

Józef Koszkuł¹

Politechnika Częstochowska, Katedra Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych i Zarządzania Produkcją, al. Armii Krajowej 19c, 42-200 Częstochowa

Piotr Mazur²

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Katedra Technologii Materiałów i Maszyn, ul. Oczapowskiego 11, 10-736 Olsztyn

KOMPOZYTY Z RECYKLATU POLI(TEREFTALANU ETYLENU) Z KRÓTKIM WŁÓKNEM SZKLANYM

W pracy podjęto temat recyklingu materiałowego PET poprzez stworzenie z recyklatu PET kompozytów z krótkim włóknem szklanym typu E, pokrytego preparacją silanową. Oceniano właściwości mechaniczne kompozytów i porównywano je z analogicznymi właściwościami recyklatu i tworzywa pierwotnego. Dodatek 20% włókna szklanego jest wystarczający, aby właściwości mechaniczne kompozytu były wyższe od analogicznych właściwości recyklatu, natomiast aby kompozyt charakteryzował się wyższymi właściwościami mechanicznymi od tworzywa pierwotnego, dodatek włókna szklanego powinien wynieść nie mniej niż 30%. Wyznaczono doświadczalnie wartości wytrzymałości na rozciąganie i porównano je z analogicznymi wyznaczonymi analitycznie. Okazało się, że występują pewne rozbieżności, co związane jest prawdopodobnie ze stanem osnowy polimerowej. Tworzenie z recyklatów tworzyw wielkocząsteczkowych kompozytów z krótkim włóknem szklanym jest alternatywnym sposobem recyklingu materiałowego polimerów.

Słowa kluczowe: recyklat PET, kompozyty, włókno szklane

COMPOSITES OF RECYCLATE POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) WITH SHORT-GLASS-FIBRES

In work the problem of PET material recycling by creating PET composites with short glass fibre type E covered with silan was undertaken. Mechanical properties of composites were examined and compared with analogical properties of recyclate and original material. The addition of 20 wt.% of glass fibre is sufficient for composite to achieve mechanical properties higher from analogical properties of recyclate, whereas in order that composite possessed mechanical properties higher than original thermoplastic material addition of glass fibre should be not less than 30 wt.%. There were experimentally evaluated values of tensile strengths and compared with analogical properties determined analytically. It was stated that any significant differences occurred likely associated with the state of polymer matrix. Forming composites of recyclate of polymer matrix with short glass fibre is an alternative for material recycling.

Key words: recyclate, composites, glass fibre

WSTĘP

Głównym składnikiem odpadów z tworzyw sztucznych są zużyte produkty z tworzyw termoplastycznych. Wynika to z masowego (i zazwyczaj jednorazowego) ich stosowania w produkcji opakowań, głównego źródła odpadów polimerowych (w USA 45% odpadów tworzyw sztucznych pochodzi z opakowań) [1].

Stosowana do dziś na największą skalę naturalna degradacja odpadów polimerowych na składowiskach jest wprawdzie najprostszą metodą ich likwidacji, lecz najmniej ekonomiczną, a przy tym długotrwałą oraz wymagającą dużych obszarów [1]. Drugą w kolejności, a w Japonii dominującą metodą utylizacji tworzyw polimerowych, jest spalanie (recykling energetyczny), powodujące jednak niekorzystne zwiększenie emisji CO₂ do atmosfery [1, 2].

Ze względu na ochronę środowiska i ograniczenie spalania odpadów tworzyw sztucznych przyszłościową metodą ich utylizacji jest recykling materiałowy umożliwiający odzyskiwanie tworzyw do powtórnego przetwórstwa. Nie tylko względy ekologiczne, lecz i ekonomiczne powodują, że tworzywa regenerowane zyskują coraz większą popularność, a popyt na nie rośnie w tempie 44% rocznie [1].

liwiający odzyskiwanie tworzyw do powtórnego przetwórstwa. Nie tylko względy ekologiczne, lecz i ekonomiczne powodują, że tworzywa regenerowane zyskują coraz większą popularność, a popyt na nie rośnie w tempie 44% rocznie [1].

CEL PRACY

Zadaniem eksperymentu było stworzenie z recyklatu PET nowego tworzywa konstrukcyjnego, poprzez dodanie krótkiego włókna szklanego.

¹ prof. dr hab. inż., ² dr inż.

PRZEBIEG EKSPERYMENTU

W celu uzyskania pełnej charakterystyki PET i kompozytów z recyklatu PET do badań użyto takich materiałów, jak:

- 1) poli(tereftalanu etyleny),
- 2) recyklatu poli(tereftalanu etyleny) wykonanego z butelek po napojach,
- 3) kompozytów z recyklatu PET z włóknem szklanym typu E pokrytym silanem A1100:
 - a) kompozyt zawierający 20% wag. włókna szklanego,
 - b) kompozyt zawierający 30% wag. włókna szklanego,
 - c) kompozyt zawierający 40% wag. włókna szklanego,
 - d) kompozyt zawierający 50% wag. włókna szklanego.

Recyklat wykonano, rozdrabniając, a następnie mieląc butelki w młynku czteronożowym typu TZ, natomiast kompozyty z recyklatu PET z napelniczem otrzymano za pomocą wyciarki jednoślismakowej. Próbkę do badań wykonano metodą wtryskiwania na wtryskarce ślimakowej firmy Krauss-Maifei typ KM65--160 C1, zachowując następujące parametry wyznaczone doświadczalnie:

- temperatura ustnika - 230°C
- temperatura I strefy - 250°C
- temperatura II strefy - 260°C
- temperatura III strefy - 270°C
- ciśnienie wtrysku - 80 MPa
- czas chłodzenia - 10 s
- temperatura formy - 50°C

OMÓWIENIE WYNIKÓW I WNIOSKI

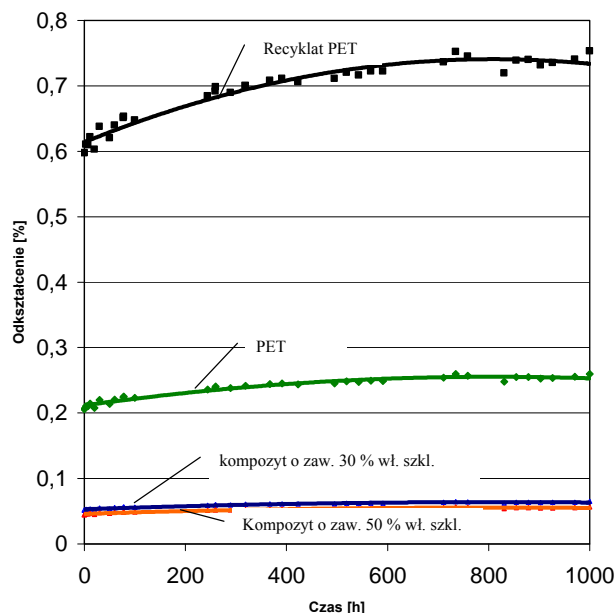
Badania właściwości mechanicznych (tab. 1) przyjętych do eksperymentu materiałów wykazały, że dodatek 30% włókna szklanego w kompozycie jest wystarczający, aby jego właściwości mechaniczne były wyższe niż analogiczne właściwości recyklatu czy tworzywa pierwotnego. Krzywe pełzania wyznaczone w czasie jednoosiowego rozciągania przy stałym nominalnym naprężeniu $\sigma = 4,6$ MPa, czas trwania próby 1000 h, wyniki pomiarów pełzania PET, recyklatu PET i wybranych kompozytów z recyklatu PET z włóknem szklanym przedstawiono na rysunku 1. Przebieg krzywych pełzania świadczy o tym, że recyklat PET charakteryzuje się znacznie mniejszą odpornością na pełzanie niż tworzywo pierwotne. Sposobem poprawienia tej cechy jest tworzenie z recyklatu kompozytu z włóknem szklanym. Kompozyt taki charakteryzuje się dużą odpornością na pełzanie, przewyższając znacznie pod tym względem tworzywo pierwotne. Krzywe pełzania wyznaczone dla kompozytów o zawartości 30 i 50% włókna szklanego mają bardzo zbliżone przebiegi.

Z tego powodu zwiększanie zawartości włókna szklanego w kompozycie powyżej 30% nie wydaje się celowe, ponieważ podraża to produkt finalny, pogarsza właściwości przetwórcze kompozytu, czego nie rekompensuje niewielki wzrost wytrzymałości na pełzanie.

TABELA 1. Twardość, udarność i wytrzymałość na rozciąganie badanych tworzyw [3, 4]

TABLE 1. Hardness, impact and tensile strengths of tested materials [3, 4]

Materiał	Twardość H MPa	Udarowość a_k kJ/m ²	Wytrzymałość na rozciąganie δ , MPa
PET	90	7,7	51,3
Recyklat PET	65	4,9	49,9
Kompozyt o zawartości 20% wł. szkl.	81	4,0	78,2
Kompozyt o zawartości 30% wł. szkl.	96	6,3	102,3
Kompozyt o zawartości 40% wł. szkl.	108	8,2	131,5
Kompozyt o zawartości 50% wł. szkl.	112	9,0	161,4



Rys. 1. Krzywe pełzania wybranych materiałów

Fig. 1. Creep curves of chosen materials

Decydującą rolę w wytrzymałości kompozytu odgrywa:

- ułożenie włókna,
- długość włókna.

W badanych kompozytach włókna (rys. rys. 2 i 3) ułożone są izotropowo w przestrzeni. Z tego powodu przy obliczaniu naprężeń należy korzystać z zależności [5]

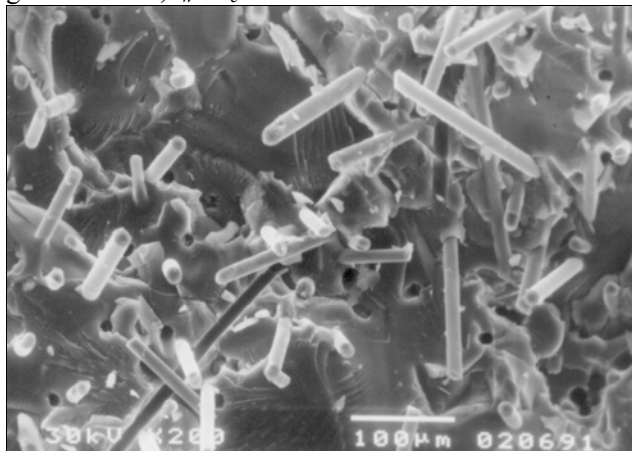
$$\sigma_{komp} = k \left[\frac{V_w \cdot \tau \cdot l_w}{d} + (1 - V_w) \cdot \sigma_m \right] \quad (1)$$

gdzie: $k = 1/6$, $l_w < l_c$

lub dla ułożenia izotropowego w płaszczyźnie

$$\sigma_{komp} = k \left[\sigma_w \cdot V_w \left(1 - \frac{l_c}{2l_w} \right) + (1 - V_w) \cdot \sigma_m \right] \quad (2)$$

gdzie: $k = 1/3$, $l_w \geq l_c$.



Rys. 2. Przykładowy przełam kompozytu o zawartości 30% włókna szklanego

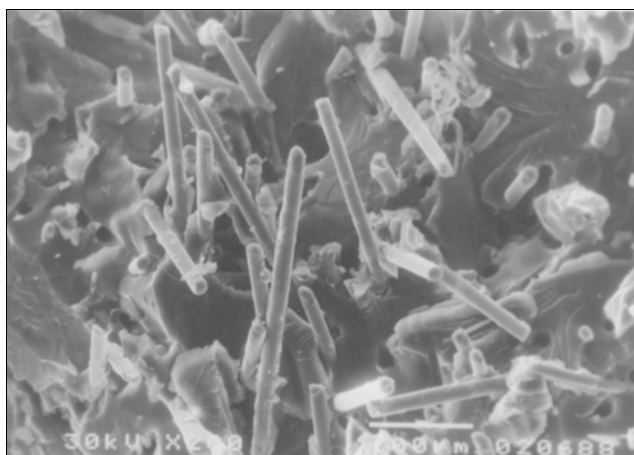
Fig. 2. Fracture of composite containing 30 wt.% of glass fibre

Jednocześnie korzystając z zależności [5] $l_c = 2 \times l_x$, obliczono średnią długość włókna w kompozycie $l_{csr} = 0,26$ mm. Przy wyznaczeniu średniej długości włókna w kompozycie badano po 7 próbek kompozytów o zawartości włókna szklanego od 20 do 50%.

TABELA 2. Podstawowe typy tworzyw wzmocnionych pod względem przestrzennego układu i wymiaru włókien [5]

TABLE 2. The basic types of reinforced with regard to spatial arrangement and dimension of fibre [5]

Charakterystyka tworzywa wzmocnionego	Typ wzmocnienia	Równanie wytrzymałości
	Pasma rovingu	$\sigma_{komp}^* = k \left[\sigma_w^* V_w + (1 - V_w) \sigma_m^* \right]$ $l_w = \infty \quad k = 1$
	Tkaniny	$\sigma_{komp}^* = k \left[\sigma_w^* V_w + (1 - V_w) \sigma_m^* \right]$ $l_w = \infty \quad k = 1/2$
	Maty z włókien ciętych	$\sigma_{komp}^* = k \left[\sigma_w^* V_w \left(1 - \frac{l_c}{2l_w} \right) + (1 - V_w) \sigma_m^* \right]$ $l_w \geq l_c \quad k = 1/3$
	Krótkie włókna np. cięte i mielone	$\sigma_{komp}^* = k \left[\frac{V_w d_w}{d} + (1 - V_w) \sigma_m^* \right]$ $l_w < l_c \quad k = 1/6$



Rys. 3. Przykładowy przełom kompozytu o zawartości 20% włókna szklanego

Fig. 3. Fracture of composite containing 20 wt.% of glass fibre

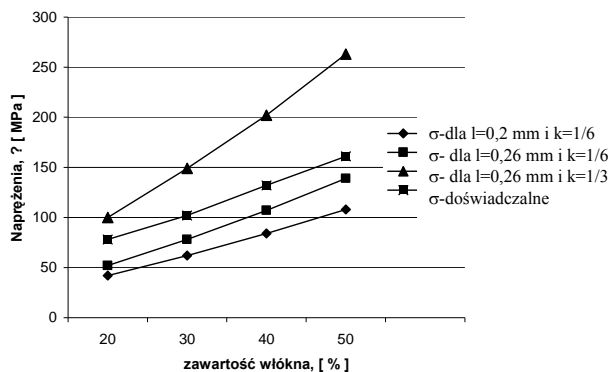
Uwzględniając typowy rozkład długości włókien w tego typu kompozytach, $l_c = 0,2$ mm [5]. W tabeli 3 zestawiono obliczone wartości wytrzymałości dla obu przypadków [5].

TABELA 3. Wartość wytrzymałości zależna od długości włókna w kompozycie

TABLE 3. Values of tensile strength in relation to length of fibre in composite

Zawartość włókna w kompozycie, %	σ , MPa - obliczone dla dt. włókna $l = 0,2$ mm, $k = 1/6$	σ , MPa - obliczone dla dt. włókna $l = 0,26$ mm, $k = 1/6$	σ , MPa - obliczone dla dt. włókna $l = 0,26$ mm, $k = 1/3$	σ_D , MPa - wyznaczone doświadczalnie
20	42	52	100	78
30	62	78	149	102
40	84	107	202	132
50	108	139	263	161

Analizując dane zawarte w tabeli 3 i ich graficzną interpretację (rys. 4), nasuwa się wniosek, że wyniki badań eksperymentalnych odbiegają znacznie od wartości, które uzyskano, korzystając z zależności (1) i (2). Należy zatem w tych zależnościach uwzględnić to, iż materiał osnowy polimerowej jest powtórnie przetwarzany.



Rys. 4. Wpływ długości i ułożenia włókna na naprężenia maksymalne przy rozciąganiu kompozytu z recyklatu PET

Fig. 4. Influence of the length and orientation on maximal stresses during tension of composite made of recyclet PET

LITERATURA

- [1] Czaja K., Poliolefiny a środowisko, Kraj. Konf. Polimery-Środowisko-Recykling, Szczecin-Międzyzdroje 1995, 221-228.
- [2] Polaczek J., Machowska Z., Termiczne metody surowcowego recyklingu odpadów z tworzyw sztucznych, Polimery 1996, 2, 69-74.
- [3] Koszkuł J., Mazur P., Kompozyty z recyklatu PET z włóknem szklanym, Materiały polimerowe i ich przetwórstwo praca zbiorowa pod red. J. Koszkuła, Częstochowa 2000, 98-103.
- [4] Koszkuł J., Mazur P. Problemy recyklingu tworzyw odpadowych z PET, III Konf. Nauk.-Techn., Recykling Tworzyw Sztucznych, Gliwice 2001, 39-52.
- [5] Królikowski W., Polimerowe kompozyty włókniste, WNT, Warszawa 1988.

Recenzent
Tomasz Sterzyński