poniżej 16 mm 67%. W cyklu otwartym (jak na rys. 1a) ilość

doprowadzonej nadawy równa się przepustowości kruszarki.

W cyklu zamkniętym (rys. 1b), teoretycznie 33% początkowej nadawy, a praktycznie ok. 40% wróci ponownie do kruszarki (skuteczność przesiewania w warunkach laboratoryjnych wyniesie 100%, a praktycznie w warunkach przemysłowych będzie o kilka do kilkunastu procent mniejsza). Tak więc w drugim cyklu ilość doprowadzonej nadawy z zewnątrz powinna wynieść tylko 60% przepustowości, bo pozostałe 40% wraca do kruszarki z przesiewacza (nadal biorąc pod uwagę warunki przemysłowe).

Z kolei w trzecim cyklu kruszenia, do kruszarki z zewnątrz będziemy musieli dostarczyć jeszcze mniejszą ilość nadawy w zależności od tego, czy uziarnienie produktu grubego z zawrotu





po drugim cyklu kruszenia będzie miało wpływ na uziarnienie otrzymywanych produktów w kolejnych cyklach rozdrabniania, czy też nie. Po pewnym czasie proces ostatecznie ustala się w ten sposób, że ilość zawracanego materiału na kruszarkę jest stała.

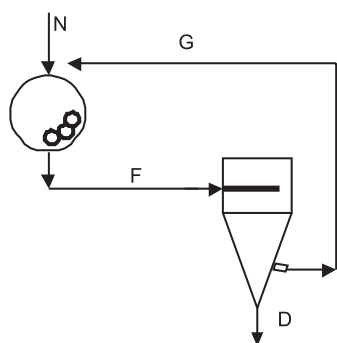
Należy pamiętać, iż ilość zawracanego materiału zależy w głównej mierze od relacji wielkości szczeliny wylotowej i oczka na sicie przesiewacza.

W celu właściwego doboru urządzenia rozdrabniającego o odpowiedniej wydajności konieczne jest ustalenie ilości materiału krążącego w obiegu zamkniętym – inaczej mówiąc: ustalenie krotności obiegu, co jest bardzo kłopotliwe, gdyż wymaga długotrwałych badań w warunkach przemysłowych.

Ilość zawracanego materiału wpływa na obciążenie przesiewacza i kruszarki, czy – w instalacjach przemysłowych – na obciążenie młyna i separatora, a także urządzeń transportowych. Układ przedstawiony na rysunku 1c charakteryzuje się najmniejszym obciążeniem kruszarki.

Krotność obiegu definiuje się jako iloraz ilości materiału zawracanego do ilości świeżej nadawy. Krotność obiegu osiąga wysokie wartości w procesach przemiału. W praktyce, dla mielenia w młynach cementu czy wapienia, krotność obiegu wynosi 2-2,6; dla kruszenia materiałów w kruszarkach jest zdecydowanie niższa.

W procesach rozdrabniania krotność obiegu można ustalić z następujących wzorów, przyjmując oznaczenia jak na rysunku 2.



Dla powyższego rysunku spełnione są następujące zależności:

$$N = D$$

$$F = G + D \text{ i } G = F - D$$

$$CD = AF - BG = AF - B(F-D)$$

$$D = \frac{F(A - B)}{C - B} \quad (1)$$

gdzie:

N – nadawa pierwotna, [Mg/godz],

G – zwrot po klasyfikacji, [Mg/godz],

F – nadawa do klasyfikacji, [Mg/godz],

D – produkt gotowy, [%],

A – zawartość klasy drobnej w nadawie do klasyfikacji, [%],

B – zawartość klasy drobnej w zwrocie, [%],

C – zawartość klasy drobnej w produkcie, [%].

Znając wydajność np. młyna oraz udziały wybranych frakcji A , B , C w materiałach F , D i G można obliczyć ilość zawrotu i wielkość nadawy na przesiewacz czy do separatora.

Krotność obiegu k materiału, zgodnie z definicją, można określić wzorem:

$$k = \frac{G}{N} = \frac{G}{D} \quad (2)$$

a także, znając zawartości frakcji:

$$k = \frac{C - A}{A - B} \quad (3)$$

Na podstawie powyższych wzorów łatwo ocenić krotność obiegu dla pracującej instalacji. Powstaje jednak pewne utrudnienie jeśli chodzi o dokonanie obliczeń np. dla projektowanego węzła. W takiej sytuacji zawsze posłużyć się możemy charakterystykami ziarnowymi produktów (krzywymi składu ziarnowego) dla danego urządzenia rozdrabniającego. W zależności od tego jak dokładnymi krzywymi składu ziarnowego dysponujemy, możemy uzyskać mniej lub bardziej dokładne wyniki obliczeń. Chodzi o to, że skład ziarnowy produktu z kruszarki będzie się zmieniał zależnie od składu ziarnowego nadawy, chociaż zwykle przyjmuje się, że skład ziarnowy nadawy nie wpływa na skład ziarnowy produktu.

W produkcji kruszyw stosowana była niekiedy następująca procedura ustalania ilości materiału krążącego w obiegu zamkniętym: partię kruszywa przewidzianą do rozdrabniania należało podzielić na co najmniej 6 próbek o jednakowej masie. Pierwszą próbkę rozdrabniano przy ustalonej szczelinie wylotowej i odsiewano materiał gruby. Następnie materiał ów mieszano z drugą próbką i całość rozdrabniano w tych samych warunkach. Powyższe czynności powtarzano sześciokrotnie. Nadawa otrzymana po ostatnim cyklu rozdrabniania była tą ilością kruszywa, która miała krążyć w cyklu zamkniętym.

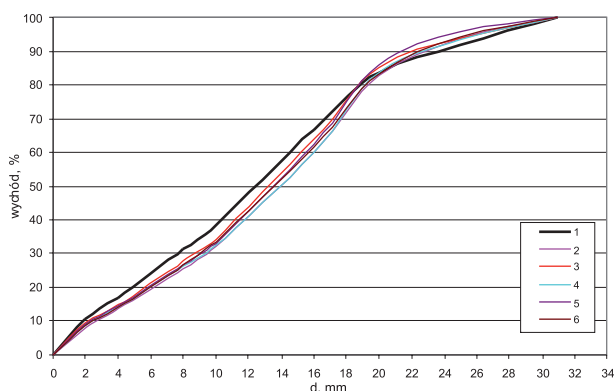
Badania i wyniki przeprowadzonych eksperymentów

W celu prześledzenia omawianych zależności przeprowadzono następujący eksperyment. Do kruszarki szczękowej L44.41 o złożonym ruchu szczęki podawano do rozdrabniania chalcodonit o granulacji 70–100 mm, wg schematu na rysunku 1b. Kruszarka pracowała przy szczelinie wylotowej $e = 12$ mm. Przygotowano 6 jednakowych porcji chalcodonitu, które podawano do kruszarki. Po procesie kruszenia jednej porcji materiał był przesiewany w celu wykonania analiz składu ziarnowego produktów, po czym zawracano do obiegu materiał >16 mm (pierwsza seria) i $>12,5$ mm (druga seria), dodając go do przygotowanej wcześniej następnej porcji jednostkowej. Wyniki z pierwszej serii przedstawiono w tabeli 1, a krzywe składu ziarnowego charakteryzujące poszczególne operacje kruszenia – na rysunkach 3 i 4.

Nr cyklu kruszenia	1	2	3	4	5	6
Przyrost zawracanej masy [%]	33	53	55	62	60	62
Krotność obiegu k [%]	49	67	56	66	60	63

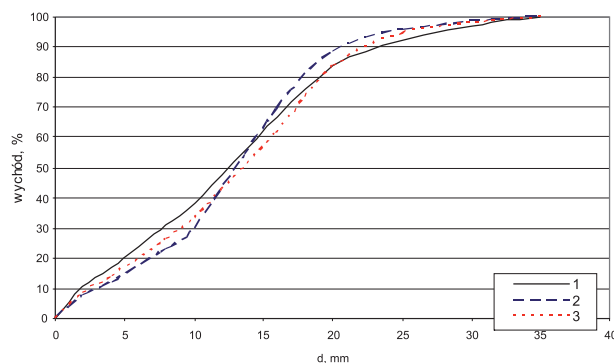
Tab. 1. Zestawienie wskaźników charakteryzujących wielkość zawrotu w kolejnych cyklach kruszenia

W tabeli 1 zestawiono wskaźniki opisujące wielkość zawrotu dla sześciu cykli kruszenia z zawrotem materiału grubego. Ilość zawracanego materiału ustalono poprzez ważenie zawracanych klas ziarnowych w poszczególnych cyklach kruszenia. Procentowy przyrost zawracanej masy stanowił stosunek masy zawracanego produktu górnego do masy świeżej nadawy. Wyniki zmiany tego wskaźnika przedstawiono na rys. 5. Krotność obiegu k została wyliczona ze wzoru (3) (wynikającego z bilansu frakcji drobnych), w oparciu o krzywe składu ziarnowego dla materiału uzyskanego po poszczególnych cyklach kruszenia.

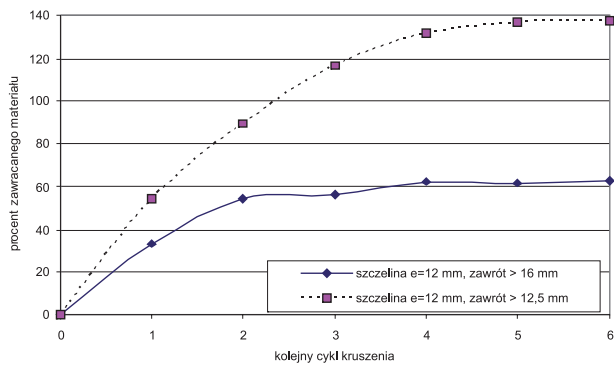


Rys. 3. Krzywe składu ziarnowego chalcedonitu uzyskane po kolejnych cyklach kruszenia z zawrotem w kruszarce L44.41, $e = 12$ mm, $N = 70-100$ mm

Na rysunku 3 widać, że krzywa składu ziarnowego 1, uzyskana z pierwszego cyklu kruszenia (bez zawrotu materiału), różni się od pozostałych krzywych składów ziarnowych produktów. Krzywe 2-6 układają się względem siebie podobnie. W pierwszym cyklu kruszenia w komorze kruszarki był tylko materiał gruby (70-100 mm). W następnych cyklach znajdował się tam materiał gruby i materiał drobny o granulacji > 16 mm. Tym samym komora kruszenia była dokładniej wypełniona i zmieniły się warunki kruszenia. W efekcie krzywe składu ziarnowego różnią się między sobą głównie zawartością klas średnich.



Rys. 4. Składy ziarnowe produktów uzyskanych w kruszarce szczękowej przy szczelinie $e = 12$ mm;
1 - po pierwszym cyklu kruszenia, 2 - po szóstym cyklu kruszenia przy zawrocie $> 12,5$ mm,
3 - po szóstym cyklu kruszenia przy zawrocie materiału > 16 mm



Rys. 5. Wzrost ilości zawracanego materiału w kolejnych cyklach kruszenia

Na rysunku 5 można zauważyć, że proces ustabilizował się mniej więcej po czwartym cyklu kruszenia. Po pierwszym cyklu ilość zawracanego materiału wynosiła 33%, a po szóstym zawrót wynosił 62% (skuteczność przesiewania wynosiła 100%). Z rysunku widać, że wielkość zawrotu szybciej się ustaliła przy zawracaniu materiału powyżej 16 mm, a więc przy mniejszej ilości zawracanego materiału. Zestawienie wielkości krotności obiegu (k), jakie uzyskano dla różnych warunków procesu kruszenia, przedstawiono w tabeli 2.

W tabeli 2 pod pozycją 1 podano wartość krotności obiegu k obliczonej z wzoru (3), w oparciu o krzywą składu ziarnowego dla materiału uzyskanego po pierwszym cyklu kruszenia (bez zawrotu). Pod pozycją 2 umieszczono wartość k obliczoną z tego samego wzoru, lecz w oparciu o krzywą składu ziarnowego materiału po szóstym cyklu kruszenia w obiegu zamkniętym (kruszenie z zawrotem). Pod pozycją 3 podano rzeczywistą wielkość k ustaloną w oparciu o pomiary masy zawracanego materiału dla ziarna podziałowego $d_r = 12,5$ mm i $d_r = 16$ mm. Zarówno w pierwszym jak i drugim przypadku uzyskano różne wartości wskaźnika k . Najmniejszą dokładność osiągnięto dla wartości k podanej w pozycji 1. Stosując krzywą składu ziarnowego dokładniej charakteryzującą produkty kruszenia, w pozycji 2 uzyskano wyniki bardziej zbliżone do uzyskanych w przeprowadzonym eksperymencie. Widać stąd, że na dokładność prowadzonych obliczeń w istotny sposób wpływa posiadana przez nas charakterystyka badanych urządzeń (w tym przypadku skład ziarnowy produktów, który ulega zmianom w zależności od warunków prowadzenia procesu).

Jeżeli np. do kruszarki podawane jest 10 t/h nadawy pierwotnej (a tym samym uzyskuje się 10 t/h produktu gotowego), to przy krotności obiegu 1,38, przez kruszarkę przechodzi: 10 t/h + 1,38 x 10 t/h = 23,8 t/h materiału podlegającego kruszeniu. O tym, jak ważna jest znajomość składu ziarnowego i ilość zawracanego materiału, może świadczyć następujący przykład.

W instalacji przemiałowej z prasą walcową i separatorem dynamicznym uzyskiwano mączkę drobnoziarnistą 0-0,2 mm i grubziarnistą 0,2-1 mm (według nowego nazewnictwa stosowanego w normach PN-EN dotyczących kruszyw było to kruszywo wypełniające i kruszywo drobne). Z instalacji, w której przemielał kamień o granulacji 5-25 mm, uzyskiwano po separatorze 28 Mg/godz. frakcji 0-0,2 mm i ok. 3 Mg/godz. frakcji 0,2-1 mm. W poszukiwaniu sposobu zwiększenia ilości produkowanej frakcji 0,2-1 mm okazało się, że zawrót z separatora zawiera w swym składzie ponad 30% frakcji 0,2-1 mm. Frakcja ta, zawracana do prasy walcowej, ulegała dalszemu rozdrobieniu i trafiała do produktu najdrobniejszego. W instalacji zabudowano przesiewacze do klasyfikacji materiałów drobnoziarnistych i

Sposób obliczenia ilości zwracanego materiału	Krotność obiegu k dla	
	$d_r = 12,5$ [mm]	$d_r = 16$ [mm]
k obliczone z wzoru (3), na podstawie krzywej składu ziarnowego 1 (rys 3) – materiał po pierwszym cyklu kruszenia	1,00	0,49
k obliczone z wzoru (3), na podstawie krzywej składu ziarnowego po szóstym cyklu kruszenia (dla odpowiedniej wielkości oczka sita)	1,17	0,61
k ustalone przez ważenie materiału w poszczególnych cyklach zawrotu i kruszenia	1,38	0,63

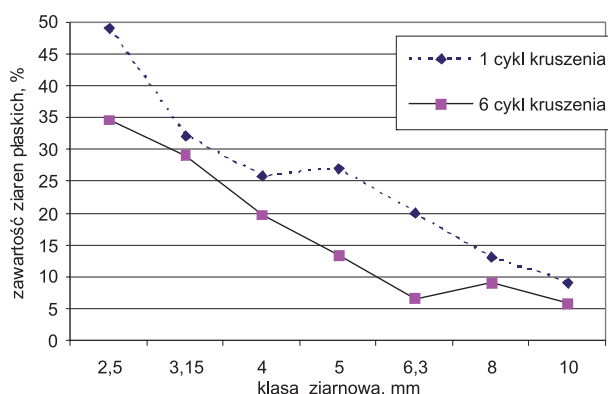
Tab. 2. Krotność obiegu materiału w kruszarce szczękowej dla procesu kruszenia przy szczelinie wylotowej $e = 12$ mm i przesiewie na sicie o oczkach 16 mm i 12,5 mm

skierowano na nie zawrót z separatora. Pozwoliło to na odzysk frakcji 0,2-1 mm zawartej w zawrocie, zwiększając tym samym około trzykrotnie uzysk tej frakcji w instalacji przemiałowej. Skład ziarnowy nadawy, produktów i zawrotu z separatora przedstawiono w tabeli 3.

Klasa ziarnowa [mm]	Skład ziarnowy, [%]			
	Wychód z prasy walcowej	Zawrót z separatora	Produkt drobny z separatora 0-0,2 [mm]	Produkt gruby z separatora 0,2-1 [mm]
0-0,15	17,5	13,2	99	25
0,15-0,3	6,5	4,6	1	25
0,3-0,5	7	6,2		20
0,5-1	10	14,0		30
1-20	59	62,0		

Tab. 3. Skład ziarnowy produktów z instalacji przemiałowej z prasą walcową

Wykorzystując uzyskane produkty w różnych etapach kruszenia, zgodnie ze schematami na rys. 1a i 1b, postanowiono dodatkowo określić wpływ zawrotu materiału na zawartość zia-



Rys. 6. Porównanie zawartości ziaren nieforemnych dla kruszenia w cyklu zamkniętym i otwartym

ren nieforemnych w produktach. Okazuje się, że korzystniejsze jest rozdrabnianie materiału z zamkniętym obiegiem. Ponieważ przy zawrocie wypełnienie komory kruszenia jest większe, ziarna płaskie, słabsze fizycznie ulegają łatwiejszemu rozkruszeniu, co wpływa na poprawę ich kształtu.

Na rys. 6 przedstawiono zawartość ziaren nieforemnych w produkcie po pierwszym cyklu kruszenia w obiegu otwartym i po szóstym cyklu kruszenia w obiegu zamkniętym.

Zawartość ziaren płaskich w produkcie po szóstym cyklu kruszenia była, w zależności od klasy ziarnowej, niższa o 4-15% niż dla produktu kruszonego w cyklu otwartym. Zawartość ziaren nieforemnych określono za pomocą sit szczelinowych, czyli jako tzw. wskaźnik płaskości.

Podsumowanie

Prawidłowo zaprojektowane układy rozdrabniania z obiegiem zamkniętym pozwalają kontrolować przepływ materiału oraz podnosić jakość produktu. W układach mielenia z zamkniętym obiegiem przepływ materiału jest znacznie krótszy niż wymagałoby tego zmielenie materiału dożądanego uziarnienia w obiegu otwartym, ponieważ produkt grubszy po klasyfikacji jest zwracany ponownie do mielenia. W efekcie osiąga się korzyści takie jak: nieprzemielanie materiału drobnego, likwidowanie nadziarna, obniżenie zużycia energii, zwiększenie wydajności procesu i poprawę jakości produktów.

Z prostych wzorów można określić procent zwracanego materiału na podstawie składu ziarnowego uzyskiwanego produktu. Dokładność charakterystyk ziarnowych produktów otrzymywanych w różnych warunkach kruszenia wpływa w istotny sposób na końcowy wynik prowadzonych obliczeń.

Literatura

- [1] Grzelak E.: *Technologia kruszyw mineralnych*. Arkady, Warszawa 1973
- [2] Kurdowski W.: *Poradnik technologa przemysłu cementowego*. Arkady, Warszawa 1981

XIII Autostrada

Tegoroczna trzynasta edycja Międzynarodowych Targów Budownictwa Drogowego AUTOSTRADA-POLSKA była rekordowa pod względem liczby wystawców i zajmowanej powierzchni. W targach uczestniczyło 753 wystawców z 23 krajów.

Podczas targów AUTOSTRADA-POLSKA swoją ofertę przedstawiły największe firmy związane z budownictwem drogowym, inżynierią ruchu oraz bezpieczeństwem drogowym. Prezentowane były ciężkie maszyny i sprzęt budowlany, materiały i surowce do budowy dróg, urządzenia i farby do znakowania oraz elementy infrastruktury związanej z eksploatacją dróg i autostrad. Nie zabrakło również firm – wykonawców robót mostowych.

Atrakcją imprezy były pokazy dynamiczne ciężkich maszyn do budowy dróg, odbywające się na specjalnym terenie pokazowym.

Podczas targów akredytowało się 132 dziennikarzy z kraju i zagranicy. Wystawę zwiedziło 15 000 osób.

Następna edycja Autostrady – 14-16 V 2008.