

Bronisław KUREK, Jan SIDOR

Katedra Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska,
AGH, Kraków

WSTĘPNE BADANIA PROCESU KRUSZENIA STŁUCZKI SZKLANEJ

Streszczenie. W pracy scharakteryzowano problemy utylizacji stłuczki szklanej pochodzenia gospodarczego i przemysłowego. Podstawowym warunkiem utylizacji stłuczki jest jej odpowiednie rozdrobnienie, które poprzedza dalsze wzbogacanie polegające na oddzieleniu od niej różnego rodzaju zanieczyszczeń: organicznych, metalicznych, ceramicznych i papieru. Wyniki badań wykazały także, że każda z użytych w badaniach kruszarek może znaleźć zastosowanie uwarunkowane jednak rodzajem technologii utylizacji stłuczki.

ELEMENTARY EXAMINATION OF GRINDING PROCESS OF CULLET

Summary. In this paper were characterized problems of utilization of cullet that derives from homestead and industry. Utilization of cullet is conditioned by pertinent crushing, that precedes a continuation of the concentration, that consists in separation of various organic, metallic, ceramic, et paper impurity. Results of this examination exhibited, that every crusher is to be used, but it depend on technology of utilization of cullet.

1. Wprowadzenie

Współczesny przemysł wytwarza coraz więcej odpadów, które bezużytecznie zalegają składowiska zagrażając jednocześnie środowisku naturalnemu. Odpadem powstającym masowo w hutach szkła i innych działach gospodarki jest szeroko rozumiana stłuczka szklana. Ilość powstającej stłuczki szklanej jest pochodną wielkości produkcji szkła, rodzaju stosowanej technologii, stopnia opanowania procesu technologicznego i sposobów wykorzystania gotowych wyrobów szklanych.

Zagospodarowanie stłuczki szklanej, zwłaszcza pokonsumpcyjnej i powstającej u masowych użytkowników z powodu wzrastających cen surowców, ma bardzo duże znaczenie. Pojawia się konieczność maksymalnego zagospodarowania szklanych surowców odpadowych, ponieważ przemawia za tym wiele racji:

a) racje ekonomiczne związane :

- z wartością stłuczki jako surowca do produkcji szkła i jego pochodnych,
- z obniżeniem zużycia energii,
- z obniżeniem kosztów składowania stłuczki,

b) racje ekologiczne, które w ostatnim okresie mają coraz większe znaczenie.

Pomimo wielu słusznych argumentów przemawiających za wykorzystaniem stłuczki pochodzącej spoza terenu hut szkła obserwuje się pewnego rodzaju niechęć do podjęcia tego typu działań przez polski przemysł szklarski. W świecie widoczne są pewne kierunki, w które zmierza zagospodarowanie stłuczki[4,5]. Jednym z kierunków utylizacji opakowań szklanych jest ich wstępne rozdrobnienie, które odbywa się w bezpośrednio umieszczonych na pojemnikach do składowania szkła kruszarkach walcowych. Przy obecnych cenach składowania odpadów to bardzo istotne znaczenie.

Inną tendencją w zagospodarowaniu tego odpadu jest jego powtórne wykorzystanie do przerobu. Wymaga to odpowiedniej segregacji stłuczki. Opracowano systemy zbierania stłuczki, które umożliwiają rozdział pod względem kolorystycznym, a także skutecznie eliminują z niej zanieczyszczenia metalowe, ceramiczne i organiczne. Wymaga to jednak dużej dyscypliny i zaangażowania społeczeństwa w ochronę środowiska.

2. Charakterystyka cech fizycznych i technologicznych stłuczki szklanej

Bardzo trudno jest podać cechy ogólne charakteryzujące wszystkie rodzaje stłuczki szklanej zbieranej w polskich warunkach. Spowodowane to jest faktem, że stłuczka ta powstaje u różnych użytkowników w różnych warunkach. Różnice te szczególnie uwidaczniają się w ilości, postaci i rodzaju zanieczyszczeń znajdujących się w stłuczce. Duża zawartość tych materiałów znacznie obniża wartość stłuczki jako surowca oraz komplikuje proces jej wstępnego przygotowania tak zwanego wzbogacania. Stłuczki zanieczyszczają przede wszystkim różnego rodzaju zamknięcia z materiałów innych niż szkło. Są to kapsle i zakrętki metalowe, różnego rodzaju zakrętki i korki z tworzyw sztucznych i gumy. W dużych ilościach występują też

fragmenty transporterów z tworzyw sztucznych czy skrzyń drewnianych, używanych w transporcie opakowań szklanych, płachty folii termokurczliwej i tektury. Ponadto szkło opakowaniowe zanieczyszczone jest również najróżniejszymi środkami spożywczymi i chemikaliami, do przechowywania których były przeznaczone. Źródłem zanieczyszczeń stłuczki jest także jej niewłaściwe magazynowanie przez dostawców. Występują w tym przypadku duże ilości części metalowych i ceramicznych oraz ziemia i piasek.

Stłuczkę szklaną ze względu na źródło pochodzenia możemy podzielić na trzy grupy:

- stłuczkę przemysłową,
- stłuczkę przemysłową powstającą u masowych użytkowników,
- stłuczkę pokonsumpcyjną.

Powstawanie stłuczki przemysłowej, inaczej nazwanej obiegową lub wewnętrzną, związane jest z procesem technologicznym produkcji wyrobów szklanych. Główne źródła powstawania stłuczki na terenie hut to:

- remonty pieców szklarskich,
- postoje automatów formujących,
- eliminacja wyrobów wadliwych w procesie kontroli jakości,
- straty związane z transportem wewnątrzzakładowym i magazynowaniem.

Źródłem powstawania stłuczki przemysłowej są też masowi użytkownicy wyrobów szklanych, tacy jak: rozlewnie napojów, browary, producenci aparatury chemicznej, zakłady mleczarskie, zakłady sprzętu oświetleniowego, fabryki domów, zakłady stolarki budowlanej itp. Przyczynami powstawania tej stłuczki jest: wadliwe prowadzenie procesu produkcyjnego, niewłaściwy transport i nieprawidłowe składowanie.

Źródłem powstawania stłuczki pokonsumpcyjnej są indywidualni użytkownicy wyrobów szklanych. Trafiają do nich wyroby głównie ze szkła gospodarczego oraz opakowania szklane, w których konsument zakupuje napoje, przetwory, środki czystości i inne środki chemiczne. W Polsce produkuje się około 600000 Mg opakowań szklanych rocznie i one także stanowią, obok wyżej wymienionych wyrobów ze szkła gospodarczego, główną masę stłuczki szklanej pochodzącej od indywidualnego użytkownika [4,5]. Zużyte, uszkodzone lub bezużyteczne wyroby tych typów produktów szklanych tworzą stłuczkę szklaną poużytkową. Ilość tę ocenia się na około 40% produkcji wspomnianych rodzajów szkła, co daje 240000 Mg stłuczki rocznie. Potencjalnie tego rodzaju masę stłuczki można przesłać do ponownego wykorzystania jako:

- składnik zestawów szklarskich,
- składnik do produkcji izolacyjnych włókien szklanych,
- składnik do produkcji szkła piankowego,
- składnik do produkcji grysu szklanego do tynków,
- dodatek do produkcji mas ceramicznych,
- dodatek do produkcji nawierzchni drogowych z dodatkami szkła,
- dodatek do wyrobów chemii gospodarczej.

Wykorzystując stłuczkę szklaną do wyżej wymienionych technologii natrafia się na duży problem, jakim jest przygotowanie surowca. Stłuczka szklana po etapie zbiórki i magazynowaniu podlega sortowaniu według składu chemicznego. Koniecznym etapem przygotowania stłuczki szklanej jest jej kruszenie, które powinno odbywać się na urządzeniach kruszących o udarowym charakterze pracy. Kruszywo następnie musi być oczyszczone z różnego rodzaju zanieczyszczeń.

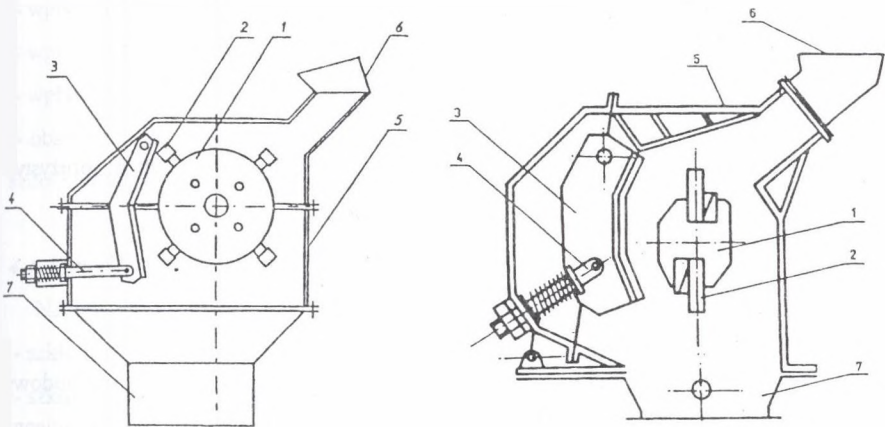
W Katedrze Urządzeń Technologicznych i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie podjęto badania, których tematem było rozdrabnianie stłuczki szklanej dla potrzeb szkła piankowego. Stłuczka szklana, którą użyto do badań, występowała pod wieloma postaciami. Były to różnego rodzaju opakowania szklane w formie butelek i słoików, kawałki budowlanego szkła płaskiego, a także odpad hutniczy w postaci nieregularnych brył. Materiał do badań był typowym odpadem komunalnym szkła konsumpcyjnego z charakterystycznym zanieczyszczeniem w formie korków, zakrętek i papierowych etykietek. Do przeprowadzenia badań zostały wybrane trzy laboratoryjne maszyny kruszące o udarowym charakterze pracy. Analiza wyników badań ma na celu wykazać stopień przydatności poszczególnych kruszarek do współpracy z innymi urządzeniami przygotowania surowca przy produkcji szkła piankowego, ale także innych produktów.

3. Opis urządzeń kruszących wykorzystanych w czasie badań nad rozdrabnianiem stłuczki szklanej

3.1. *Kruszarka wirnikowa młotkowa*

Działanie kruszarki młotkowej polega na rozdrabnianiu kawałków materiału wywołanym uderzeniami szybko wirujących młotków[3]. Schemat budowy kruszarki przedstawiono na rys.1a. Kruszarka ta składa się z trzech zasadniczych części: korpusu w kształcie skrzyni, wir-

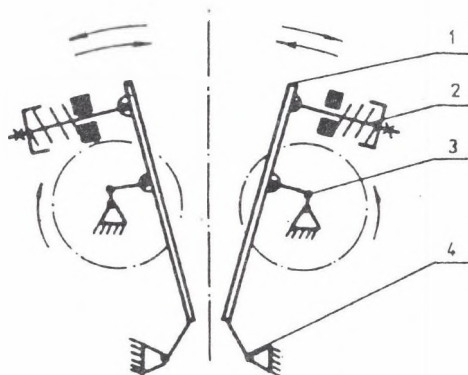
nika z przegubowymi młotkami oraz rusztu wylotowego. Podlegający rozdrabnianiu materiał rozbijany jest uderzeniami szybko wirujących młotków i odrzucany na płyty kruszące. Na płytach tych materiał jest w dalszym ciągu kruszony przez samo uderzenie, a następnie spada przez otwór wylotowy. Podstawowe wymiary kruszarki laboratoryjnej: średnica wirnika z młotkami w położeniu roboczym 196 mm, długość 140 mm, a wymiar wlotu do kruszarki 90 x 80 mm.



Rys. 1. Schematy kruszarek wirnikowych; a - młotkowej, b - odrzutowej, gdzie: 1-wirnik, 2-bijaki, 3-odbojnica, 4-śruba regulacyjna, 5-obudowa, 6-lej zasypowy, 7-zsyp
Fig. 1. The schemes of rotor crushers: a - hammer crusher, b - jet crusher

3.2. Kruszarka wirnikowa odrzutowa

Działanie tej kruszarki, podobnie jak to ma miejsce w kruszarce młotkowej, opiera się na wykorzystaniu energii kinetycznej. Schemat budowy kruszarki pokazano na rys. 1b. Kruszarka składa się również z trzech zasadniczych części: obudowy zewnętrznej, wirnika z bijakami zamocowanymi na stałe oraz otworu wylotowego. Materiał poddany rozdrabnianiu częściowo ulega rozdrobieniu w momencie zetknięcia się z bijakami, a częściowo podczas uderzenia o płyty odbojowe [3]. Podstawowe wymiary kruszarki laboratoryjnej: średnica wirnika 250 mm, długość 100 mm, wymiar wlotu 120 x 100 mm.



Rys.2. Kruszarka szczękowa wibracyjna , gdzie: 1-szczęka ruchoma, 2- mechanizm sprężysty, 3-mechanizm napędowy, 4-podparcie szczęki
 Fig.2. The vibration jaw crusher

3.3. *Kruszarka szczękowa wibracyjna*

Rozdrobienie materiału w tym urządzeniu ma uderowy charakter[2,6]. Schemat budowy kruszarki przedstawiono na rys.2. Kruszarka ta składa się z ruchomych szczęk z wymienną wykładziną. Szczęki zamocowane są wahliwie od dołu. Jedna ze szczęk wyposażona jest w śrubowy mechanizm przeznaczony do regulacji szczeliny w zakresie 1 do 10 mm. Obie szczęki napędzane są wibratorami kinematycznymi z regulowanym mimośrodem. Wibratory napędzane są przekładnią łańcuchową bezpośrednio z silnika, przy czym położenie mimośrodków jest tak dobrane, aby szczęki wykonywały ruch przeciwsobny. Strefę kruszenia ograniczają płyty boczne. Wymiary kruszarki: strefa kruszenia 158 x 110, wlot 80 x 44 mm.

4. Badanie kruszenia stłuczki szklanej

4.1. *Przedmiot badań*

Badania przeprowadzono na stłuczce szklanej pochodzącej od różnych użytkowników. Obejmowały kruszenie szkła konsumpcyjnego, brył szklanych i płaskiego szkła okiennego.

4.2. Cel badań

Badania podjęto w celu określenia możliwości kruszenia stłuczki szklanej przy wykorzystaniu maszyn kruszących o udarowym charakterze pracy. Cel uwzględnia także odpowiedni dobór maszyn kruszących w linii przygotowującej surowiec do produkcji szkła piankowego.

4.3. Zakres badań

Badania obejmowały:

- wpływ parametrów kinematycznych kruszarek na uziarnienie produktu,
- wpływ rodzaju maszyny kruszącej na stopień rozdrobnienia nadawy,
- wpływ rodzaju nadawy na jej stopień rozdrobnienia,
- obserwacje możliwości separacji zanieczyszczeń w zależności od rodzaju kruszarki i prędkości liniowej elementów roboczych kruszarki.

4.4. Metodyka badań

Nadawą do kruszarek były trzy rodzaje stłuczki szklanej:

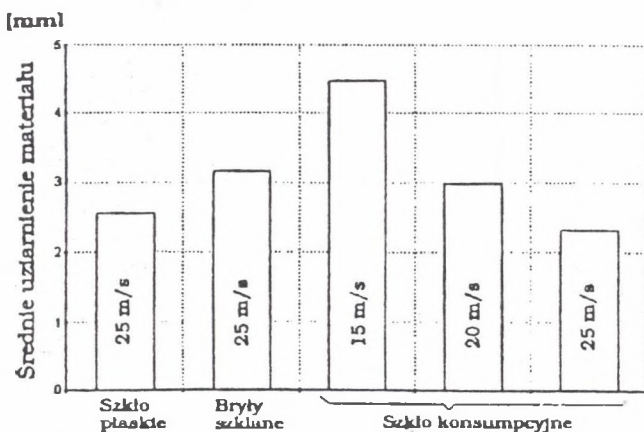
- szkło płaskie budowlane o wymiarach 250 x 50 x 3 mm,
- szkło konsumpcyjne (różnego rodzaju butelki i słoiki wraz z etykietami i zakrętkami),
- stłuczka szklana z remontowanej wanny szklarskiej pochodząca z Huty Szkła Okiennego w Sandomierzu w formie nieregularnych brył o wymiarach 180 x 100 x 60 mm.

Na każdym z urządzeń kruszących były rozdrabniane wszystkie wyżej wymienione rodzaje stłuczki. W przypadku kruszarki wirnikowej odrzutowej i młotkowej kruszenie przeprowadzono przy trzech prędkościach wirnika; 15, 20 i 25 m/s, natomiast w kruszarce szczękowej wibracyjnej przy częstotliwości 20 Hz. Po każdej wykonanej próbie przeprowadzono analizę sitową rozdrobnionego materiału. W czasie wykonywania badań obserwowano stopień rozbięcia grubych elementów szklanych, np: szyjek butelek i grubszych den. W trakcie kruszenia i przesiewania obserwowano zachowanie się zanieczyszczeń, takich jak: nakrętki, korki, papierowe etykiety i zakrętki. Wykonano dwie próby na każdy pomiarowy punkt.

5. Wyniki badań

5.1. Kruszarka wirnikowa młotkowa

Przed przystąpieniem do procesu kruszenia materiał poddano wstępnemu rozdrobieniu. Było to konieczne z powodu niewielkiego wlotu w kruszarce laboratoryjnej, a także jego ostrego przebiegu w celu uniknięcia wyrzucania kawałków szkła na zewnątrz w trakcie kruszenia. Kruszarka młotkowa w przeciwieństwie do innych maszyn kruszących wykazuje tendencję zwiększania stopnia rozdrobnienia stłuczki w miarę wzrostu prędkości liniowej młotków wirnika - rys.3. Proces kruszenia ma ciągły charakter przy rozdrabnianiu każdego rodzaju stłuczki. W czasie badań nad szkłem konsumpcyjnym zauważono, że zanieczyszczenia niemetaliczne nie ulegają zniszczeniu, natomiast zakrętki metalowe ulegają jedynie wygięciu. Etykiety papierowe zostają rozerwane tak, że nie blokują przesypywania się kruszywa przez drobne oczka sit. Kruszarka młotkowa daje zbliżone wyniki do kruszarki szczękowej wibracyjnej - rys.6.

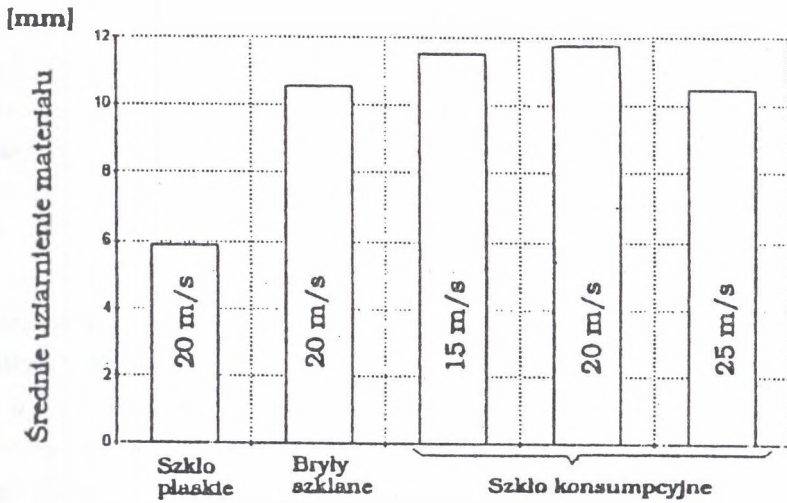


Rys.3. Zależność średniego uziarnienia od rodzaju materiału wsadowego dla kruszarki wirnikowej młotkowej

Fig.3. The relationship between average granulation and kind of raw material for rotor hammer crusher

5.2. Kruszarka wirnikowa odrzutowa

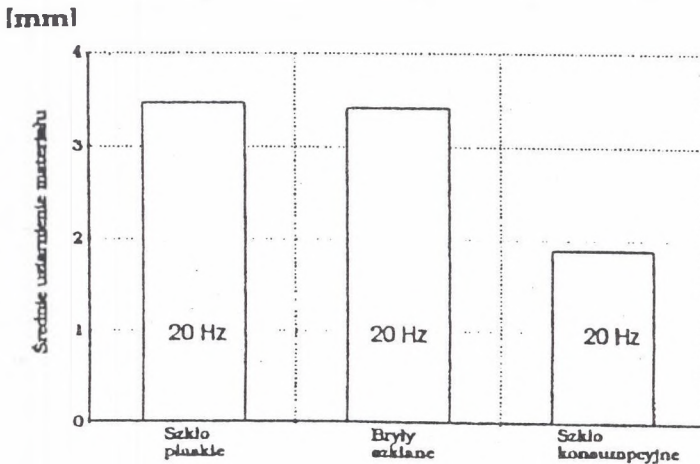
Badania przeprowadzone na kruszarce wirnikowej odrzutowej dowiodły, że brakuje widocznej zależności pomiędzy prędkością obrotową wirnika a stopniem rozdrobnienia materiału - rys.4. Przy wzroście prędkości liniowej bijaków wirnika z 15 do 25 m/s tylko nieznacznie wzrósł stopień rozdrobnienia. Z uwagi na znacznie większe wymiary wlotu nie stosowano wstępnego rozdrobnienia nadawy. Szkło zostało dobrze skruszone.



Rys. 4. Zależność średniego uziarnienia od rodzaju materiału wsadowego dla kruszarki wirnikowej odrzutowej

Fig. 4. The relationship between average granulation and kind of raw material for vibration jet

Zaobserwowano jednak słabe oddzielenie drobnych ziarn szkła od etykiet i nalepek, co powodowało zatrzymywanie się niektórych frakcji na sitach o znacznych wymiarach oczek. Natomiast dużą zaletą tej kruszarki jest to, że szkło jest bardzo dobrze wybijane z zakrętek i korków. Metalowe nakrętki butelek i słoików wykazują małe ślady uszkodzeń, natomiast nakrętki



Rys. 5. Zależność średniego uziarnienia od rodzaju materiału wsadowego dla kruszarki szczękowej wibracyjnej

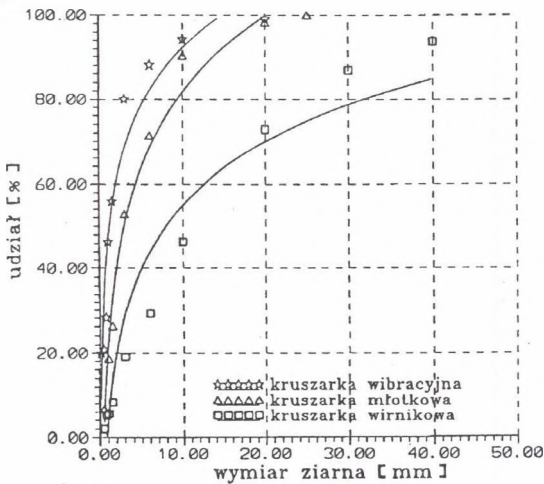
Fig. 5. The relationship between average granulation and kind of raw material for vibration jaw crusher

ze sztucznego tworzywa w ogóle nie są uszkodzone. W czasie wykonywania analizy sitowej, nawet przy bardzo drobnych frakcjach, zauważono duże pozostałości drobnych kawałków papieru. Dna i szyjki butelek były dobrze rozbite. Krusząc bryły szklane i szkło płaskie kruszarka wykazuje podobne właściwości, przy czym większy stopień rozdrobnienia uzyskano w czasie kruszenia szkła płaskiego.

5.3. *Kruszarka szczękowa wibracyjna*

Z powodu niewielkiego wymiaru wlotu kruszarki laboratoryjnej stłuczkę szklaną przed podaniem procesowi kruszenia wstępnie rozdrobniono. Pomimo tej czynności nadmierne zasypianie strefy kruszenia powoduje zawieszenie materiału pomiędzy szczękami i w konsekwencji zatrzymanie maszyny. Pociągało to konieczność ręcznego usuwania nadawy.

W czasie kruszenia szkła konsumpcyjnego zauważono bardzo znaczny stopień zniszczenia metalowych zanieczyszczeń, takich jak: kapsle i nakrętki. Niekorzystną sytuacją jest zawieszanie się w przestrzeni kruszącej elementów z tworzywa sztucznego. Wydajność kruszarki jest dużo mniejsza od kruszarki wirnikowej odrzutowej i młotkowej. Kruszarka ta wykazuje jednak wysoki stopień rozdrobnienia z dużą obecnością bardzo drobnej frakcji, nawet poniżej 0,15 mm, rys. 5 i 6.



Rys. 6. Wyniki kruszenia szkła konsumpcyjnego
Fig. 6. The results of homestead glass crashing

Podczas kruszenia szkła konsumpcyjnego papier etykietek bardzo dobrze oddziela się od szkła. Bryły szklane są kruszone również z dużą obecnością drobnej frakcji. Niezbyt korzystny proces zachodzi w czasie rozdrabniania szkła płaskiego. Przy ustawionej szczelinie wylotowej na wymiar 2,5 mm i podawaniu szkła o grubości nieco powyżej 3 mm często zdarzało się, że materiał przesypywał się nie skruszony. Przy kruszeniu przemysłowym należy zwrócić uwagę na odpowiednie ustawienie szczeliny wylotowej dostosowanej do grubości tafli szklanej.

6. Podsumowanie

Maszyny kruszące, na których przeprowadzono badania, wykonane były w wersjach laboratoryjnych. Aby nawet w takich warunkach zapewnić ciągłość procesu kruszenia i w pełni wykorzystać możliwości technologiczne urządzeń, należy zainstalować podajniki. Problem ten szczególnie uwidacznia się w trakcie pracy kruszarek odrzutowej i młotkowej, ale i także szczękowej wibracyjnej. W warunkach przemysłowych montaż tego rodzaju urządzeń będzie nieodzowny.

Niekorzystnym zjawiskiem jest również rozsypywanie się kruszywa w obrębie wylotu z kruszarek. Jest szczególnie nasilone w przypadku kruszarki wirnikowej odrzutowej. W trakcie pracy wszystkich trzech kruszarek zauważono bardzo duży stopień zapylenia powietrza. Wobec powyższego w warunkach przemysłowych konieczne jest zainstalowanie odciągu wychwytyjącego pył.

W skład linii technologicznej, której koncepcja będzie przyjęta w warunkach przemysłowych, powinny wejść kruszarki o udarowym charakterze pracy tworząc stopień wstępnego rozdrabniania surowca. Z przeprowadzonych badań wynika, że materiał, który będzie dostarczany do maszyn kruszących, posiada bardzo zróżnicowane wymiary i jest mocno zanieczyszczony. W takim przypadku nie jest możliwe zainstalowanie tylko jednego urządzenia kruszącego, gdyż nie otrzymamy wtedyżądanego wymiaru ziarna produktu, będącego materiałem wejściowym do młyna. W związku z powyższym stwierdzono, że konieczne jest stworzenie dwuetapowego systemu kruszenia z rozdrabnianiem wstępnym i właściwym.

7. Wnioski

1. Współczesny przemysł poszukuje dróg zmierzających w kierunku zwrócenia większej uwagi na aspekt ochrony środowiska. Dlatego istnieje potrzeba utylizacji stłuczki szklanej i powstania linii technologicznych wykorzystujących je jako pełnowartościowy surowiec.
2. Koniecznym etapem przygotowania stłuczki szklanej w każdej technologii jest jej kruszenie.
3. Przeprowadzone badania dowiodły, że urządzenia kruszące o udarowym charakterze pracy doskonale rozdrabniają stłuczkę szklaną, dając zróżnicowane wyniki w jej uziarnieniu, jak i eliminacji zanieczyszczeń. Wyniki badań wykazały również, że każda z użytych w badaniach kruszarek może znaleźć zastosowanie uwarunkowane jednak rodzajem technologii utylizacji stłuczki.
4. Jako główny cel i kierunek dalszych badań przyjęto opracowanie koncepcji węzła kruszenia dla potrzeb produkcji szkła piankowego na skalę zbliżoną do przemysłowej.

LITERATURA

1. Banaszewski T., Kobiątka R., Blaske J.: Badania nad możliwością wykorzystania wibracyjnej kruszarki szczękowej do celów przemysłowych. Zeszyty Naukowe AGH, Górnictwo nr 63. Kraków 1974.
2. Drzymała Z., Sidor J., Kaczmarczyk S., Maćkow E., Dzik T., Michalik W., Kurek B., Lagan A.: Kruszarka wibracyjna. Patent nr 133128 z 1983 r.
3. Grzelak E.: Maszyny i urządzenia do przeróbki mechanicznej surowców mineralnych. WNT, Warszawa 1978.
4. Kurek B., Ochyra R.: Koncepcja doboru maszyn i urządzeń do linii wzbogacania stłuczki szklanej. Szkło i Ceramika, Nr 3, 1992.
5. Małecki Z., Grządka A.: Problem zagospodarowania stłuczki szklanej. Wydawnictwo Akademii Ekonomicznej w Krakowie, Kraków 1984.
6. Sidor J.: Niektóre wyniki badań procesu bardzo drobnego kruszenia w kruszarce wibracyjnej. VIII Konferencja Naukowa nt. Problemy w Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn Hutniczych i Ceramicznych. Zakopane 1996.

Recenzent: Dr inż. Jacek Węglarczyk

Wpłynęło do Redakcji 20.09.1996 r.

Abstract

Elementary examination of grinding process of cullet. In this paper were characterized problems of utilization of cullet that derives from homestead and industry. Utilisation of cullet is conditioned by pertinent crushing, that precedes a continuation of the concentration, that consists in separation of various organic, metallic, ceramic, et paper impurity. In examination of grinding process of the cullet on account of physical propriety of cullet, were used crusher in process impact: rotar crusher, hammer crusher, impact crusher and jaw vibration-crusher. In this experiment was examined an influence of selected kinematic parameters of the crusher and kind of feed on the grinding size et elimination of the impure cullet. Results of this examination exhibited, that every crusher is to be used, bat it depend on technology of utilization of cullet.