

Zenon TARTAKOWSKI¹, Janusz MICHALSKI²

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

WYSOKONAPEŁNIONE KOMPOZYTY Z TWORZYW RECYKLATOWYCH DO ZASTOSOWAŃ NA WYROBY ELEKTROTECHNICZNE

Streszczenie. Wzrasta zapotrzebowanie na materiały polimerowe do zastosowań na wyroby elektrotechniczne. Przedstawiono nową grupę kompozytów z tworzyw recyklatowych, modyfikowanych napełniaczem nieorganicznym. Określono wybrane właściwości elektryczne oraz przetwórcze kompozytów. Stwierdzono, że kompozyty zawierające powyżej 30% napełniacza charakteryzują się wyższą odpornością na łuk elektryczny małej mocy, wytrzymałością elektryczną oraz dobrymi właściwościami przetwórczymi (skurcz po wtryskowy <0,5%). Materiały te można stosować na wyroby o skomplikowanych kształtach.

Abstract. HIGH FILLED COMPOSITES BASED ON RECYCLED POLYMERIC MATERIALS FOR ELECTRICAL PRODUCTS. There is an increasing demand for polymeric materials for use for electrical products. New group of plastic composite based on recycle polymers modified with inorganic fillers is presented. Selected electrical and processing properties of composites were identified. It was found that composites containing more than 30% filler have a higher resistance to low-power electric arc, electric resistance and good processing properties (shrinkage after injection <0.5%). These materials can be used on products with complicated shapes.

Słowa kluczowe: recyklaty, kompozyty wysokonapełnione, polipropylen, popioły lotne

Keywords: recycle materials, high-filled composites, polypropylene, fly ash

Wstęp

Alternatywą dla dotychczas stosowanych na wyroby elektrotechniczne tworzyw termoutwardzalnych są kompozyty z osnową z tworzyw termoplastycznych oraz z napełniaczami nieorganicznymi. Jest to podyktowane względami technologicznymi, ekonomicznymi oraz ekologicznymi. Względami technologicznymi to przede wszystkim produkcja wielkonakładowa wyrobów powtarzalnych o skomplikowanych kształtach i tych samych właściwościach. Ekonomiczność sprowadza się do uzyskania taniego wyrobu przy zastosowaniu odpowiednich technologii przetwarzania oraz przy użyciu na wyrób materiału spełniającego określone właściwości. Coraz częściej jednak o wyborze materiału jak i technologii jego wykonania decydują względy ekologiczne, w tym możliwości późniejszego recyklingu wyrobu jak i urządzenia w którym jest on umieszczony. Obowiązujące dyrektywy UE w zakresie recyklingu wyrobów elektrotechnicznych i elektronicznych (WEEE) oraz użycia materiałów na te wyroby (RoHS) wymuszają przyjęcie określonych sposobów działania zapewniających realizację tych dyrektyw [1,2]. Warunki te spełniają kompozyty z osnową termoplastyczną. Są one tematem prac prowadzonych w wielu ośrodkach naukowych na świecie. W wyniku modyfikacji znanych tworzyw sztucznych uzyskuje się nowe materiały o specjalnych właściwościach. Przy wzrastającym zapotrzebowaniu na materiały konstrukcyjne do zastosowań w elektrotechnice istnieje potrzeba zastąpienia dotychczas stosowanych na wyroby tworzyw pierwotnych kompozytami polimerowymi z udziałem tworzyw

recyklatowych. Wieloletnie badania kompozytów z tworzyw recyklatowych w aspekcie aplikacji ich na wyroby do zastosowań w elektrotechnice dowiodły, że mogą one być stosowane na wyroby pracujące w zakresie niskich i średnich napięć [3-8]. Przedstawione nowe materiały - wysokonapełnione kompozyty polimerowe charakteryzują się dobrymi właściwościami przetwórczymi w tym skurczem poniżej 0,5%, doskonałym odwzorowaniem gniazda formującego, możliwością przetwarzania metodą wtryskową, dobrymi właściwościami termomechanicznymi jak również właściwościami elektrycznymi. Poniżej przedstawiono wybrane właściwości nowych kompozytów.

Kompozyty recyklatowe

W kompozytach polimerowych jako osnowę zastosowano recyklat polipropylenowy, pochodzący z rozdrobnienia opakowań wykonanych metodą wtryskową. Materiał ten o wielkości cząstek do 8mm posiadał kształt nieregularny i charakteryzował się gęstością 0,92 g/cm³ oraz wskaźnikiem płynięcia MFR 3,26 g/10 min (T-220°C; L -31,16 N). Do modyfikacji recyklatu użyto napełniacza (PL) w postaci rozdrobnionych popiołów lotnych o wielkości cząstek do 0,041mm - jest to odpad, pochodzący ze spalania węgla kamiennego w elektrociepłowniach. Cząstki napełniacza popiołowego posiadały kształt nieregularnych płytek. Niejednorodna zewnętrzna oraz wewnętrzna powierzchnia cząstek zapewnia dobrą adhezję napełniacza z osnową polimerową. Skład chemiczny napełniacza jest zbliżony do składu kulek szklanych (SiO₂ do 80%). Istotną właściwością napełniacza jest jego duża odporność na temperaturę oraz fakt, że nie ulega on degradacji w zakresie przetwarzania tworzywa sztucznego.

Z powyższych materiałów wykonano kompozyty zawierające 30 i 50% napełniacza. Wstępnie przygotowane materiały homogenizowano przy użyciu wylłaczarki ślimakowej (WT32 Metalchem Gliwice) a następnie z wylłoczyny wykonano granulaty, który posłużył do wykonania próbek metodą wtryskową (wtryskarka typu Monomat 80, Ponar Żywiec). Wykonano próbki do badań o kształcie płytki (100x100x2 mm, przewężka szczelinowa). Parametry wtrysku dobrano doświadczalnie i wynosiły one 230,220,220,180°C, ciśnienie wtrysku -110 MPa, czas cyklu 20 s, temperatura formy T_f - 40°C.

Metodyka badań

Dla określenia właściwości kompozytów przeprowadzono badania zgodnie z obowiązującymi normami. W przypadku badań nieopisanych w normach zastosowano metodologię opracowaną i przedstawioną w publikacjach autorów. Dotyczy to badań przetwórczych materiałów w tym wypełnienia formy z gniazdem w kształcie spiralnym i wielostopniowym [9] oraz określenia kinetyki działania łuku elektrycznego małej mocy na powierzchnię badanej próbki materiałowej [10]. Zachodzące zmiany na powierzchni materiału (deformacje) badano przy użyciu mikroskopii optycznej.

Wyniki badań

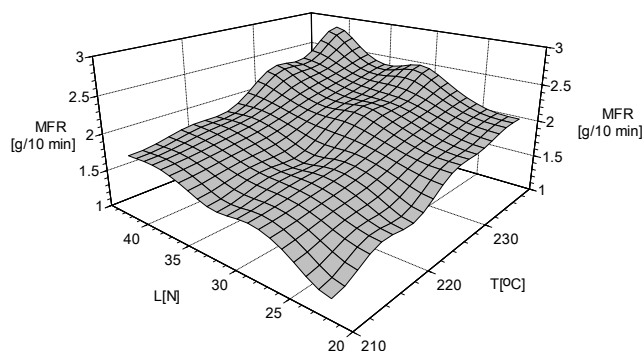
Szczegółowej analizie poddano:

- właściwości przetwórcze kompozytów takie, jak masowy wskaźnik płynięcia MFR, wypełnienie formy spiralnej z gniazdem w kształcie spirali Archimedesesa oraz skurcz po wtryskowy wypraski wielostopniowej
- właściwości elektryczne takie, jak odporność na łuk małej mocy oraz wytrzymałość elektryczna

Przebieg zmian wskaźnika płynięcia MFR kompozytów w zależności od temperatury i obciążenia przedstawia rys.2. Wraz ze wzrostem temperatury uplastycznienia widoczny jest wzrost wskaźnika płynięcia. Ma to istotne znaczenie, gdyż wprowadzony napełniacz

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

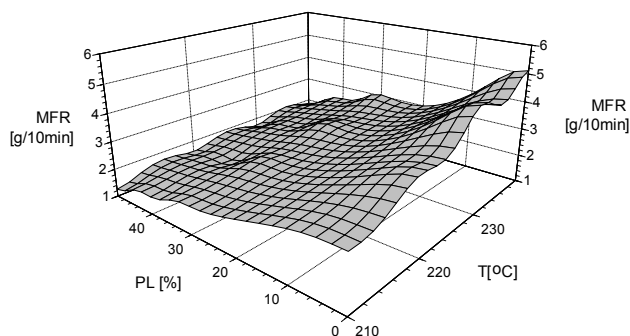
powoduje wzrost lepkości kompozytu, co podczas wtrysku może niekorzystnie wpłynąć na wypełnienie gniazda formującego (niepełne wypełnienie gniazda, większy skurcz materiału).



Rys.2. Kinetyka zmian MFR kompozytu zawierającego 30% napelniacza w zależności od temperatury uplastycznienia T i obciążenia L

Wskaźnik płynięcia MFR uzależniony jest od zawartości napelniacza w kompozycie. Wraz ze wzrostem napelniacza powyżej 30% w zakresie temperatury uplastycznienia 210-240°C następuje spadek MFR w zakresie do 47% w porównaniu z materiałem niemodyfikowanym (rys.3). Powyższe zmiany związane są z lepkością materiału. Stąd też korzystnie jest przetwarzać wysokonapełnione kompozyty w wyższych temperaturach.

Właściwości przetwórcze materiałów określa się poprzez zdolność do wypełnienia gniazda formującego. Badania przy użyciu formy z gniazdem w kształcie spirali wykazały, że długość spirali wykonanej z kompozytów uzależniona jest od zawartości napelniacza w materiale. Dla kompozytów zawierających 30% i 50 % napelniacza długość uzyskanej spirali była o 17% mniejsza niż spirali z materiału niemodyfikowanego.

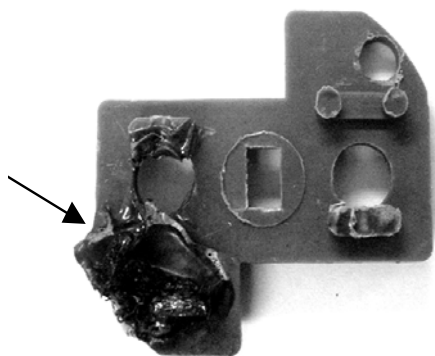


Rys.3. Kinetyka zmian MFR kompozytu w zależności od koncentracji napelniacza PL w kompozycie i temperatury uplastycznienia

Dla wyrobów o skomplikowanych kształtach istotny jest skurcz po wtrysku. Dla większości tworzyw wraz ze wzrostem temperatury przetwarzania można zauważyć

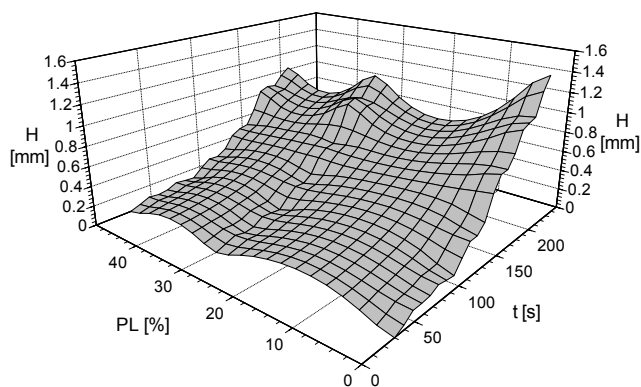
wzrost jego wielkości, dochodzący do 4-5%. W kompozytach modyfikowanych wypełniaczami popiołowymi stwierdzono, że przy wypełnieniach 30% oraz 50% i przy temperaturze przetwarzania 230°C wielkość skurczu wynosi poniżej 0,5%.

Odporność kompozytów na łuk małej mocy określono na podstawie zachodzących zmian badanych materiałów. Zgodnie z przyjętym określeniem odporności materiału na łuk, oznaczono czas do powstania trwałej ścieżki przewodzącej jak również głębokość deformacji H i jej powierzchnię A. Dla konstrukcji wyrobów ma to istotne znaczenie, gdyż pozwala na odpowiednie zamocowanie elementów metalowych w wyrobie, zabezpieczając je przed uszkodzeniem wywołanym skutkami działania łuku elektrycznego. Jak wiadomo, długotrwałe działanie łuku powoduje generowanie ciepła, które wywołuje zmiany właściwości tworzyw sztucznych (uplastycznienie tworzywa, spadek wytrzymałości mechanicznej, wytrzymałości elektrycznej) oraz może doprowadzić do ich degradacji. Skutki działania łuku elektrycznego są nieodwracalne (rys.4).



Rys.4. Skutki działania łuku elektrycznego

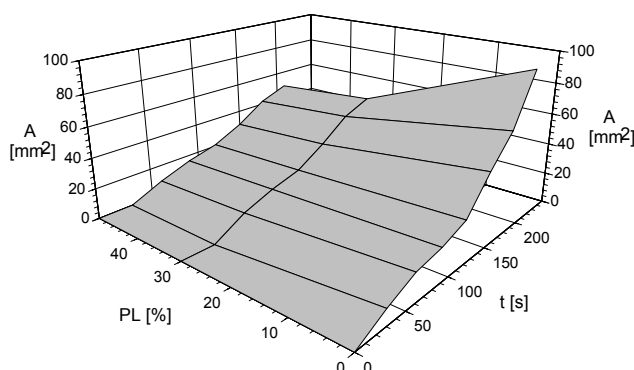
Z badań głębokości H deformacji powierzchni w miejscu działania łuku elektrycznego wynika, że przy tym samym czasie działania łuku, głębokość ta dla wysokonapełnionych kompozytów jest mniejsza w porównaniu z materiałem niemodyfikowanym (rys.5).



Rys.5. Kinetyka zmian H głębokości deformacji powierzchni w miejscu działania łuku w zależności od koncentracji wypełniacza PL i czasu działania łuku t

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

Analiza deformacji powierzchni A (rys.6) przeprowadzona dla kompozytów o zawartości 30 % i 50% napelnacza wykazała, że wraz z czasem działania łuku następuje wzrost deformacji, jednocześnie zauważono, że kinetyka zmian powierzchni deformacji dla tych koncentracji jest podobna. Porównując powierzchnię deformacji kompozytów z materiałem niemodyfikowanym można zauważyć, że po procesie modyfikacji powierzchnia deformacji uległa zmniejszeniu do 40% przy czasie działania łuku 210 s.



Rys.6 .Kinetyka zmian powierzchni deformacji w miejscu działania łuku w zależności od koncentracji napelnacza PL i czasu działania łuku t

Z porównania czasu t do powstania trwałej ścieżki przewodzącej na powierzchni badanej wynika, że dla kompozytów modyfikowanych jest on od 14-19% większy w porównaniu z materiałem niemodyfikowanym.

Z badań wytrzymałości elektrycznej materiałów wynika, że dla kompozytów zawierających 30% PL wytrzymałość E_p wynosi 21,5 kV/mm, dla kompozytu zawierającego 50% PL

20,9 kV/mm zaś dla materiału niemodyfikowanego E_p wynosi 24,7kV/mm. Powyższy spadek wytrzymałości elektrycznej wynika z niejednorodności struktury kompozytu spowodowanej użytym napelniaczem. Pomiedzy cząstkami napelnacza a osnową polimerową istnieją wolne przestrzenie na granicy faz, które mogą ułatwiać przepływ prądu. Powyższe właściwości nie stanowią przeszkody w zastosowaniu wytworzonych kompozytów, gdyż głównym celem było zwiększenie odporności materiałów na działanie łuku elektrycznego .

Wnioski

Przeprowadzone badania nowych wysokonapełnionych kompozytów z tworzyw recyklatowych wykazały, że mogą one być zastosowane na wyroby elektrotechniczne, szczególnie o skomplikowanych kształtach. Ich korzystną cechą w porównaniu z innymi materiałami (np. z tworzyw termoutwardzalnych) są dobre właściwości przetwórcze. Materiały te można przetwarzać metodą wtryskową co znacznie obniża koszty produkcji, zwłaszcza w przypadku produkcji wielkoseryjnej. Jednocześnie ważny jest efekt ekonomiczny - zastosowane materiały do wytworzenia kompozytu to odpady poprodukcyjne jak również ekologiczny - materiały te można poddać procesowi recyklingu.

Literatura

- [1] 2002/96/EC on "Waste of Electric and Electronic Equipment
- [2] Directive 2002/95/EC on Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances"
- [3] Tartakowski Z., Michalski J., Nowe materiały z recyklatów tworzyw termoplastycznych, *Elektrotechnologie w nowoczesnym przemyśle ENP'2001*, 7 Sympozjum Naukowo-Techniczne, Białystok (2001), 147-154
- [4] Michalski J., Tartakowski Z., Recykling użytkowy elektroizolacyjnych polimerów termoplastycznych, *Problemy eksploatacji układów izolacyjnych wysokiego napięcia*, 6 Sympozjum - EU'97, Kraków (1997), 395-400
- [5] Tartakowski Z., Michalski J., Recyklaty tworzyw termoplastycznych z odpadów komunalnych jako materiały elektroizolacyjne, Jakość energii elektrycznej i wyrobów elektrotechnicznych, 4 Konferencja Naukowo-Techniczna JAWE'98, Lublin (1998), 234-239
- [6] Michalski J., Tartakowski Z., Nowe generacje elektroizolacyjnych materiałów osłonowych - Cz. I, *Materiały i technologie w elektrotechnice*, 2 Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna MITEL-2002, Gorzów Wlkp. (2002), 13-18
- [7] Tartakowski Z., Michalski J., Patent RP Nr. 203256
- [8] Tartakowski Z., Michalski J., Patent RP Nr. 203257
- [9] Tartakowski Z., Badania właściwości przetwórczych recyklatów poliolefinowych, *Tworzywa Sztuczne i Chemia*, (2004) nr 2, 46-48
- [10] Tartakowski Z., Pietrzak-Mantiuk A., Resistance of high-content polypropylene / wood composites to low-current arc discharges, *Polymer Testing* 25, (2006), 342-346

Autorzy : dr inż. Zenon Tartakowski, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Instytut Inżynierii Materiałowej, Al. Piastów 17, 71-310 Szczecin,
E-mail: Zenon.Tartakowski@zut.edu.pl
Dr Janusz Michalski, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Katedra Elektrotechnologii i Diagnostyki 71-313 Szczecin, ul. Sikorskiego,
E-mail: [Janusz.Michalski <mijan5@wp.pl>](mailto:Janusz.Michalski@mijan5@wp.pl)