



Zenon Tartakowski*, Janusz Michalski*

RECYKLING UŻYTKOWY ELEKTROIZOLACYJNYCH POLIMERÓW TERMOPLASTYCZNYCH

Streszczenie: Spośród ogólnej masy odpadów elektrotechnicznych niebagatelną ilość stanowią tworzywa sztuczne a wśród nich — polimery termoplastyczne. W większości są to odpady zużytych, jak i uszkodzonych w trakcie eksploatacji kabli energetycznych izolowanych polietylenem, jak również polichlorkiem winylu oraz różnego rodzaju osprzęt. Konieczność ich wymiany powoduje poszukiwanie korzystnych metod zagospodarowania powstających odpadów. Stosowany dotychczas recykling podstawowy, sprowadza się do odzysku wyłącznie metalu (miedź, aluminium) natomiast materiały polimerowe podlegają procesowi niekontrolowanego spalania, co jest szczególnie szkodliwe dla środowiska. W ramach prac nad recyklingiem termoplastycznych tworzyw sztucznych przeprowadzono badania kompozycji polimerowych wykonanych z recyklatów odpadów elektroizolacyjnych. Określono właściwości mechaniczne i elektryczne kompozytów oraz określono kierunki ich zastosowań.

Słowa kluczowe: recykling materiałowy, kompozycje polimerowe, recyklaty, odpady materiałów elektroizolacyjnych, PVC, PE, PA

1. Wstęp

Do najbardziej dynamicznie rozwijanych materiałów konstrukcyjnych należą polimery a szczególnie termoplastyczne tworzywa sztuczne. Jest to podyktowane szeregiem korzystnych ich właściwości mechanicznych, elektrycznych, termicznych oraz przetwórczych. Duże znaczenie odgrywają względy ekonomiczne oraz coraz częściej ekologiczne. Rozwój nowych rodzajów polimerów spowodował, że w miejsce dotychczas stosowanych materiałów wprowadza się nowe o korzystniejszych właściwościach

* Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki, Al. Piastów 17, 70-310 Szczecin

i mniejszym zagrożeniu dla środowiska. Szczególnie jest to widoczne w przypadku stosowanych tworzyw termoutwardzalnych, chemoutwardzalnych oraz laminatów. Również tworzywa termoplastyczne takie, jak PVC i jego pochodne stopniowo zamieniane są poliolefinami, poliamidami oraz innymi kompozycjami polimerowymi.

Jak wynika z danych literaturowych przemysł elektrotechniczny i elektroniczny zużywa około 12% produkowanych tworzyw przy czym w tej grupie 60% to tworzywa termoplastyczne, 12% laminaty, 20% termoutwardzalne i 8% pozostałe polimery [1, 2]. Istotnym problemem wzrastającego zapotrzebowania na nowe materiały jest konieczność zagospodarowania powstających odpadów materiałów zużytych. W przypadku wyrobów wykonanych z materiałów jednorodnych problem recyklingu jest rozwiązany [3]. Inaczej wygląda sytuacja w przypadku wyrobów składających się z szeregu różnych materiałów o odmiennych właściwościach przetwórczych, mechanicznych, termicznych itp. Przykładem są np. kable energetyczne, których budowa uniemożliwia dokonanie recyklingu materiałowego (przewody metalowe w powłoce PE oplocie bawełnianym a całość powleczona gumą lub/i PVC).

W stosowanych dotychczas metodach recyklingu kabli energetycznych zwracano uwagę niemal wyłącznie na odzysk metalu. Sposób zdejmowania izolacji nie zapewniał możliwości jej rozdziału na poszczególne grupy materiałowe. Zastosowanie metod filtracji i rozdziału materiału polimerowego znacznie podniosłoby koszty uzyskanego recyklatu polimerowego a właściwości uzyskanego recyklatu mogłyby być różne. Stąd też podjęto badania właściwości recyklatu, będącego mieszaniną różnych tworzyw oraz innych materiałów, wchodzących w skład izolacji kabli energetycznych. Wcześniejsze prace nad kompozycjami wieloskładnikowymi oraz wysokonapełnionymi pozwoliły na uzyskanie doświadczeń w zakresie prowadzonych badań [4, 5].

W pracy przedstawiono badania kompozycji polimerowych wykonanych z recyklatów odpadów materiałów elektroizolacyjnych kabli energetycznych.

2. Materiał badawczy

Odpady izolacji z kabli energetycznych poddano procesowi rozdrabniania przy użyciu młynów nożowych. Uzyskano recyklat którego cząstki posiadały kształt nieregularny o wielkości do 6 mm. Ponieważ odpady izolacji nie były segregowane pod względem zastosowanego materiału w wyniku rozdrobnienia nastąpiło wymieszanie cząstek materiałów zaś w efekcie zachodzących procesów cieplnych w młynie nożowym cząstki dodatkowo uległy połączeniu. Otrzymany recyklat poddano procesowi modyfikacji fizycznej i wykonano kompozycje

- zawierające do 80% recyklatu PE,
- wysokonapełnione wypełniaczem popiołowym w ilości do 30%,
- zawierające do 20% recyklatu PA/PE.

Podstawowy materiał badawczy — recyklat kablowy oznaczono symbolem PVC/PE oraz określono

- gęstością $0,955 \text{ g/cm}^3$,
- wskaźnikiem szybkości płynięcia WSP — $1,79 \text{ g/10 min}$ ($t - 220^\circ\text{C}$, $F - 21,18 \text{ N}$).

Recyklat polietylenowy wykonany z odpadów polietylenowych określono symbolem PE rec oraz

- gęstością $0,915 \text{ g/cm}^3$,
- wskaźnikiem szybkości płynięcia WSP — $1,59 \text{ g/10 min}$ ($t - 220^\circ\text{C}$, $F - 21,18 \text{ N}$).

Wypełniacz popiołowy — popioły lotne — jest odpadem, powstającym ze spalania węgla kamiennego a cząstki popiołów są wyłapywane przez elektrofiltry. Do badań użyto popiołów lotnych pochodzących z elektrociepłowni „POMORZANY” Szczecin, których cząstki posiadały wielkość do $0,064 \text{ mm}$. Właściwości wypełniacza podano we wcześniejszych publikacjach [4].

Recyklat typu PA/PE uzyskano z procesu recyklingu odpadowych folii barierowych stosowanych na opakowania. Odpady folii rozdrabniano i aglomerowano przy użyciu młynów nożowych. Otrzymany recyklat składał się z cząstek o nieregularnym kształcie i wielkości do 6 mm [6, 7]. Kompozycje materiałowe wykonano przy użyciu wylączarki jednoślismakowej posiadającej głowicę homogenizującą. Wytłoczoną poddano granulacji, a uzyskany granulát posłużył do wykonania próbek metodą wtryskową (przetwórstwo na wtryskarce ślimakowej typu MonoMat 80). Próbkę do badań wykonano zgodnie z obowiązującymi polskimi normami PN.

3. Badania

Wykonane kompozycje materiałowe poddano badaniom pozwalającym określić

- właściwości fizyczne (DTA, DSC),
- właściwości przetwórcze (wskaźnik szybkości płynięcia, rozpliw w formie spiralnej),
- mieszalność na urządzeniu BRABENDER,
- właściwości mechaniczne (twardość, wytrzymałość na rozciąganie, ściskanie, udarność),
- właściwości elektryczne (wytrzymałość dielektryczna),
- morfologię przy użyciu mikroskopii optycznej i elektronowej skaningowej.

Badania przeprowadzono zgodnie z obowiązującymi normami przy zachowaniu temperatury 23°C oraz wilgotność otoczenia 55% . Sposób prowadzenia badań oraz wstępnego przygotowania próbek podano w poprzednich opracowaniach [7].

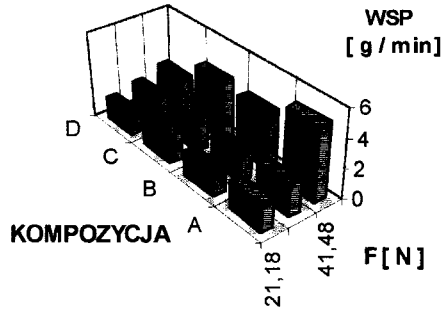
4. Wyniki badań

Uzyskane z badań wyniki opracowano w postaci graficznej.

Badania DSC, DTA potwierdziły skład mieszaniny tj. widoczne są dwa piki należące do dwóch materiałów tj. PE oraz PVC.

Analiza *wskaźnika szybkości płynięcia* dowodzi, że wraz ze wzrostem koncentracji wprowadzonych dodatków — PE rec, popiołów lotnych oraz modyfikatora typu PA/PE następuje jego zmiana (rys. 1). Istotny wpływ ma temperatura oraz obciążenie przy którym prowadzono badania. Badane kompozycje tworzywowe posiadają

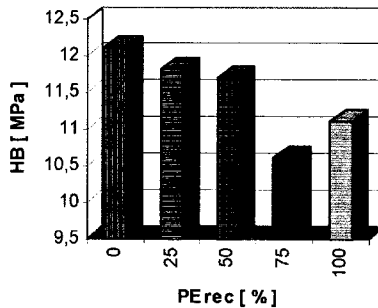
dobrą płynność w formie spiralnej. Również istotnie na rozpliw wpływa temperatura przetwarzania jak i ciśnienie wtrysku. Badania pozwoliły określić korzystne parametry wtrysku badanych kompozycji.



Rys. 1. Wskaźnik szybkości płynięcia WSP kompozycji ($T = 220^{\circ}C$) A - PVC/PE, B - PVC/PE+20% PE, C - PVC/PE+20% PA/PE, D - PVC/PE+20% PL

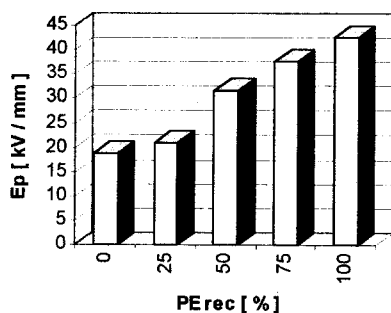
Na podstawie badań mieszalności (BRABENDER) można zauważyć, że wraz ze wzrostem PE rec w kompozycji następuje obniżenie czasu ujednorodniania oraz momentu obrotowego rotorów. Wzrost zawartości wypełniacza popiołowego oraz modyfikatora typu PA/PE powoduje wzrost czasu ujednorodniania. Jednocześnie można zauważyć, że wzrost temperatury powoduje obniżenie czasu ujednorodniania jak i momentu obrotowego.

Właściwości mechaniczne kompozycji ulegają zmianie pod wpływem jej modyfikacji. Modyfikacja przy użyciu PE rec powoduje zmniejszenie wytrzymałości na rozciąganie przy jednoczesnym wzroście odkształcenia oraz spadek twardości kompozycji (rys. 2). Wypełniacze popiołowych daje poprawę właściwości badanych kompozycji. Modyfikacja kompozytu przy użyciu PA/PE powoduje obniżenie odkształcenia, wzrost wytrzymałości na rozciąganie.



Rys. 2. Twardość HB badanych kompozycji typu PVC/PE modyfikowanych PE

Badania właściwości elektrycznych — wytrzymałości dielektrycznej wykazały, że na przebieg zmian ma wpływ:



Rys. 3. Wytrzymałość dielektryczna E_p [kV/mm] kompozycji typu PVC/PE modyfikowanych PE rec.

- zawartość PE rec w kompozycji — następuje wzrost (rys. 3),
- zawartość wypełniacz popiołowego — następuje wzrost,
- zawartość modyfikatora typu PA/PE — następuje wzrost.

Badania morfologiczne wykonanych kompozycji wykazały jej wielofazową strukturę. Rozkład wypełniacza popiołowego w badanych kompozycjach jest prawidłowy, nie widać miejscowych aglomeracji. Analiza przełomów próbek przy użyciu mikroskopii skaningowej wykazała, że pomiędzy poszczególnymi składnikami kompozycji istnieje adhezja mechaniczna, cząstki są wzajemnie przeniknięte co w konsekwencji potwierdza wyniki badań właściwości mechanicznych. Również można zauważyć, że niejednorodna budowa powierzchni zewnętrznej wypełniacza popiołowego pozwala na lepszą do niej adhezję polimeru.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

- celowym jest recykling materiałów izolacyjnych z kabli energetycznych,
- uzyskany materiał mimo swojej wielofazowej budowy posiada szereg korzystnych właściwości,
- modyfikacja kompozytu PVC/PE recyklatem PE pozwala na sterowanie jego właściwościami w kierunku PE,
- poprawę właściwości mechanicznych uzyskuje się w wyniku modyfikacji kompozytu popiołami lotnymi,
- właściwości elektryczne predysponują badane kompozyty na wyroby osprzętu elektrotechnicznego,
- korzystne zmiany właściwości mechanicznych oraz elektrycznych kompozytów pozwolą zastosować je jako materiałn elektroizolacyjne,
- kompozyty można przetwarzać tradycyjnymi metodami stosowanymi dla tworzyw termoplastycznych.

Dla określenia dalszych możliwości zastosowania kompozytu prowadzone są badania właściwości elektrycznych przy zmiennych warunkach pomiarowych tj. temperaturze i wilgotności. Można stwierdzić, że przyjęty kierunek badań jest prawidłowy.

Literatura

- [1] **Schlog M.:** *Recycling von Elektro-und Elektronikschrott.* Vogel-Fachbuch, 1995
- [2] **Brandrup G.:** *Die Wiederverwertung von Kunststoffen.* Wien. HANSER 1995
- [3] **Błędzki A. K.:** *Recykling tworzyw sztucznych.* Politechnika Szczecińska 1994
- [4] **Tartakowski Z.:** *Recyklingowe termoplastyczne tworzywa polipropylenowe jako materiały konstrukcyjne.* Zeszyt naukowy KBM PAN. Współczesne problemy w budowie i eksploatacji maszyn. Szczecin, 1996
- [5] **Tartakowski Z., Michalski J.:** *Elektroizolacyjne recyklingowe materiały kompozytowe.* XII Konferencja Naukowa, „Modyfikacja Polimerów”, Kudowa Zdrój 11–15.09.1995
- [6] **Tartakowski Z., Michalski J.:** *Recyklaty z wielowarstwowych opakowaniowych folii barierowych jako materiały konstrukcyjne.* Eko-Plast, Nr 7, 1995
- [7] **Michalski J., Tartakowski Z.:** *Properties of PA/PE recyclates.* IUPAC MACRO Seoul'96. Korea

USE RECYCLING OF ELECTROINSULATING THERMOPLASTCS POLYMER

Waste of electroinsulating material use in recycling process and and receive new polymer composites. Was investigated this composites, their mechanical and electrical properties. Was defenite trend of next investigation.