

TADEUSZ JAKUBIUK*
ANDRZEJ ŁOSIEWICZ**
PIOTR TAŻBIERSKI***

Wykorzystanie odpadów komunalnych do wytwarzania katalizatorów ceramicznych

Słowa kluczowe: odpady komunalne, recykling, termokatalizator, katalizator ceramiczny.

W artykule przedstawiono prace prowadzone w Instytucie Ceramiki i Materiałów Budowlanych nad wykorzystaniem odpadów powstających w Zakładach Utylizacji Stałych Odpadów Komunalnych w Warszawie do wytworzenia katalizatora termicznego krakingu odpadów z tworzyw sztucznych do produktów ciekłych w temperaturze otoczenia. Opisano sposób prowadzenia prac nad wytworzeniem i badaniem właściwości katalitycznych otrzymanego materiału ceramicznego. Właściwości fizykochemiczne i katalityczne tworzywa ceramicznego porównywano z katalizatorem kordierytowym wytworzonym w Instytucie dla firmy Altris i z powodzeniem użytym w urządzeniach przemysłowych katalitycznego rozkładu odpadów polietylenowych i polipropylenowych.

1. Wprowadzenie

W związku z działalnością produkcyjną oraz z użytkowaniem różnego rodzaju wyrobów powstaje coraz więcej odpadów. Zagospodarowanie odpadów, szczególnie z tworzyw sztucznych, jest obecnie jednym z najistotniejszych problemów ochrony środowiska, gdyż naturalny proces ich degradacji trwa ponad sto lat [1]. Szczególnie dotyczy to odpadów opakowaniowych. Jednocześnie ze wzrostem produkcji materialnej rokrocznie zwiększa ich ilość i różnorodność. O ile w sferze produkcji i dystrybucji problem ten rozwiązywany jest poprzez odpowiednie ustawy i rozporządzenia, to zdyscyplinowanie odbiorców indywidualnych do ich sortowania w celu racjonalnego zagospodarowania jest bardzo trudne. Parlament Europejski 31 grudnia 1994 r. przyjął Dyrektywę 94/62/EEC, zgodnie z którą kraje Unii Europejskiej powinny zapewnić odzysk i wykorzystanie odpadów z tworzyw sztucznych w ilości co najmniej 50–65% wagowych. Konsekwencją tego są wprowadzone w Polsce

* Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie.

** Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie.

*** Mgr inż., Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Warszawie.

dwie nowe ustawy regulujące gospodarkę opakowaniami i odpadami opakowaniowymi (DzU 2001, nr 62, poz. 627; DzU 2001, nr 63, poz. 639).

Wymienione ustawy wymuszają prowadzenie ewidencji produkowanych i importowanych opakowań oraz określenie sposobu postępowania z nimi dla zapewnienia ochrony życia i zdrowia ludzi oraz ochrony środowiska. Zgodnie z Dyrektywą 94/62/EEC ustawy wprowadzają różne postanowienia regulujące i ograniczające przedostawanie się odpadów do środowiska. Wprowadzają np. opłatę produktową, obliczaną i wpłacaną w przypadku niektórych towarów, by zapewnić fundusze na odzysk i recykling materiałów opakowaniowych czy opłatę depozytową, pobieraną przy sprzedaży detalicznej niektórych artykułów, np. przy sprzedaży akumulatorów samochodowych, której zwrot następuje po przekazaniu zużytego akumulatora.

Ilość odpadów z tworzyw sztucznych zwiększa się rokrocznie z uwagi na coraz większą produkcję wynikającą z powszechniejszego stosowania ich w materiałach opakowaniowych, budowlanych i konstrukcyjnych. Światowa produkcja wyrobów z tworzyw sztucznych przekroczyła 100 mln MG i wzrasta ok. 500 tys. Mg rocznie. Ponad 1/3 wytworzonych tworzyw stanowią poliolefiny PE i PP [2]. Przy dużym poziomie konsumpcji powstają też ogromne ilości odpadów, sięgające prawie 65% bieżącej produkcji tworzyw. W 2004 r. 70% światowych odpadów składowano na wysypiskach, z 15% wytwarzano energię, a 15% poddawano różnego rodzaju recyklingowi [2].

W Polsce na rynek wprowadzanych jest obecnie ok. 0,5 mln Mg rocznie opakowań z tworzyw sztucznych, recyklingowi poddawane jest 15% tej ilości [2]. Może to być tzw. recykling materiałowy, polegający na otrzymaniu regranulatów, to jest na odzyskaniu surowców, z których przerabiane materiały odpadowe zostały wykonane, lub recykling chemiczny, tzn. przeróbka odpadów na paliwa stałe, ciekłe i gazowe. Recykling chemiczny polega na termicznym lub termokatalitycznym przetwórstwie odpadów.

Recykling termiczny, zwany pirolizą, polega na rozbijaniu w związkach organicznych wiązań polimerowych w wysokich temperaturach w granicach 950–1150°C i na ogół związany jest z jednoczesnym uwodornianiem powstających węglowodorów nienasyconych za pomocą wodoru lub wody. Produktami są wówczas ciekłe i gazowe węglowodory oraz alkohole. Pod względem technologicznym proces jest mało skomplikowany, wymaga jednak stosowania wysokich temperatur.

Recykling termokatalityczny, tzw. kraking, realizowany w obecności katalizatora związany jest z rozpadem polimerów do frakcji ciekłych oraz gazowych węglowodorów i przebiega w temperaturze 450–550°C. Do krakingu poliolefin najpowszechniej stosowane są katalizatory, które zawierają w swoim składzie glinokrzemiany, kwarc i nieznaczne dodatki tlenków metali ziem rzadkich [3]. W typowym krakingu katalitycznym z zastosowaniem przemysłowych kataliza-

torów, prowadzonym w reaktorze fluidalnym w zakresie temperatur 450–550°C, polietylen ulega przemianie w węglowodory gazowe z wydajnością 40–50% i ciekłe – od 30 do 40% [4].

W zależności od rodzaju użytego w tym procesie katalizatora otrzymywane są różne ilości gazu (lotne węglowodory) i różne proporcje frakcji benzynowych, olejowych i parafin, co umożliwi sterowanie w pewnych granicach zarówno wydajnością, jak i dystrybucją produktów degradacji polimerów.

W chwili obecnej w Polsce tylko nieznaczna część odpadów poddawana jest recyklingowi i dotyczy to głównie tych pochodzących z przemysłu. Odpady komunalne są zazwyczaj składowane na wysypiskach. Jedynie niewielka ich część poddawana jest utylizacji w spalarniach. W odpadach pochodzących głównie z gospodarstw domowych większość jest pochodzenia organicznego. Są to przede wszystkim pozostałości artykułów spożywczych, opakowania różnego typu produktów, zużyte elementy sprzętu domowego, zużyta odzież itp. Odpady organiczne w wyniku spalania przechodzą w fazę gazową, gazy szkodliwe dla zdrowia i środowiska poddawane są dalej neutralizacji. Substancje mineralne i zawarte w odpadach związki metali tworzą żużel i pył poreakcyjny. Odpady stałe stanowią 15–17% masy utylizowanych w spalarni odpadów i wykorzystywane są głównie przy budowie dróg (informacje uzyskane z Zakładu Utylizacji Stałych Odpadów Komunalnych w Warszawie, ul. Gwarków 9).

Wstępne informacje odnośnie do składu chemicznego tych odpadów pozwoliły przypuszczać o możliwości wykorzystania ich w procesach katalitycznych, szczególnie z uwagi na zawarte w nich duże bogactwo tlenków metali ziem rzadkich. Podjęto pracę, której przedmiotem było zbadanie możliwości wykorzystania stałych odpadów ze spalarni do wytworzenia katalizatora przeznaczonego do krakingu poliolefin. Katalizator ten posłużyłby w dalszej konsekwencji do utylizacji odpadów z tworzyw sztucznych w procesie termokatalizy.

2. Cel pracy

Celem prowadzonych prac badawczych było zagospodarowanie odpadów komunalnych ze spalarni śmieci poprzez opracowanie na ich bazie katalizatora, w postaci granul o uziarnieniu od 0,1 do 1,00 mm, umożliwiającego prowadzenie krakingu poliolefin w zakresie temperatur 450–550°C na frakcje ciekłe w temperaturze otoczenia, jak: benzyny, oleje, parafiny. Katalizator ten powinien zapewnić całkowity rozpad tych tworzyw z wydajnością uzyskania frakcji ciekłej nie mniejszą niż 60% masy rozkładanych tworzyw.

3. Metodyka badań

Do syntezy katalizatora wybrano odpady w postaci żużla z Zakładu Utylizacji Stałych Odpadów Komunalnych w Warszawie. Pył poreakcyjny z instalacji

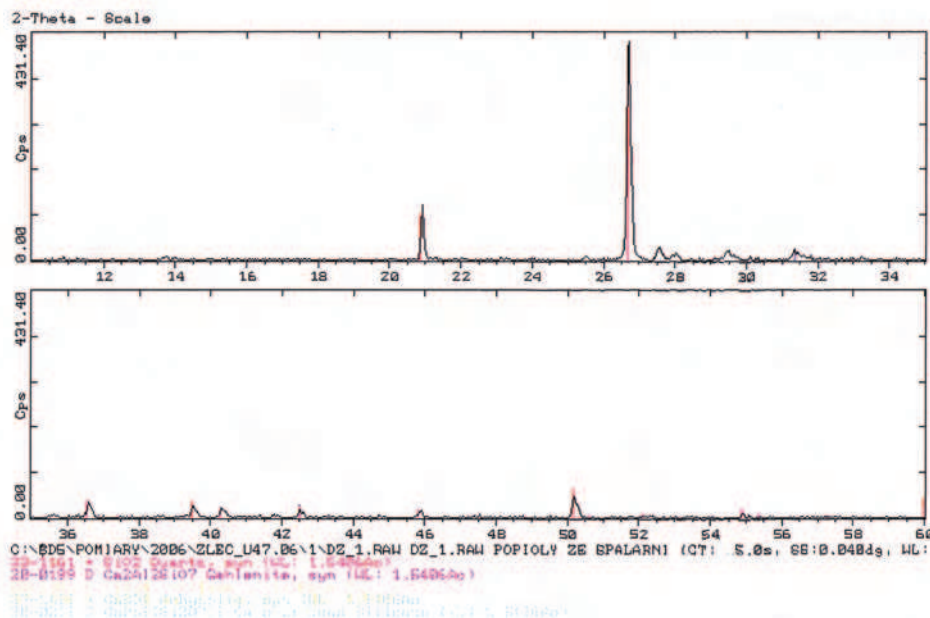
oczyszczania spalin uznano za nieprzydatny do prowadzonych badań z uwagi na zbyt dużą zawartość związków wapnia (85,6%), głównie w postaci chlorku i siarczanu. Doświadczenia własne oraz doniesienia literaturowe wykazują, że związki wapnia nie są przydatne w tego typu procesach katalitycznych [5].

W Laboratorium Badawczym Instytutu przeprowadzono analizę składu chemicznego oraz rentgenowską analizę fazową żużla i wykonano badanie promieniotwórczości.

Skład chemiczny żużla był następujący [%]:

SiO ₂ – 65,95;	MgO – 1,26;	CuO – 0,13;	SO ₃ – 1,70;
Al ₂ O ₃ – 5,58;	Na ₂ O – 3,72;	PbO – 0,20;	Cr ₂ O ₃ – 0,03;
Fe ₂ O ₃ – 3,09;	K ₂ O – 0,96;	TiO ₂ – 0,57;	NiO – 0,08;
CaO – 12,20;	ZnO – 0,30;	MnO – 0,04;	strata – 4,19.

Z analizy rentgenowskiej analizy fazowej zaprezentowanej na rycinie 1 wynika, że składniki żużla charakteryzowały się niską krystalicznością. Stwierdzono niewielkie ilości faz krystalicznych kwarcu SiO₂, krzemianu grupowego gehlenitu Ca₂Al₂SiO₇, siarczanu potasowego K₂SO₄ i anhydrytu CaSO₄; dominująca ilość próbki była w postaci amorficznej. W badanym materiale nie stwierdzono substancji radioaktywnych.



Ź r ó d ł o: Badania własne.

Ryc. 1. Dyfraktogram żużla

Z uwagi na znajdujące się w żużlu związki niklu, chromu, tytanu, miedzi i żelaza należało spodziewać się ich korzystnego wpływu na właściwości katalityczne wytwarzanych materiałów.

Jako wzorzec pod względem składu chemicznego posłużył katalizator, zwany kordierytowy, opracowany w Instytucie w okresie wcześniejszym. Molowy skład tlenkowy tego katalizatora jest następujący:



Ponieważ żużel w porównaniu ze wzorcem katalizatora wykazywał znaczny niedobór tlenu glinu, uznano za konieczne wzbogacenie go o ten tlenek przez dodawanie czystego Al_2O_3 i kaolinu.

Formę fizyczną katalizatora miał stanowić granulata o uziarnieniu 0,1–1,0 mm. Taka postać pozwala na uzyskanie dużej powierzchni kontaktu z tworzywem i jest łatwa w produkcji. W celu uzyskania granulatu surowce (żużel i dodatki) mielono na mokro, następnie granulowano i wypalano w różnych temperaturach. Przedmiotem badania było określenie rodzaju i ilości dodatków oraz ustalenie temperatury wypalania. Odpowiednio dobrany skład chemiczny i właściwie dobrana temperatura ceramizacji mają znaczący wpływ na właściwości użytkowe katalizatora.

Właściwości katalityczne uzyskanych materiałów badano w specjalnie skonstruowanym reaktorze, gdzie ustalano optymalne temperatury rozkładu pierwotnego mieszaniny PE i PP oraz określono ilości poszczególnych frakcji rozkładu. Otrzymane wielkości porównywano z analogicznymi wynikami uzyskanymi z zastosowaniem katalizatora wzorcowego.

4. Opracowanie składów surowcowych katalizatora i wykonanie próbek do badań właściwości fizykochemicznych

Przy ustalaniu rodzaju i ilości dodatków do żużla porównywano składy molowe tlenków w żużlu i katalizatorze wzorcowym. W tabeli 1 zestawiono molowe składy chemiczne katalizatora wzorcowego i żużla.

Tabela 1

Skład molowy katalizatora wzorcowego i żużla

Rodzaj materiału	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO
Katalizator wzorcowy	5,0	2,00	1,00	-
Żużel	5,0	0,25	0,15	0,99

Źródło: Badania własne.

Z danych zestawionych w tabeli 1 wynika, że żużel ma małą zawartość tlenu glinowego i tlenu magnezowego w stosunku do katalizatora wzorcowego,

zawiera natomiast dużo wapnia, co jest zjawiskiem niekorzystnym dla krakingu materiałów polimerowych, jako że wapń występuje w postaci gipsu CaSO_4 . W świetle tych spostrzeżeń opracowanie składu chemicznego katalizatora polegało na zwiększeniu udziału tlenku glinu i zmniejszeniu udziału tlenku wapnia. Drugi cel osiągnięto poprzez „rozcieńczenie” żużla kaolinem, z uwagi na dużą zawartość w nim zarówno Al_2O_3 , jak i SiO_2 . Do syntezy poszczególnych katalizatorów używano tlenek glinu Ex 33 i kaolin KOM. Opracowane na bazie żużla składy surowcowe i tlenkowe zestawiono w tabeli 2.

T a b e l a 2

Składy surowcowe i tlenkowe katalizatora

Symbol próbki	Składniki zestawu [w cz. wag.]			Skład tlenkowy [mol]			
	żużel	tlenek glinu	kaolin	SiO_2	Al_2O_3	MgO	CaO
K_0	–	–	–	5,0	2,00	1,00	–
K_1	100,0	25,0	–	5,0	1,36	0,14	1,00
K_2	100,0	30,0	–	5,0	1,57	0,14	1,00
K_3	100,0	40,0	–	5,0	2,03	0,14	1,00
K_4	100,0	25,0	10,0	5,0	1,42	0,13	0,93
K_5	100,0	30,0	20,0	5,0	1,67	0,13	0,87

Ź r ó d ł o: Badania własne.

Przedstawione w tabeli 2 zestawy surowcowe były przedmiotem dalszych prac nad wytworzeniem katalizatora.

Przed przystąpieniem do sporządzania zestawów surowcowych żużel zmielono wstępnie w młynie kulowym do uziarnienia poniżej 0,1 mm i wysuszono w suszarni komorowej do wilgotności poniżej 1%. Poszczególne zestawy ujednorodniono i rozdrabniano na mokro w laboratoryjnym młynku wibracyjnym Boulton do uziarnienia $d_{50} = 1,4 \div 1,5 \mu\text{m}$. Po wysuszeniu każdy z zestawów nawilżano 10-procentowym roztworem wodnym alkoholu poliwinylowego JP 05 i granulowano za pomocą sita o oczku 1,0 mm. Z wysuszonych do wilgotności 0,4 ÷ 0,6% granulatów wyprasowano pod ciśnieniem 20 MPa po 25 sztuk beleczek w celu zbadania wytrzymałości mechanicznej na zginanie i porowatości otwartej tworzyw wypalanych w różnych temperaturach. By określić właściwą temperaturę ceramizacji tworzywa, beleczki wyprasowane z każdego rodzaju granulatu wypalano w temperaturach 1150, 1200, 1250 i 1300°C. Proces obróbki termicznej prowadzono z szybkością przyrostu temperatury 100°C/h i z godzinnym przetrzymaniem izotermicznym. Za temperaturę właściwą do przeprowadzenia syntezy katalizatora uznano taką, w której otrzymany materiał ceramiczny osiągnie właściwości fizyczne zbliżone do katalizatora wzorcowego, czyli porowatość otwartą w granicach 16–18% i wytrzymałość na zginanie 70–80 MPa.

5. Badanie właściwości tworzywa ceramicznego

Porowatość otwartą wypalonych materiałów badano zgodnie z normą PN-EN ISO 10 545-3 (gotowanie w wodzie destylowanej). Do obliczenia wytrzymałości na zginanie wykorzystano zakładowy aparat H10-KS firmy Tinius Olsen, który umożliwił ustalenie siły łamiącej beleczki. Badania wykonano na trzech beleczkach każdego rodzaju materiału, wypalanego w różnych temperaturach. Wyniki badań tych właściwości przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Porowatość otwarta (%) i wytrzymałość na zginanie (MPa) kształtek ceramicznych wypalanych w różnych temperaturach

Symbol próbki	Temperatura wypalania [°C]							
	1150		1200		1250		1300	
	[%]	[MPa]	[%]	[MPa]	[%]	[MPa]	[%]	[MPa]
K ₁	21,8	44,8	17,2	71,3	15,4	90,2	–	–
K ₂	22,6	43,3	20,5	53,9	16,5	75,4	–	–
K ₃	23,0	43,0	21,2	46,2	17,1	73,6	2,1	134,3
K ₄	22,3	43,9	19,8	58,2	16,5	73,9	0,3	160,2
K ₅	21,9	44,0	19,9	59,5	16,7	74,6	0,5	156,0

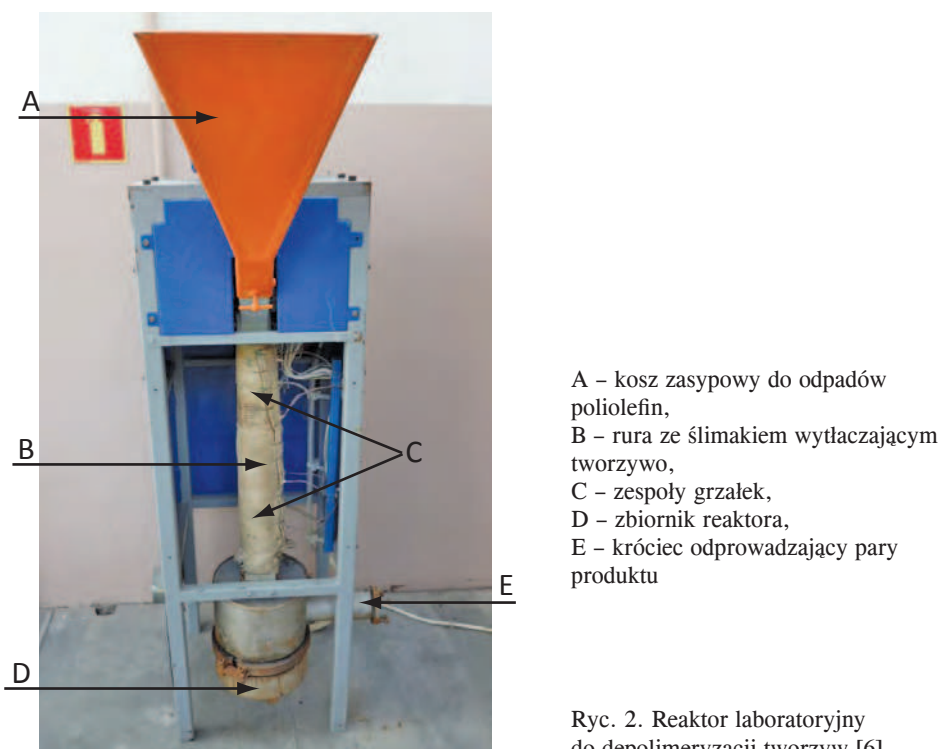
Źródło: Badania własne.

Z przedstawionego w tabeli 3 zestawienia porowatości otwartej i wytrzymałości na zginanie wynika, że wszystkie materiały wypalane w temperaturze 1250°C oraz próbka K₁ wypalona w temperaturze 1200°C osiągnęły parametry zbliżone do wzorca. W kształtkach K₁ i K₂ zawierających mniej niż 25% dodatków, wypalonych w temperaturze 1300°C, wystąpiły deformacje i nadtopienia, które uniemożliwiły przeprowadzenie prawidłowych badań próbek. Zjawiska te świadczą o dużej zawartości topników w żużlu. Pozostałe zestawy wypalone w tej temperaturze charakteryzują się zbyt dużym stopniem spieczenia, o czym świadczy bardzo niska porowatość. Z kolei materiały wypalone w temperaturach 1150 i 1200°C pomimo pozytywnej cechy, jaką jest duże rozwinięcie powierzchni (duża porowatość otwarta), posiadały zbyt małą wytrzymałość mechaniczną, aby mogły znaleźć praktyczne zastosowanie w procesie katalizy. W związku z tym granulaty otrzymane z zestawu surowcowego K₁ wypalano w temperaturze 1200°C, a wszystkie pozostałe w temperaturze 1250°C. Granulaty wypalano w kasetach ceramicznych zgodnie z krzywą wypalania beleczek. Po wypaleniu i rozdrobieniu powstałych aglomeratów odsiano frakcję pylistą za pomocą sita o oczku 0,1 mm i nadziarno na sicie o oczku 1,0 mm.

6. Badanie właściwości fizykochemicznych katalizatora

Najważniejszym parametrem świadczącym o przydatności poszczególnych granulatów do prowadzenia krakingu poliolefin były ich właściwości katalityczne, których miarę stanowiła temperatura rozkładu, ilość uzyskanej cieczy i czas trwania reakcji. Ponadto dla każdego granulatu ustalono ciężar nasypowy i wilgotność.

Badania właściwości katalitycznych prowadzono w reaktorze laboratoryjnym, umożliwiającym umieszczenie w zbiorniku reaktora 200 g katalizatora i ciągłe dozowanie do zbiornika za pomocą ślimaka mieszaniny polietylenu i propylenu. Budowę tego reaktora przedstawia rycina 2.



W górnej części reaktora znajduje się zasypnik, z którego, za pomocą pionowego ślimaka, dostarczane jest tworzywo do zbiornika z katalizatorem ceramicznym. Szybkość podawania tworzywa do zbiornika regulowana jest motoreduktorem. W górnej części zbiornika wyprowadzony jest króciec, do którego przymocowana została chłodnica powietrzna umożliwiająca skraplanie produktów rozkładu

poliolefin. Na końcu chłodnicy, w jej części zimnej, umieszczony jest kranik pozwalający na badanie intensywności emisji gazowych produktów rozkładu. W dolnej części ślimaka przymocowane jest mieszadło do wprowadzania w ruch katalizatora podczas depolimeryzacji. Zarówno zbiornik, jak i dozownik ślimakowy osłonięte są elektrycznymi płaszczami grzejnymi. Termopary umieszczone w dolnej części ślimaka i w zbiorniku reaktora pozwalają na śledzenie temperatury tworzyw wchodzących do zbiornika i temperatury panującej w zbiorniku.

Właściwości katalityczne poszczególnych materiałów badano poprzez umieszczenie w zbiorniku, wraz z katalizatorem, 400 g mieszaniny polietylenu i poli-propyleny oraz podgrzewanie. Za właściwą dla danego katalizatora temperaturę prowadzenia procesu uznano temperaturę, w której zaobserwowano najbardziej intensywne wydzielanie się cieczy. W celu odniesienia właściwości katalitycznych poszczególnych materiałów do wzorca w analogiczny sposób wykonano badania z użyciem katalizatora kordierytowego. Badanie wilgotności i ciężaru nasypowego granulatu wykonano zgodnie z wewnątrz opracowanymi instrukcjami kontrolnymi – „Kontrola wilgotności wyrobu” oraz „Kontrola właściwości granulatu”. Właściwości fizykochemiczne poszczególnych katalizatorów przedstawia tabela 4.

T a b e l a 4

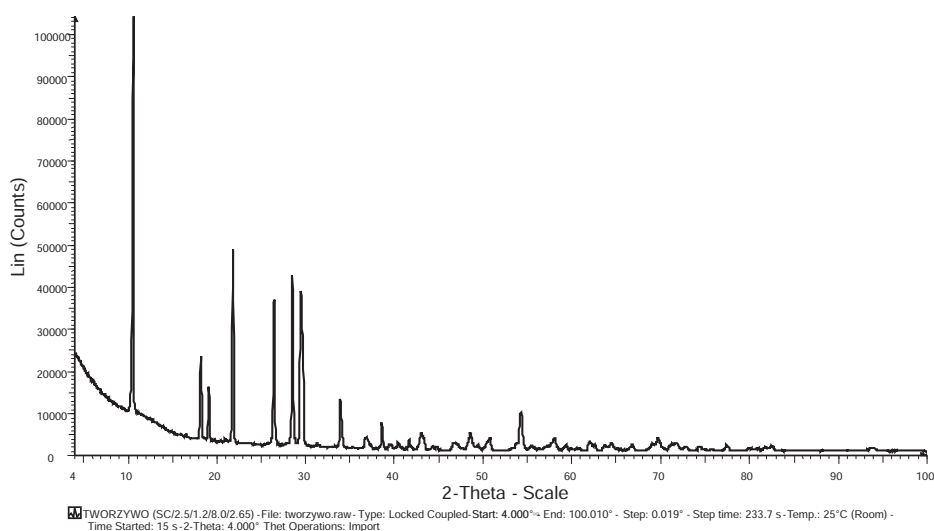
Zestawienie właściwości fizykochemicznych badanych katalizatorów

Rodzaj materiału	Ciężar nasypowy [g/cm ³]	Wilgotność [%]	Ilość cieczy [g]	Temperatura rozkładu [°C]	Czas trwania reakcji [min]
K ₀	0,72	0,16	264	517	52
K ₁	0,83	0,18	82	535	22
K ₂	0,82	0,16	97	527	35
K ₃	0,80	0,19	179	513	52
K ₄	0,81	0,23	181	506	64
K ₅	0,76	0,20	293	474	78

Ź r ó d ł o: Badania własne.

Jak wynika z tabeli 4, wszystkie katalizatory miały zbliżony ciężar nasypowy, co świadczy o ich zbliżonej granulometrii, i podobne wilgotności, jednak tylko katalizator K₅ osiągnął właściwości katalityczne zbliżone do założonych i wykazywał aktywność katalityczną w najniższej temperaturze, niższej niż katalizator wzorcowy K₀. Po ostudzeniu katalizator ten jako jedyny miał strukturę czarnego, sypkiego granulatu. Pozostałe materiały przedstawiały sklejoną masę o zróżnicowanym stopniu kruchości, co świadczy o ich niskich właściwościach katalitycznych. Podany w tabeli 4 czas trwania reakcji określa liczbę minut od momentu pokazania się płynu do osiągnięcia przez układ temperatury 550°C. Rzeczywisty czas trwania reakcji dla katalizatora K₅ wynosił 37 minut, gdyż po osiągnięciu temperatury 512°C proces rozkładu uległ zakończeniu.

Dodatkowo przeprowadzono badania porównawcze żywotności opracowanego na bazie odpadów katalizatora ze wzorcem. Polegały one na prowadzeniu depolimeryzacji w systemie ciągłym, gdzie na katalizator podgrzany do ustalonej temperatury rozkładu dostarczane były tworzywa za pomocą podajnika ślimakowego. Badania te prowadzone były w opisanym wcześniej reaktorze, a podawane na katalizator tworzywa podgrzane były do temperatury 300°C. Po poddaniu depolimeryzacji 3 kg mieszaniny tworzyw uzyskano wydajności rozkładu do frakcji ciekłej dla katalizatora wzorcowego – 65%, a dla katalizatora K₅ – 71%. Po zważeniu katalizatorów po zakończonym procesie depolimeryzacji stwierdzono zbliżony przyrost masy katalizatora wzorcowego i K₅ (odpowiednio 3 i 2,9%). Przyrost masy związany jest z osadzaniem się sadzy (koks) na powierzchni katalizatora, a przez to ze zmniejszaniem jego żywotności. W celu określenia faz krystalicznych w nowym katalizatorze przeprowadzono jego analizę rentgenowską, którą przedstawia rycina 3. Jak widać na wykresie, dominującą fazę stanowi kordieryt.



Źródło: Badania własne.

Ryc. 3. Dyfraktogram katalizatora K₅

7. Wnioski

1. Z przeprowadzonych badań wynika, że odpady powstające w zakładach utylizacji odpadów komunalnych w postaci żużla po wzbogaceniu składu o tlenek glinu mogą być wykorzystane do wytworzenia katalizatora, który przerabia odpady poliolefinowe w postaci ciekłych węglowodorów, wykorzystanych jako olej opałowy, lub umożliwiających ich dalszą przeróbką do benzyn, olejów i parafin w rafinerach ropy naftowej.

2. Przedstawiony sposób przeprowadzenia badań właściwości katalitycznych i fizycznych materiału uzyskanego z żużla umożliwił wytypowanie katalizatora o najlepszych właściwościach fizykochemicznych, zbliżonych do wzorca.
3. Przeprowadzone badania żywotności katalizatora w warunkach umożliwiających ciągłe dozowanie tworzyw do depolimeryzacji potwierdziły, że wytworzony katalizator przewyższa katalizator wzorcowy, na co niewątpliwie wpływ miały istniejące w żużlu dodatki metali ziem rzadkich.

Literatura

- [1] Megiel E., *Recykling surowcowy odpadowego PET*, „Materiały Międzywydziałowego Studium Ochrony Środowiska Uniwersytetu Warszawskiego” Warszawa 2005.
- [2] Kozłowski E., Krop E., Czachowska-Kozłowska D., Wiatowski M., *Procesy rozkładu zużytych tworzyw sztucznych*, „Przemysł Chemiczny”, Warszawa 2005, nr 12.
- [3] Sokołowski J., Marczewski M., Rokicki G., *Recykling termiczno-katalityczny poliolefin i polistyrenu*, „Prace Badawcze Politechniki Warszawskiej” 2005.
- [4] Fabiś G., Sarbak Z., *Katalizatory hydrokrakingu*, „Przemysł Chemiczny” 2004, nr 8.
- [5] Pilawski M., *Wykorzystanie surowców wtórnych i odpadowych oraz paliw alternatywnych w technologicznym procesie recyklingu molekularnego odpadów*, [w:] *IV Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Energia i środowisko w materiałach budowlanych, ceramicznych, szklarskich i ogniotrwałych”*, Karpacz 2008, s. 377–388.
- [6] Łukasik W., *Sprawozdanie z realizacji projektu badawczego rozwojowego pt.: „Opracowanie unikatowego katalizatora do depolimeryzacji tworzyw sztucznych”*, „Prace Badawcze Instytutu”, projekt R 0803001, Warszawa 2008, s. 39.

TADEUSZ JAKUBIUK
ANDRZEJ ŁOSIEWICZ
PIOTR TAŻBIERSKI

UTILIZATION OF COMMUNAL WASTE FOR CERAMIC CATALYST PRODUCTION

Keywords: municipal waste, recycling, thermal catalyst, ceramic catalys.

Article presents research conducted in Institute of Ceramics and Building Materials concerning waste utilization produced in Warsaw Solid Communal Waste Utilisation Plant to make thermal cracking waste catalyst from plastics to liquid products in ambient temperature. The procedure methods of making and testing catalytic properties of obtained ceramic material has been described. The physical-chemical and catalytic properties of ceramic material have been compared with cordierite catalytic made in Institute for Altric company and with success used in industrial machines for catalytic decomposition polythene and polypropylene waste.