

Janusz ŚWIĄTKOWSKI¹, Józef FLIZIKOWSKI²

e-mail: fliz@utp.edu.pl

¹Soda Polska Ciech sp. z o.o.²Instytut Technik Wytwarzania, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Efektywność energetyczna instalacji mielenia sody ciężkiej

Wstęp

Węglan sodowy Na_2CO_3 , zwany jest również węglanem sodowym bezwodnym, sodą kalcynowaną lekką, sodą amoniakalną, sodą techniczną, węglanem sodowym technicznym [5].

Odmianą sody kalcynowanej jest soda kalcynowana ciężka, której frakcję gruboziarnistą – granulki $\Phi \geq 2$ mm – nazywa się sodą ciężką metalurgiczną. Soda lekka i ciężka mają identyczny skład chemiczny, różnią się tylko ciężarem nasypowym i postacią.

Sodę kalcynowaną ciężką otrzymuje się przez:

- krystalizację węglanu sodowego z sody lekkiej i wody, a następnie jego powtórne wysuszenie,
- przez zgniatanie sody lekkiej lub bikarbonatu (wodorowęglan sodu NaHCO_3), który po sprasowaniu poddaje się kalcynacji.

Soda kalcynowana lekka wymieszana z odpowiednią ilością wody tworzy kryształy o różnych wielkościach. W określonych warunkach temperaturowych następuje szybki wzrost kryształów $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Urządzenia w instalacji przesiewania i rozdrabniania powinny być efektywne energetycznie, charakteryzować się użytecznością i niskim zużyciem energii elektrycznej.

Celem badań było przeprowadzenie analizy instalacji rozdrabniania sody ciężkiej w warunkach produkcyjnych zakładu sodowego w Janikowie. Następnie w oparciu o uzyskane wyniki zaproponowano modernizację prowadzącą do poprawy efektywności energetycznej rozdrabniania sody.

Analiza pracy instalacji produkcyjnej

Do mielenia stosuje się wiele odmian konstrukcyjnych młynów. Drobór zależy głównie od właściwości mielonego wsadu (nadawy), wymagań technicznych dotyczących produktu końcowego, wydajności, zapotrzebowania mocy – jednostkowego zużycia energii na mielenie. Wymagania uziarnienia spełniają zbiory ziaren o określonych zakresach wymiarowych. Uziarnienie sprowadzono do masowych udziałów procentowych (postaci) frakcji wymiarowych, określanych na sitach kontrolnych. Ponadto mierzono strumień masy w czasie, pobór mocy i obliczono charakterystyki użytkowe młyna.

Do analizy rozdrabniania zastosowano m.in. kryteria wydajności:

- masowej – określonej strumieniem masy sody
 - o uziarnieniu $> 1,7$ mm,
- objętościowej, którą określa strumień objętości mielonej sody
 - o uziarnieniu $> 1,7$ mm,
- celowej – określonej strumieniem masy w odniesieniu procentowym wyrobu gotowego (uziarnienie (1,0÷0,1) mm).

Zapotrzebowanie mocy, wyrażone w kW, określa przewidywane obciążenia w ciągu roku, po osiągnięciu zadanej (zadaniowej) wydajności procesu mielenia.

Jednostkowe zużycie energii, jest to moc dzielona przez na jednostkę strumienia masy lub objętości produktu mielenia, np. w $\text{kWh} \cdot \text{t}^{-1}_{\text{sody}}$.

Jeżeli w procesie mielenia nie można otrzymać produktu o wymaganym wymiarze, przeprowadzana jest klasyfikacja ziarnowa produktu, tzn. wydzielana jest z produktu część, której uziarnienie spełni odpowiednie wymagania technologiczne, a pozostałość (zwykle o grubszym uziarnieniu) poddaje się ponownemu mieleniu. Zastosowanie procesu klasyfikacji ziarnowej powoduje także obniżenie jednostkowego zużycia

energii i w wielu przypadkach jest niezbędnym procesem technologicznym. Udział procentowy przydatnej technologicznie części produktu mielenia u_u w stosunku do całości produktu q_m nazywa się uzyskiem granulometrycznym u_g [%], czyli

$$u_g = 100 \frac{u_u}{q_m} \quad (1)$$

Pozostałość produktu mielenia s_g [%] stanowi stratę

$$s_g = 100 \frac{s_s}{q_m} \quad (2)$$

gdzie:

s_s – udział procentowy nieprzydatnej technologicznie części produktu.

Dla uzysku i straty zachodzi więc zależność:

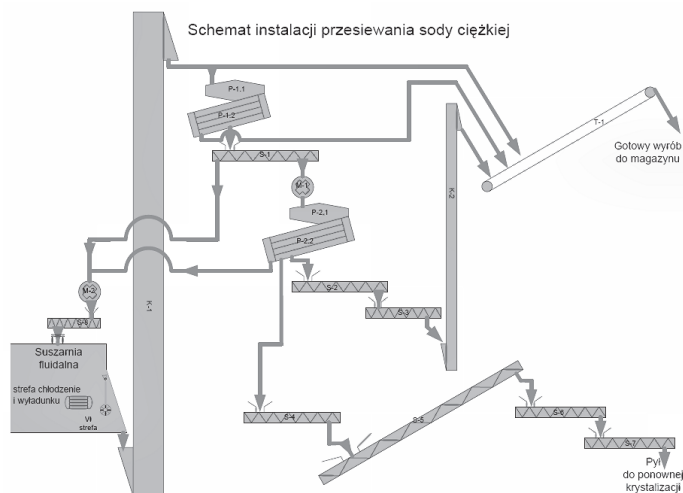
$$u_g + s_g = 100\% \quad (3)$$

Ważnym wskaźnikiem mielenia jest wydajność odniesiona do czasu, uziarnienia, powierzchni właściwej produktu mielenia, a w pewnych przypadkach do uzysku granulometrycznego oraz warunków uzyskania. Stąd określenia wydajności: godzinowa, zmianowa, dobowo, miesięczna, roczna. Do wyznaczenia wydajności zmianowej przyjmuje się 7 godzin ciągłej pracy młyna, dobowej zwykle 22 godziny, rocznej najczęściej 250 dni pracy, przy założonej zmianowości. Jednostkowe zużycie energii w: $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\text{GJ} \cdot \text{t}^{-1}$ lub $\text{kWh} \cdot \text{t}^{-1}$, podawane jest łącznie z dodatkowymi informacjami:

- rodzaj mielonego materiału,
- uziarnienie przed i po zmieleniu materiału (powierzchnia właściwa),
- inne właściwości fizyczne mielonego materiału (wilgotność, struktura, zanieczyszczenia itp.),
- rozdzielenie (jeśli jest to możliwe) zużycia energii przez młyn i urządzenia pomocnicze (zasilacz, klasyfikator, urządzenia transportowe, oczyszczania powietrza itp.).

Po wysuszeniu a następnie schłodzeniu soda ciężka poddawana jest klasyfikacji granulometrycznej. Frakcją zasadniczą są cząstki (2,0÷0,106) mm. Produkt o takiej granulacji stanowi 98% produkowanej sody, reszta to tzw. nadziarno wynoszące 1% i tyle samo podziarna. Podziarno zawracane jest do powtórnej krystalizacji, natomiast nadziarno kierowane jest na młyny. Zadania te wykonuje instalacja przesiewania i rozdrabniania, której schemat został przedstawiony na rys. 1.

Proces przesiewania i rozdrabniania rozpoczyna się z wyjściem sody z suszarko-chłodziarki. Soda ciężka po wysuszeniu, a następnie schłodzeniu do temperatury ok. 70°C transportowana jest przenośnikiem kibelkowym K-1 na rynnę wibracyjną P-1.1, zadaniem jej jest równomierne rozłożenie i skierowanie na przesiewacz. Soda znajdująca się w przesiewaczu wibracyjnym P-1.2, pod wpływem wibracji przesuwana się po trzech pokładach sit o rozmiarach oczek: 2,5; 1,8 i 1,6 mm. W przesiewaczu następuje oddzielenie frakcji zasadniczej od nadziarna. Soda ciężka o granulacji (1,6÷0,1) mm kolejno transportowana jest przenośnikiem taśmowym T-1 do magazynu jako gotowy wyrób, a pozostała część tzw. nadziarno zostaje poddana rozdrabnianiu. W tym celu, przenośnikiem śrubowym S-1, odsiana soda trafia do młyna młotkowego M-1. Urządzenie to rozdrabnia granulaty sody do różnych rozmiarów, dlatego soda zostaje ponownie przesiana. Zadanie to wykonuje rynnna wibracyjna P-2.1 i przesiewacz P-2.2, który podobnie jak prze-



Rys. 1. Schemat instalacji przesiewająco-rozdrabniającej sody ciężkiej [5]; K – przenośniki kubelkowe, M – młyny, P – przesiewacze, S – przenośniki śrubowe, T – przenośniki taśmowe

siewacz P-1.1 i P-1.2, pod wpływem drgań przesuwają i rozdzielają sodę na trzy frakcje.

W zależności od uziarnienia produkt kierowany jest odpowiednio w określone miejsca. Częstki sody o wymiarach $\Phi < 0,225$ mm (tzw. podziarno) wpadają do przenośnika śrubowego S-4. Następnie transportowane są przenośnikami S-5, S-6 i S-7 do krystalizatora, gdzie poddawane są ponownej krystalizacji.

Produkt o granulacji $\Phi (1,4 \div 0,225)$ mm jest frakcją właściwą i przenośnikami S-2, S-3, K-2 i T-1 jest przekazywany do magazynu sody ciężkiej.

Trzecią frakcją stanowią cząstki sody o granulacji $\Phi > 1,4$ mm, które należy dodatkowo rozdrobnić. Po odsianiu soda jest kierowana na młyn młotkowy M-2, gdzie zostaje ponownie rozdrobniona. Po zmieleniu soda transportowana jest przenośnikiem S-8 do suszarko-chłodziarki. W urządzeniu tym następuje wymieszanie cząstek ze świeżo wyprodukowaną sodą, które powtórnie przechodzą proces przesiewania i rozdrabniania.

Analizie poddano wydajność masową, objętościową oraz celową. Ostatnia z nich odnosi się do pożądanego produktu jakim jest soda o uziarnieniu $(1,0 \div 0,1)$ mm. Ponieważ instalacja sody ciężkiej pracuje w ruchu ciągłym, dlatego wyniki odniesione zostały do wydajności dobowej oraz godzinowej.

Również istotnym kryterium oceny układu mielenia jest jednostkowe zużycie energii przypadającej na jednostkę masy produktu.

W badanym okresie możliwości produkcyjne kształtowały się na poziomie $(37 \div 48)$ t·h⁻¹. Taka ilość sody ciężkiej kierowana była na pierwszy przesiewacz wibracyjny. Przed urządzeniem P-1.2 (Rys. 1) pobrane były próbki do analizy: rozkładu uziarnienia i masy nasypowej. Analizy wykonane zostały na podstawie przepisu analitycznego. Następnie miejsce poboru próbek znajduje się za młynem młotkowym M-1 (Rys. 1).

Wyniki granulometryczne podzielone zostały na trzy grupy: nadziarno, gotowy wyrób i podziarno, czyli część pylistą. Nadziarno jest najważniejszym czynnikiem w dalszych rozważaniach i obliczeniach. Wydajność masową W_m [t·h⁻¹] wyliczono na podstawie wzoru:

$$W_m = \frac{\dot{m}k_n}{100} \quad (4)$$

gdzie:

\dot{m} – strumień masy (obciążenie młyna),
 k_n – procentowy udział nadziarna.

Wydajność objętościową W_v [m³·h⁻¹], wyliczono według wzoru:

$$W_v = \frac{10\dot{m}k_n}{\rho} \quad (5)$$

gdzie:

\dot{m} – strumień masy (obciążenie młyna),

k_n – procentowy udział nadziarna.

ρ – masa nasypowa sody.

Wydajność celową z cechami geometrycznymi produktu $W_{(0,1 \div 1,0)}$ [t·h⁻¹] obliczono z zależności [1–5]:

$$W_{(0,1 \div 1,0)} = \frac{W_m k_c}{100} \quad (6)$$

gdzie:

W_m – wydajność masowa

k_c – procentowy udział sody o uziarnieniu $(0,1 \div 1,0)$ mm

Dyskusja wyników i koncepcje modernizacyjne

W procesie krystalizacji dąży się do uzyskania granulatu o wymiarach $(1,0 \div 0,1)$ mm. Strumień sody skierowany na przesiewacz P-1.2 w badanym okresie był zmienny: $(37 \div 48)$ t·h⁻¹. Na podstawie analizy granulometrycznej stwierdzono, że urządzenie P-1.2 odsiewało średnio 2,75% nadziarna, a wydajność młyna M-1 wyniosła od $(0,966 \div 1,367)$ t·h⁻¹.

Ilość sody skierowana na młyn M-2 jest niewielka, wydajność masowa M-2 kształtowała się na poziomie $(0,039 \div 0,066)$ t·h⁻¹. Wynika to z niewłaściwego rozdrobnienia sody przez młyn pierwszy. Materiał zmielony przez M-1 zawiera jeszcze $(4,01 \div 5,28)$ % nadziarna. Pożądanego produktu o granulacji w przedziale $(0,1 \div 1,0)$ mm uzyskiwano $(75,80 \div 81,82)$ %, a wydajność celowa wynosiła $(0,030 \div 0,054)$ t·h⁻¹.

Silniki napędzające urządzenia zasilane są prądem przemysłowym, trójfazowym o napięciu 390 V. Wyliczona moc robocza M-1 wynosi $(9,87 \div 11,75)$ kW, M-2: $(9,53 \div 11,35)$ kW. Przy zainstalowanych silnikach 22 kW, moc wykorzystana jest w 50%.

Jednostkowe zużycie energii elektrycznej, przez młyn M-1, osiąga niskie wartości $(8,59 \div 10,33)$ kWh·t⁻¹, a dla wydajności celowej $(8,53 \div 10,67)$ kWh·t⁻¹. Gorsze parametry energetyczne uzyskano dla M-2: $172,92$ kWh·t⁻¹.

Jednym z rozwiązań efektywnościowych [5], jest zmniejszenie mocy silnika napędzającego młyn M-2, np. do mocy znamionowej 18 kW. Obniżenie energochłonności można uzyskać przez odpowiednie zestawienie linii technologicznej. Zmiana polegałaby na rozdzielaniu strumienia nadziarna, które kierowane jest na młyn pierwszy. Zamierzony cel osiągnie się przez dobudowanie łącznika z przesiewaczem P-1.2 na rozdrabniacz M-2. Dodatkowo powinna być zamontowana kierownica, której zadaniem będzie regulowanie i rozdzielanie strumienia sody na dwa młyny.

Dobrym rozwiązaniem modernizacji mielenia będzie połączenie obydwu sposobów. Taki układ powinien dać stuprocentowy efekt poprawy parametrów rozdrabniania nadziarna sody ciężkiej w instalacji technologicznej.

Trzecią koncepcją modernizacji mielenia jest zbudowanie zasobnika (buforowego) o objętości ok. 4 m³, dla magazynowania nadziarna odsianego w przesiewaczu P-2.2. Według obliczeń ilość sody sypanej do zbiornika wynosi 0,066 t·h⁻¹. Dobowo zmagazynowana soda osiągnie masę 1,542 tony. Ilość taka kierowana jest na drugi młyn, który wykazuje najwyższe jednostkowe zużycie energii. Zmniejszenie energochłonności polega na okresowym włączaniu urządzenia i mieleniu zgromadzonego nadziarna.

Modernizacja mielenia przyniesie korzyści finansowe, energetyczne, a przede wszystkim ekologiczne w postaci zmniejszenia emisji CO₂ do atmosfery.

LITERATURA

- [1] J. Flizikowski: Micro- and nano-energy grinding. PAN STANFORD Publishing 2010.
- [2] A. Mroziński: Rozprawa doktorska WM ATR, Bydgoszcz, 2005.
- [3] A. Mroziński: Grant MNiSzW/UTP, Warszawa/Bydgoszcz 2009-2011.
- [4] Projekt implementacji inteligentnego systemu wspomagania konstrukcji młynów specjalnych - Sprawozdanie końcowe, Grant MNiI, ATR-AGH, Warszawa/Bydgoszcz-Kraków 2005.
- [5] J. Świątkowski: Praca dyplomowa, Wydział Inżynierii Mechanicznej UTP, Bydgoszcz 2010.