

*Jerzy Korol**, *Dorota Burchart-Korol**

ENERGOOSZCZĘDNY SPOSÓB PRZYGOTOWYWANIA MATERIAŁÓW ODPADOWYCH DO RECYKLINGU

Streszczenie

Recykling materiałów odpadowych jest możliwy po odpowiednim ich przygotowaniu, polegającym na nadaniu im formy umożliwiającej ich zastosowanie jako materiału wsadowego w określonych procesach technologicznych. Nadaje się im formę granulek lub brykietów o akceptowalnej wytrzymałości. Urządzeniem, które odpowiada współczesnym wymaganiom dotyczącym mieszania, ujednorodniania i granulacji materiałów odpadowych, jest intensywny mieszalnik przeciwbieżny.

W niniejszym artykule przedstawiono metody przygotowywania do recyklingu materiałów odpadowych z różnych gałęzi przemysłu. Omówiono proces intensywnego mieszania i granulacji oraz ideę procesu granulowania. Zaprezentowano przykłady zastosowania intensywnego mieszalnika przeciwbieżnego.

Energy-saving way of preparing waste materials for recycling

Abstract

In this paper preparation of waste materials for recycling by mixing and granulation process was shown. Using of backward intensive mixer was shown. Also samples of practical uses of intensive mixer were presented. This paper describes preparation of waste materials for their used, especially preparation of dust and slurry by mixing and granulation for recycling. Recycling of dust and slurry is possible after change of their form to for example briquettes or granules with acceptable level of strength. The easiest, the cheapest and the most effective way to change form of waste to be useful is using of intensive mixer.

WPROWADZENIE

Decydujący wpływ na technologiczne zagospodarowywanie materiałów odpadowych mają nie tylko aspekty ekonomiczne, lecz także aspekty ochrony środowiska naturalnego. Dzięki możliwości wykorzystywania materiałów odpadowych jako surowców w różnych procesach technologicznych, unika się ich składowania. Cechą charakterystyczną materiałów odpadowych jest znaczna zawartość składników, mogących znaleźć zastosowanie w wielu technologiach, porównywalna z zawartością tych składników w surowcach naturalnych. Materiały te jednak różnią się między sobą zarówno składem chemicznym, jak i postacią w jakiej występują (pyły, szlamy, muły), a także składem ziarnowym. Stwarza to istotne problemy w odpowiednim ich przetwarzaniu.

* Główny Instytut Górnictwa (jkorol@gig.eu)

1. PRZYGOTOWANIE MATERIAŁÓW ODPADOWYCH DO RECYKLINGU

Przygotowanie materiałów odpadowych do recyklingu, bez względu na ich skład chemiczny i fazowy oraz późniejsze zastosowanie, sprowadza się do takich podstawowych operacji technologicznych, jak (Serkowski 2003):

- mieszanie (umożliwiające korektę składu chemicznego i wilgotności),
- suszenie (zmniejszanie wilgotności szlamów w wyniku obróbki mechanicznej lub termicznej),
- granulacja lub brykietowanie (prowadzące do redukcji objętości oraz nadające przerabianym odpadom korzystne cechy, umożliwiające otwarty transport, składowanie lub recykling).

Prezentowane w publikacji Blatza i Serkowskiego (2005) koncepcje technologiczne przygotowywania materiałów odpadowych do recyklingu, obejmują przede wszystkim przerób pyłów i szlamów. Recykling czy też utylizacja wymagają przekształcenia ich w formę kawałkową, charakteryzującą się odpowiednimi wymiarami i właściwościami mechanicznymi. Uzyskanie wymaganych właściwości mechanicznych jest uzależnione od zastosowania dodatków wiążących, przy uwzględnieniu wybranego sposobu przygotowania odpadów do procesu recyklingu, a mianowicie:

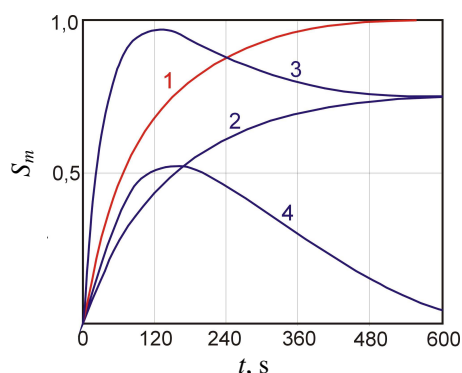
- aglomeracji,
- granulacji,
- brykietowania,
- formowania ciśnieniowego.

Wybór sposobu przygotowania odpadów do recyklingu zależy także od urządzenia, w którym dany odpad jest utylizowany. W każdym przypadku jednak podstawowym procesem jednostkowym, decydującym o końcowym efekcie i rachunku ekonomicznym, jest mieszanie. W recyklingu materiałów odpadowych operacje wstępne są najczęściej wykorzystywane w celu (Mróz 2006):

- zmniejszenia zawartości wody,
- homogenizacji mieszaniny materiałów,
- zbrylania materiałów miałkich,
- zmniejszenia ilości zanieczyszczeń.

W wyniku mieszania otrzymuje się homogeniczną mieszaninę, zapewniającą możliwie jednakowy skład ziarnowy i chemiczny w całej objętości. Mieszanie może stanowić jeden z najbardziej ekonomicznych sposobów odwadniania niektórych materiałów, na przykład szlamów, przez ich wymieszanie z suchymi materiałami odpadowymi jakimi są na przykład pyły i popioły. W ocenie procesu mieszania różnych materiałów obecnie stosuje się, tzw. podejście energetyczne. Wkład energii niezbędny do uzyskania odpowiedniej homogeniczności odpadów zależy od ich konsystencji i konstrukcji mieszadła. Wskaźnikiem charakteryzującym różne mieszane materiały pod względem nakładów energetycznych jest, tzw. intensywność mieszania (Serkowski, Müller 2004; Serkowski, Izak 2007).

Podczas mieszania każdemu rodzajowi materiału odpowiada określona wartość energii niezbędnej do całkowitej homogenizacji. Jednocześnie każdemu rodzajowi mieszadła odpowiada określona energia mieszania, związana z konstrukcją mieszalnika. Konstrukcja mieszalnika, który ma charakteryzować się dużą efektywnością mieszania, powinna zapewniać wzajemne przemieszczanie cząstek w całej objętości mieszanego materiału, a nie tylko w pobliżu mieszadła. Przemieszczanie dużych ilości materiałów w misie mieszalnika, bez przemieszczania cząstek mieszaniny względem siebie w objętości, prowadzi do bezproduktywnego wydatku znacznej części całkowitej energii zużytej w procesie mieszania. W przypadku mieszania materiałów sypkich należy mieć na uwadze wpływ czasu mieszania, który nie zawsze działa korzystnie na stopień homogenizacji. Zmniejszanie się stopnia homogenizacji składników drobnopięknych wraz z czasem mieszania może być spowodowane wtórną segregacją składników, związaną z różnicą ich gęstości, wielkości ziaren i kształtu, a także właściwościami powierzchniowymi, takimi jak adhezja, ścieralność itp. (rys. 1) (Serkowski 1996).



Rys. 1. Zależność stopnia mieszania S_m od czasu t – mieszanie idealne, 2–4 – mieszanie rzeczywiste (Serkowski 1996)

Fig. 1. Dependence of mixing degree S_m from time t – ideal mixing, 2–4 – real mixing (Serkowski 1996)

Urządzeniami, które odpowiadają współczesnym wymaganiom w zakresie mieszania i ujednorodniania składników są, tzw. intensywne mieszalniki. Są to szybkoobrotowe mieszalniki odśrodkowe. Jednym z urządzeń tego typu jest intensywny mieszalnik przeciwbieżny (prod. Erich). W intensywnych mieszalnikach przeciwbieżnych około 90% energii napędu jest wykorzystane na intensywne mieszanie materiałów znajdujących się w obszarze szybkoobrotowego wirnika, obracającego się w kierunku przeciwnym do kierunku obrotu misy mieszadła (rys. 2) (Morsch 2005).

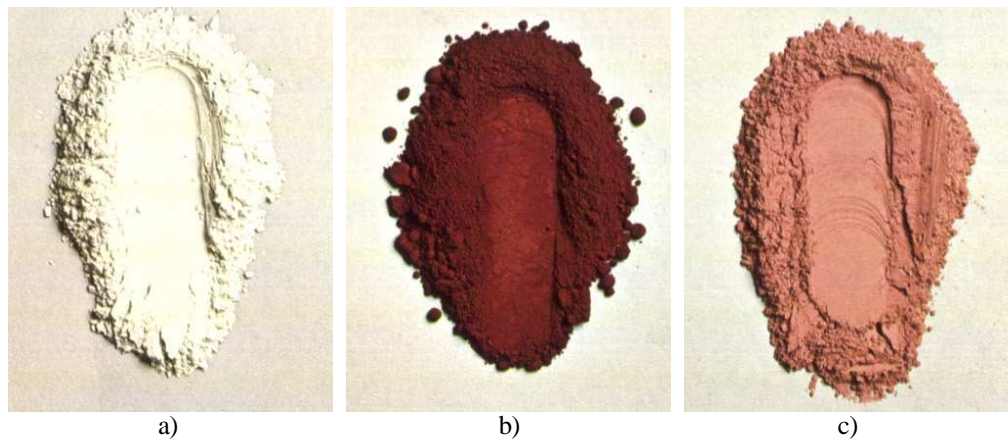


Rys. 2. Intensywny mieszalnik przeciwbieżny (Korol, Serkowski 2007)

Fig. 2. Intensive backward agitator (Korol, Serkowski 2007)

Obrotowa misa mieszalnika, nachylona względem poziomu, dostarcza mieszanę do miejsc, w których działają narzędzia mieszające. Ruch jednego lub więcej ułożonych ekscentrycznie narzędzi umożliwia wytworzenie współbieżnego lub przeciwbieżnego przepływu mieszanego materiału z dużymi różnicami prędkości w poszczególnych przemieszczających się względem siebie warstwach. Stacjonarny zgarniak stanowi stały, pionowy element kształtujący przepływ mieszanek – niezawodnie zapobiega tworzeniu się narostów i martwych stref (Korol, Serkowski 2007).

Mieszanie suchych, drobno- i gruboziarnistych składników wymaga energii około 2–3 kW/100 kg, natomiast mieszanie materiałów wilgotnych, którego intensywność zależy od lepkości spoiwa, wymaga od 3 do 8 kW/100 kg i krótkiego czasu mieszania, nieprzekraczającego 30–40 s (fot. 1). Podczas homogenizacji mieszanek o konsystencji plastycznej i półplastycznej nakład energii mieszania wynosi 4–15 kW/100 kg (Serkowski 1996).

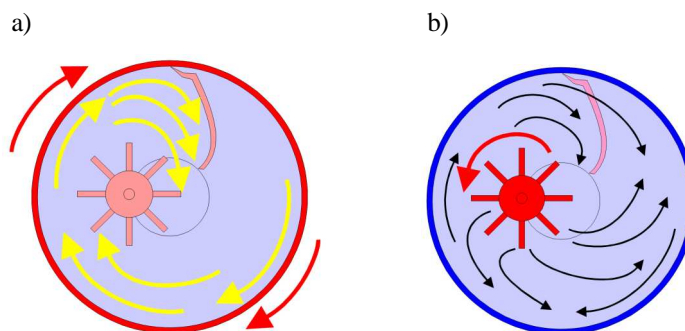


Fot. 1. Homogenizacja suchych proszków: c – jednorodna mieszanina komponentów a i b; czas mieszania 30 s
Photo. 1. Homogenizing of dry powders: c – homogeneous mixture of components a and b; time of mixing 30 s

Intensywność mieszania jest wskaźnikiem wiążącym dwa podstawowe parametry: wkład energii oraz czas potrzebny do uzyskania całkowitej homogenizacji danych materiałów. Z kolei każdy rodzaj mieszadła charakteryzuje się określoną energią mieszania, co wynika bezpośrednio z jego konstrukcji. Od konstrukcji mieszadła i sposobu mieszania zależy, jaka część energii napędu będzie wykorzystana w tym procesie. Jakość mieszaniny może być oceniana na przykład na podstawie oceny rozkładu poszczególnych komponentów mieszaniny, zdeteminowanego rozkładem zawartych w nich cząstek pod względem uziarnienia, jak i jednorodności zawilgocenia i składu chemicznego w całej mieszaninie. Stopień homogeniczności mieszaniny decyduje o jakości mieszania oraz wpływa na powtarzalność właściwości poszczególnych partii materiału. Homogenizacja ma szczególne znaczenie w przypadku stosowania niewielkich ilości wprowadzanych dodatków, na przykład substancji wiążących, których efektywny wpływ na właściwości mieszaniny zależy od ich równomiernego rozprzodzenia w całej objętości materiału. Duży stopień wymieszania to również większa wytrzymałość granulatów, przy danej zawartości spoiwa.

W intensywnym mieszalniku przeciwbieżnym można mieszać składniki o dowolnej konsystencji. Sposób przemieszczania materiału w mieszalniku i jego konstrukcja umożliwiają jednorodne rozprzodzenie nawet milionowej części wagowej dodatku, a związanie w postaci granulatu gwarantuje, że w każdej granulce będzie zachowany ten sam skład. Mieszalnik intensywny umożliwia ujednorodnianie wsadu i granulację. Podczas jednej operacji technologicznej z substancji drobnoziarnistych uzyskuje się mieszaniny o wysokim stopniu homogeniczności (np. pyłów, szlamów) i jednocześnie nadaje się im kształt zwartych granul o uziarnieniu od około 0,1 do 8 mm. Granulacja w mieszalniku intensywnym jest procesem nadawania materiałom postaci zwartych i wytrzymałych granul, w wyniku czego otrzymuje się zagęszczony i jednocześnie zbrylony materiał o pożądanym kształcie i wymiarach oraz wysokich parametrach wytrzymałościowych (Serkowski, Korol 2010).

Zdolność do granulacji wynika z zastosowanego sposobu przemieszczania się materiału, zbliżonego do przemieszczania się materiału w granulatorze talerzowym, z tym, że w mieszalniku intensywnym granulacja jest znacznie przyspieszona i wspomagana mechanicznym oddziaływaniem mieszadła i ruchem misy skorelowanym z kierunkiem strugi materiału formowanej przez szybkoobrotowy wirnik (rys. 3). W odróżnieniu od granulatora talerzowego czy bębnowego, granulacja w mieszalniku intensywnym odbywa się w całej objętości obrabianego materiału i nie wymaga tak skomplikowanej kontroli, jak w granulatorze talerzowym czy bębnowym. Obrotowa misa i zgarniacz dostarczają w sposób ciągły mieszane materiały do obszaru działania intensywnego wirnika, którego robocze łopatki są tak ustawione, aby materiał był przemieszczany we wszystkich płaszczyznach, także w kierunku równoległym do osi wirnika (Serkowski, Korol, Burchart-Korol 2008; Blatz, Serkowski 2005).



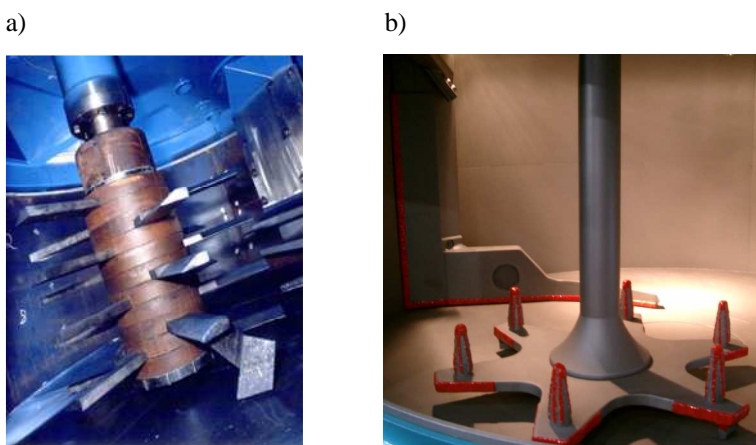
Rys. 3. Kierunek przepływu materiału w czasie granulacji w mieszalniku: a – determinowany obrotową misą, b – determinowany ruchem mieszadła

Fig. 3. Direction of flow of material during granulation in agitator: a – determined with rotatory bowl, b – determined with movement of rabble

Narzędzie mieszające może poruszać się ze zróżnicowaną prędkością w szerokim zakresie; umożliwia to optymalne dostosowanie ilości energii mieszania do właściwości mieszanych materiałów. Duża szybkość obrotowa wirnika może być zastosowana w celu:

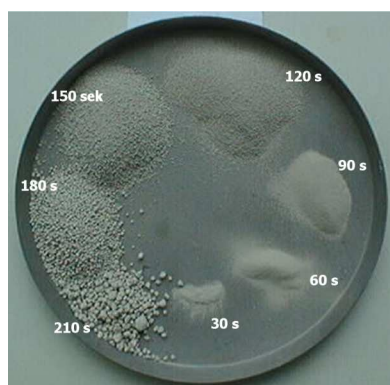
- optymalizacji procesu dyspersji włókien,
- idealnego rozdrobnienia aglomeratów, na przykład pigmentów i rozproszenia mikrodotyków,
- produkcji zawiesin o dużej zawartości fazy stałej.

Średnie prędkości są stosowane głównie w przypadku wytwarzania mieszanek o dużym stopniu homogeniczności. Małe szybkości obrotowe narzędzia mieszającego są stosowane w przypadku specjalnych komponentów, na przykład o małej gęstości nasypowej. Mieszalnik ten, dzięki odpowiedniej konstrukcji, jest zdolny nie tylko do granulacji suchych mieszanin w wyniku dodatku wody, lecz także do granulacji materiałów o wilgotności większej niż ilość wody (cieczy) potrzebnej do powstania granulek. Można w nim granulować szlamy w wyniku dodatku suchego materiału. Te zdolności technologiczne mieszalnika uzyskano, wprowadzając obrotową nachyloną względem poziomu misę oraz mimośrodowo osadzony wirnik wyposażony w odpowiednie do zadań technologicznych narzędzia mieszające. Na fotografii 2 przedstawiono komory robocze mieszalników przemysłowych o pojemności misy 12 000 litrów z typowymi rodzajami mieszadeł.



Fot. 2. Narzędzie mieszające: a – typu STAR BELT, b – typu PIN
Photo. 2. Agitating tool: a – STAR BELT type, b – PIN type

Intensywne mieszanie umożliwia uzyskanie pełnej homogeniczności suchych materiałów w ciągu około 30 s i ich zgranulowanie pod wpływem dodatku wody w ciągu kolejnych 2–4 min. Na fotografii 3 przedstawiono, jak zmienia się granulowany materiał w czasie granulacji. Pierwszy etap trwający 30 s, to homogenizacja suchych proszków, następnie jest dodawane spoiwo – w tym przypadku woda. W czasie trwania procesu granulki stopniowo powiększają się.



Fot. 3. Granulacja mączki sylikatowej w funkcji czasu
Photo. 3. Granulation of silicate flour in function of time

Całość operacji, łatwej do zautomatyzowania: załadunek mieszalnika – mieszanie i granulacja – rozładunek, w zależności od przetwarzanych materiałów i ich ilości wymaga od około 5 do 10 min. Gwarantuje to małe zużycie energii 2–3 kW·h/Mg i dużą wydajność urządzenia. W mieszalniku intensywnym istnieje możliwość kontroli wielkości granulek i zapewnienia im wysokiego stopnia zagęszczenia (większą o ok. 20% gęstość nasypową granulatu w porównaniu z granulatem talerzowym i bębnowym) oraz nadaje powierzchni granulek cechy korzystnie wpływające na właściwości

reologiczne granulatu. Technika mechanicznej granulacji eliminuje możliwość powstawania typowych defektów granulatu, takich jak na przykład pusty środek (Serkowski, Müller 2004; Serkowski, Izak 2007).

2. PRZYKŁADY ZASTOSOWANIA INTENSYWNEGO MIESZALNIKA PRZECIWBIEŻNEGO

Intensywny mieszalnik przeciwbieżny znalazł szerokie zastosowanie w technologii przygotowywania surowców w metalurgii, chemii, w ceramice i produkcji szkła, także do materiałów węglowych, okładzin ciernych i past bateryjnych akumulatorowych. Mieszalnik zastosowano również w badaniach nad opracowaniem technologii wytworzenia bionanokompozytów i kompozytów trudno palnych.

Zmiana materiałów drobnoziarnistych na granulaty przyczynia się do zmniejszenia procesu segregacji mieszanin podczas transportu i ich zbrylania, poprawia właściwości reologiczne materiałów, ułatwia ich dozowanie, ponadto w każdej granulce jest zachowana taka sama struktura i skład chemiczny. Korzystnym efektem stosowania granulatu jest znaczne zmniejszenie wtórnego pylenia i redukcja szkodliwych czynników pracy.

W niektórych przypadkach jest wymagane, aby granulaty charakteryzowały się na przykład większą porowatością i mniejszą gęstością niż uzyskany w mieszalniku. Stosuje się wtedy granulator talerzowy. Jednorodna mieszanina komponentów jest sporządzana w intensywnym mieszalniku, w którym, oprócz wysokiego stopnia jednorodności, uzyskuje się załączki przyszytych granul (ułatwia to i przyspiesza proces granulacji w granulatorze talerzowym), następnie tak przygotowany materiał zostaje zgranulowany w granulatorze talerzowym. Na fotografiach 4–9 przedstawiono przykładowe materiały zgranulowane za pomocą intensywnego mieszalnika przeciwbieżnego; są to surowce ceramiczne, odpady i surowce metalurgiczne.



Fot. 4. Klinkier magnezjowy – surowiec do produkcji materiałów ogniotrwałych; uziarnienie 0,2–2 mm

Photo. 4. Magnesia clinker – the raw material for production of fire-proof materials; graining 0.2–2 mm



Fot. 5. Zgranulowany proszek ZrO_2 – surowiec do produkcji materiałów ogniotrwałych; uziarnienie 0,2–2 mm

Photo 5. Granulated ZrO_2 powder – the raw material for production of fireproof materials; graining 0.2–2 mm



Fot. 6. Porcelana elektrotechniczna – granulát, uziarnienie 0,1–0,8 mm

Photo. 6. Electrical porcelain – granulate; graining 0.1–0.8 mm



Fot. 7. Flotokonzentrat cynkonośny połączone z sadzą i pyłem antracytowym

Photo. 7. Zinciferous flotation concentrate joint with soot and anthracite dust



Fot. 8. Zасыпка металургична на базе odpadów z produkcji aluminium, tzw. zgarów; uziarnienie 4–6 mm

Photo. 8. Metallurgical casting powder on a basis of wastes from production of aluminium, so called melting losses; graining 4–6 mm



Fot. 9. Odpady z produkcji żelaza i stali, zawracane do procesu

Photo. 9. Wastes from production of iron and steel, recycled to process

Dzięki zastosowaniu technologii granulacji z wykorzystaniem intensywnego mieszalnika przeciwbieżnego było możliwe uzyskanie wysokiego stopnia wstępnego zagęszczenia prezentowanych surowców ceramicznych (fot. 4–9). Omówiony w publikacjach Serkowskiego i Müllera (2002, 2004) sposób wytwarzania mikroporowatych materiałów ogniotrwałych z mas proszkowych polega na wykorzystaniu nowoczesnej techniki granulacji, zapewniającej największy stopień kontrolowanej aglomeracji proszków i tym samym uzyskiwanie zagęszczenia podczas formowania ciśnieniowego, przekraczającego nawet 80% TD (gęstości teoretycznej), co jest podstawowym parametrem technologicznym przy wytwarzaniu finalnych produktów z tego typu materiałów.

Na zdjęciach 5–9 przedstawiono granulaty uzyskane z surowców i odpadów metalurgicznych. Dzięki zastosowaniu intensywnego mieszalnika udało się zwiększyć gęstość nasypową o 20% w stosunku do mieszaniny komponentów wyjściowych

przed ich zgranulowaniem. Badania wykazały, że granulaty wytworzone za pomocą mieszalnika intensywnego charakteryzują się większą gęstością i wytrzymałością niż wytwarzane innymi znanymi dotychczas technikami. To spostrzeżenie pozwoliło na stwierdzenie, że proponowana technologia granulacji umożliwia uzyskanie większej gęstości nasypowej, co przyczynia się do wzrostu wydajności procesów (Hadano i in. 1995).

Podjęto także próbę otrzymania w warunkach laboratoryjnych granulatu spełniającego wymagania technologiczne stawiane składnikom mieszanki spiekalniczej do spiekania rud żelaza. Koncepcja technologiczna przerobu wybranych materiałów odpadowych (fot. 9) pod kątem ich recyklingu w procesie spiekania rud żelaza została opisana przez Burchart-Korol (2009a, 2009b) i Korol (Korol, Serkowski 2005). Ocenia się, że zaproponowana nowa technologia przygotowywania mieszanki spiekalniczej pozwoli na obniżenie kosztów produkcji spieku, zwiększenie wydajności oraz ograniczenie emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych.

PODSUMOWANIE

Przedstawiony sposób przygotowywania materiałów odpadowych do recyklingu stwarza szerokie możliwości opłacalnego ekonomicznie i korzystnego dla środowiska naturalnego rozwiązania problemu zagospodarowania i przetwarzania odpadów z różnych gałęzi przemysłu. Podstawową rolę w tej technologii odgrywa technika intensywnego mieszania i granulacji, stwarzając nowe możliwości wydajnego i taniego przygotowania materiałów odpadowych do recyklingu. Ponadto, intensywne mieszanie i granulacja, w porównaniu z innymi powszechnie stosowanymi metodami przetwarzania odpadów, umożliwiają znaczną redukcję energochłonności procesu. Mogą być stosowane do materiałów o wysokim stopniu rozdrobnienia. Uzyskuje się materiały wyjściowe w znacznym stopniu ujednorodnione, a następnie granulaty o dowolnie ukształtowanym składzie ziarnowym i wilgotności. Mieszalnik intensywny umożliwia otrzymanie zwartych i wytrzymałych granul, w wyniku czego materiał jest zagęszczony i jednocześnie zbrulony. Ma pożądaną kształt i wymiary oraz stałe parametry wytrzymałościowe. Próby granulacji z wykorzystaniem tego sposobu wykazały, że granulaty charakteryzują się większą gęstością niż wytwarzane za pomocą innych znanych dotychczas technik. Mieszalniki intensywne mogą również służyć do przygotowywania surowców do nowoczesnych procesów technologicznych z wykorzystaniem materiałów proszkowych o różnych właściwościach.

Literatura

1. Błatz J., Serkowski S. (2005): Technologie recyklingu pyłów i szlamów metalurgicznych. Hutnik – Wiadomości Hutnicze nr 5.
2. Burchart-Korol D. (2009a): Granulacja materiałów odpadowych w hutnictwie żelaza i stali. Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Odpady w XXI wieku”. Kraków, Instytut Nafty i Gazu.
3. Burchart-Korol D. (2009b): Technologia przygotowania metalurgicznych materiałów odpadowych do recyklingu. Prace Instytutu Metalurgii Żelaza nr 5.

4. Hadano Y., Murai T., Kawaguchi Y., Komatsu S., Sasakawa A., Kawaguchi T., Matsu-
mura M. (1995): Improvement of Granulation of Raw Material by Using the High-
Agitating Mixer at Kokura No. 3 Sintering Plant. Ironmaking Conference Proceedings.
Iron and Steel Society, s. 535.
5. Korol J., Serkowski S. (2005): Koncepcja technologii przerobu mułków zgorzelinowych
pod kątem ich recyklingu. Hutnik – Wiadomości Hutnicze nr 5.
6. Korol J., Serkowski S. (2007): Vacuum granulation of aluminum oxide. 10th International
Conference and Exhibition of the European Ceramic Society. Estrel Convention Center
Berlin.
7. Morsch U. (2005): 100 years Erich Mixing Technology (1903–2003) www.baumaschine.de
8. Mróz J. (2006): Recykling i utylizacja materiałów odpadowych w agregatach metalurgicz-
nych. Częstochowa, Politechnika Częstochowska.
9. Serkowski S. (1996): Podstawowe operacje technologiczne w utylizacji odpadów metalur-
gicznych. Hutnik – Wiadomości Hutnicze nr 4.
10. Serkowski S. (2003): Procesy utylizacji odpadów przemysłowych występujących w formie
pyłów i szlamów. Ochrona Powietrza i Problemy Odpadów nr 6.
11. Serkowski S., Izak P. (2007): Energooszczędne technologie przygotowania ceramicznych
mas granulowanych. Szkło i Ceramika nr 58.
12. Serkowski S., Korol J. (2010): Mikroporowate ogniotrwałe tworzywo z proszku ZrO_2 .
Polski Biuletyn Ceramiczny PAN (w druku).
13. Serkowski S., Korol J., Burchart-Korol D. (2008): Koncepcja modernizacji procesu
przygotowania mieszanki spiekalniczej. IX Międzynarodowa Konferencja Naukowa
„Teoretyczne i Praktyczne Problemy Zagospodarowania Odpadów Hutniczych i Przemys-
łowych”, Zakopane.
14. Serkowski S., Müller M. (2002): Nowe rozwiązania technologiczne procesu zagęszczania
proszków ceramicznych. Polski Biuletyn Ceramiczny PAN Vol. 71.
15. Serkowski S., Müller M. (2004): On the Manufacture of Dense Microporous. Refractory
Materials – Part 1. Ceramic Forum International No 4.

Recenzent: doc. dr hab. inż. Barbara Białecka