

Dominik GRZESICZAK, Przemysław POSTAWA
Politechnika Częstochowska, Zakład Przetwórstwa Polimerów, Al. Armii Krajowej 19c, 42-200 Częstochowa
e-mail: postawa@ipp.pcz.pl

Właściwości mechaniczne i termiczne wyprasek po recyklingu odpadów produkcyjnych poduszek powietrznych wykonanych z tworzywa PET

Streszczenie: Artykuł przedstawia badania tworzywa powstałego na drodze recyklingu mechanicznego odpadów produkcyjnych z poduszek powietrznych (airbag), które wykonano z tkaniny z włókien PET powleczonych warstwą silikonu. Powierzchnia maty, z której szyta jest poduszka pokrywana jest warstwą silikonu celem zapewnienia szczelności poduszki podczas jej użycia. Pojawiają się jednak ograniczenia związane z ponownym wykorzystaniem tego typu odpadów wynikające ze złej homogenizacji tworzywa z napelniaczem w postaci silikonu. Jedną z metod dającą możliwości wykorzystania tego materiału jest odzysk energii poprzez ich spalenie, stanowi on jednak ostateczność, ponieważ odzysk energii nie jest formą recyklingu w rozumieniu prawa. Istnieje również możliwość chemicznego rozdzielenia obu materiałów (recykling chemiczny), jednak jest to proces nieefektywny zarówno ekonomicznie jak i ekologicznie (powstaje zbyt dużo odpadów, które trzeba utylizować). Najnowsze trendy związane z zagrożeniem ochrony środowiska, narastającą ilością odpadów oraz coraz uboższymi złożami ropy naftowej - surowca bazowego do wytwarzania polimerów - skłaniają do korzystania z różnych form ponownego wykorzystania powstałych odpadów. Zaproponowana metoda separacji obu materiałów polega na zastosowaniu w układzie uplastyczniającym wytłaczarki szeregu sit filtrujących celem wychwycenia frakcji silikonu. W pracy zastosowano sito główne o rozmiarze „oczka” 100 mikrometrów, a następnie po procesie wytłaczania uzyskano tworzywo w postaci nitek, które poddano chłodzeniu i cięciu na granulatorze. Z otrzymanego granulatu wykonano znormalizowane próbki badawcze typu A1. Jako zmienny parametr w badaniach przyjęto wartość temperatury formy. Zmieniało ją w zakresie od 20 do 100°C stopniowaną co 20°C. Celem wykonanych analiz było określenie właściwości mechanicznych oraz termicznych badanego materiału po recyklingu mechanicznym, w którym wykorzystano nową metodę.

Słowa kluczowe: recykling materiałowy, poduszki powietrzne, motoryzacja

MECHANICAL AND THERMAL PROPERTIES OF INJECTING SAMPLES AFTER RECYCLING OF AIRBAGS MADE OF PET PLASTIC

Abstract: This article explores the study of reprocessing plastics received by mechanical recycling of airbag production waste, which is made of silicone-coated PET fabric. The surface of the mat from which the cushion is stitch is covered with a silicone layer to seal the cushion during use. However, there are restrictions on the reuse of this type of waste resulting from the poor homogenization of the plastic with the silicone filler. One way to use this material is to recover energy by burning it, but it is a last resort, since energy recovery is not a form of recycling within the meaning of law. In this case, the fuel used for this process is airbag waste, which will be lost forever. There is also the possibility of chemical separation of both materials (chemical recycling), but this process is inefficient both economically and ecologically (too much waste to be disposed of). The latest trends in environmental issues, increasing waste and increasingly poorer oil fields - the raw material for the production of polymers - have led to the use of various forms of reuse of waste. The proposed method of separation of both materials consists in the application of a series of filter sieves in the plasticizing system of the extruder to capture the silicone fraction. A 100 micrometer main sieve was used in the publication and after the extrusion process a filamentary material was obtained which was subjected to cooling and cutting on a granulator. From the resulting granulate, standardized A1 type test specimens were prepared. As a variable parameter in the studies, the temperature of the mold was assumed. It was changed in the range of 20 to 100°C graduated every 20°C. The purpose of the analyzes was to determine the mechanical and thermal properties of the tested material after mechanical recycling, using a new method.

Keywords: material recycling, airbags, automotive

1. WPROWADZENIE

Dynamiczny wzrost produkcji tworzyw polimerowych związany jest z wszechstronnością ich zastosowania. Bardzo dobre właściwości użytkowe oraz szeroki wachlarz możliwości modyfikacji przyczyniają się do tego, że konstruktorzy coraz częściej wybierają tworzywa wielkocząsteczkowe. Doprowadziło to do ekspansji polimerów na rynku materiałów kosztem wyparcia z niego stosowanego dotąd materiału jakim jest stal. Rys. 1a) obrazuje przebieg rozwoju obu typu materiałów na przestrzeni 60 lat. Polimery znajdują zastosowanie nie tylko w przedmiotach codziennego użytku takich jak np. opakowania, ale też w elementach mających na celu zapewnienie bezpieczeństwa, gdzie jako przykład należy podać poduszki powietrzne Airbag [1-4].

Rynek zapotrzebowania na tworzywa polimerowe można podzielić na kilka segmentów. Są to następujące branże: opakowaniowa, budowlana, E&E, motoryzacyjna, rolnictwo oraz pozostałe niezakwalifikowane do żadnej z powyższych. Szczegółowe dane przedstawiono na rys. 1b) [5].

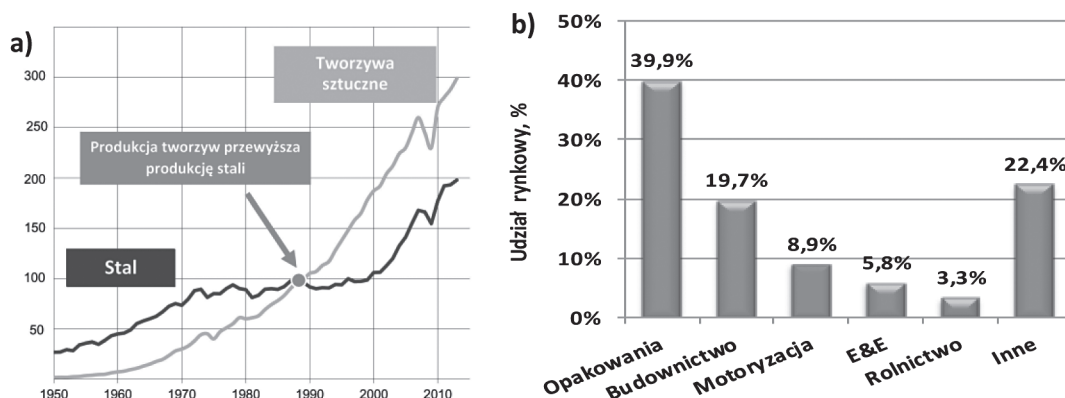
Ekspansja tworzyw wielkocząsteczkowych związana jest również z dwoma negatywnymi aspektami. Pierwszy z nich dotyczy rosnącej liczby odpadów użytkowych, natomiast drugi dotyczy nadmiernego eksploataowania złóż su-

rowca niezbędnego do wytwarzania związków wielkocząsteczkowych jakim jest ropa naftowa. Rozwiązaniem, które umożliwia ograniczenie negatywnych skutków rozwoju branży polimerów jest recykling [6,7].

Istnieją różne formy recyklingu. Sklasyfikować je można jako recykling: materiałowy, chemiczny, energetyczny, produktowy i organiczny. W pracy skupiono się na recyklingu materiałowym, który stanowi jedną z najprostszych form ponownego wykorzystania odpadów. Polega ona na rozdrobnieniu odpadów przy pomocy kruszarek oraz młynków i uformowaniu nowego wyrobu wykorzystując metody przetwórstwa np. technologii wtryskiwania. Inna spotykana nazwa to recykling mechaniczny [8-12].

Pojawiają się jednak utrudnienia dotyczące recyklingu związane z wpływem przechowywanych substancji na dany wyrób np.: pojemniki na chemię gospodarczą lub zbiorniki paliwa w samochodach. Należy również zwrócić uwagę na opakowania wielowarstwowe wykonane z różnych materiałów. Warstwy te spełniają odmienne zadania począwszy od zapewnienia pożądanych właściwości mechanicznych a skończywszy na ochronie zawartości opakowania przed czynnikami środowiska zewnętrznego [13-14].

Problemy związane z recyklingiem są zauważalne we wszystkich branżach, lecz największe zgłasza branża samochodowa, gdzie elementy



Rys. 1. a) Światowy wzrost produkcji polimerów i stali od roku 1950 i b) zapotrzebowanie na tworzywa według podziału branż [1,5]

Fig. 1. b) World growth of production of polymers and steel since 1950 and b) d Demand for plastics according to industry division [1,5]

pierwotnie wykonywane z metali zastąpiono podzespołami wytworzonymi z materiałów polimerowych. Za przykład można podać podzespoły pracujące w dużej temperaturze i transportujące płyny eksploatacyjne, elementy układu paliwowego – zbiornik, poduszki powietrzne – airbag [15].

2. MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Do badań wykorzystano regranulat PET uzyskany z rozdrobnionych a następnie wytłoczonych i pociętych nitek z odpadów produkcyjnych poduszek powietrznych. Ich warstwa zewnętrzna pokrywana jest sylikonem celem zapewnienia szczelności. Zawartość sylikonu w odpadowej tkaninie waha się pomiędzy 8 a 10% udziału wagowego. Ponieważ oba materiały nie ulegają homogenizacji podjęto próbę odseparowania frakcji sylikonu od politereftalanu etylenu. Rozdrobnione tworzywo do postaci płatków poddano filtracji na etapie produkcji przy użyciu zestawu sit 500-100-300 umieszczonych w układzie uplastyczniającym wytłaczarki celem wychwycenia frakcji silikonu. Wprowadzone oznaczenie dotyczy średnicy „oczka” sita podanej w μm . Główne sito ma średnicę „oczka filtrującego” 100 μm , natomiast pozostałe spełniają rolę podporową. Próby technologiczne zostały przeprowadzone na pilotażowej linii technologicznej w firmie Granulat-Bis, natomiast badania wykonano w Zakładzie Przetwórstwa Polimerów Po-

litechniki Częstochowskiej. Pierwszym etapem było suszenie tworzywa w temperaturze 140°C w czasie 6h. Następnie wykonano znormalizowane kształtki do badań metodą wtryskiwania przy użyciu maszyny Krauss-Maffei KM65-160 C4, wykorzystując następujące parametry przetwórstwa:

- ciśnienie wtrysku: 100MPa,
- prędkość wtrysku: 70mm/s,
- ciśnienie docisku: 50MPa,
- czas wtrysku: 0,44s,
- czas docisku: 11s,
- czas chłodzenia: 25s,

Wartości temperatury na poszczególnych strefach układu uplastyczniającego wynosiły odpowiednio: 225, 235, 245, 260°C. Jako zmienny parametr przyjęto temperaturę formy T_f , którą zmieniano w zakresie 20÷100°C co 20°C. Tak otrzymane próbki poddano analizie różnicowej kalorymetrii skaningowej DSC, statycznej próbie rozciągania, udarności oraz twardości Shore’a typu D i twardości metodą wciskania kulki H.

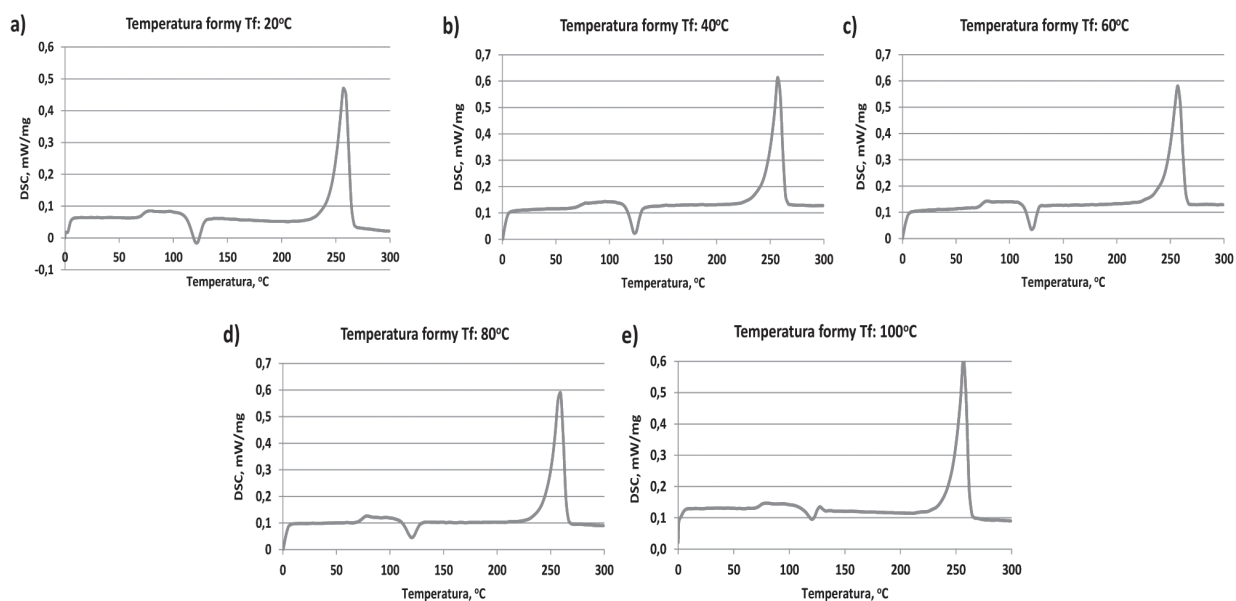
3. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Badanie różnicowej kalorymetrii skaningowej DSC przeprowadzono przy użyciu urządzenia Netzsch Polyma 214 w zakresie temperatury 0÷300°C i szybkości nagrzewania 10K/min. Na rysunku 2 przedstawiono krzywe termograficzne uzyskane na podstawie badania. Charakterystyczne wielkości otrzymane podczas analizy zaprezentowano w tabeli 1.

Tab. 1. Wyniki badań DSC

Tab. 1. Results of DSC analysis

| Topnienie | | | | | Zimna krystalizacja | | |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------|
| Temperatura formy, °C | Entalpia topnienia, J/g | Temperatura topnienia, °C | Zakres topnienia, °C | Temperatura zeszklenia, T_g °C | Entalpia krystalizacji, J/g | Temperatura krystalizacji, °C | Zakres kryst., °C |
| 20 | 37,72 | 258,3 | 246,3÷263,1 | 74,2 | -5,597 | 121,3 | 115,2÷125,0 |
| 40 | 38,28 | 258,1 | 253,1÷261,0 | 74,7 | -6,147 | 123,2 | 116,2÷126,9 |
| 60 | 37,75 | 257,2 | 246,5÷262,5 | 73,1 | -5,756 | 120,5 | 115,0÷125,2 |
| 80 | 39,58 | 258,8 | 251,7÷263,0 | 73,8 | -4,325 | 119,9 | 112,9÷126,1 |
| 100 | 35,09 | 237,6 | 246,3÷262,8 | 75,3 | -2,218 | 120,1 | 111,1÷124,4 |

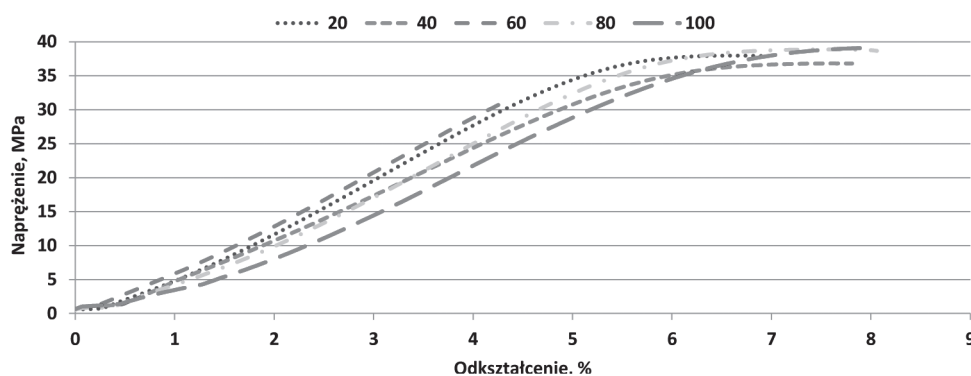


Rys. 2. Termogramy próbek serii 500-100-300 uzyskanych w temperaturze formy: a) 20°C, b) 40°C, b) 60°C, b) 80°C, 100°C

Fig. 2. Thermograms of samples series obtained in temperature of mold: a) 20°C, b) 40°C, b) 60°C, b) 80°C, 100°C

Na podstawie przeprowadzonego badania różnicowej kalometrii skaningowej zauważyć można charakterystyczne wielkości specyficzne dla tworzywa PET uzyskane przy zadanych parametrach pomiaru. Są to przejście szkliste występujące w zakresie wartości temperatury 70÷80°C, zakres temperatury przebiegu zimnej krystalizacji, której temperatura topnienia maksymalnego refleksu oscyluje przy wartości 120°C oraz zakres topnienia fazy krystalicznej mieszczący się w przedziale

temperatury 250÷260°C. Największą ilość ciepła potrzebnego do stopienia próbki odnotowano w przypadku serii, gdzie temperatura formy wynosiła 80°C. Wartość jaką otrzymano na podstawie wyznaczonego początku i końca topnienia zakresu fazy krystalicznej wyniosła 39,58J/g. W przypadku serii próbek wykonanych w temperaturze formy 100°C zauważono najmniejszą wartość entalpii topnienia – 35,09J/g. Minimalne różnice zauważono w przypadku pozostałych serii, gdzie war-



Rys. 3. Krzywe rozciągania serii próbek 500-100-300.

Fig. 3. Stretching curves of series of samples 500-100-300

Tab. 2. Wyniki badań statycznej próby rozciągania z odchyleniem standardowym

Tab. 2. Results of static stretching tests with standard deviations

| Temperatura formy, °C | Naprężenie σ_y , MPa | Odchylenie standardowe | Odształcenie ϵ_B , % | Odchylenie standardowe |
|-----------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------|
| 20 | 37,96 | 0,23 | 6,96 | 0,53 |
| 40 | 36,81 | 0,38 | 7,81 | 0,41 |
| 60 | 31,37 | 0,38 | 4,35 | 0,31 |
| 80 | 38,87 | 0,49 | 8,01 | 0,75 |
| 100 | 39,06 | 0,55 | 8,01 | 0,65 |

tości mieszczą się w przedziale 37,7÷38,3J/g. Analizując ilości ciepła oddanego przez próbkę podczas krystalizacji zauważyć można, że zwiększenie temperatury formy wpływa na zmniejszanie się wartości z -6,147 do -2,218J/g. Wyjątkiem jest nieznaczna różnica w wartościach pomiędzy seriami próbek wykonanych w temperaturze formy 20 i 40°C, gdzie można zauważyć tendencję odwrotną.

Badania statycznej próby rozciągania przeprowadzono z wykorzystaniem uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej Hegewald&Peschke Inspekt Desk 20 stosując prędkość rozciągania 20mm/min. Wyniki badań przedstawia rysunek 3, natomiast charakterystyczne wielkości wyznaczone podczas próby przedstawiono w tabeli 2.

Analizując wyniki otrzymanych pomiarów można zauważyć najmniejsze wartości naprężenia σ_y i odształcenia ϵ_B w przypadku serii próbek, których forma była termostatowana w temperaturze 60°C. Ich wartości wyniosły odpowiednio 31,37MPa i 4,35%. Ponadto dostrzec można, że największe wartości naprężenia σ_y otrzymano przy skrajnych wartościach temperatury formy. Największe odształcenie odnotowano dla próbek uzyskanych w temperaturze formy 80 i 100°C oraz nieznacznie od nich niższe w przypadku temperatury formy 40°C

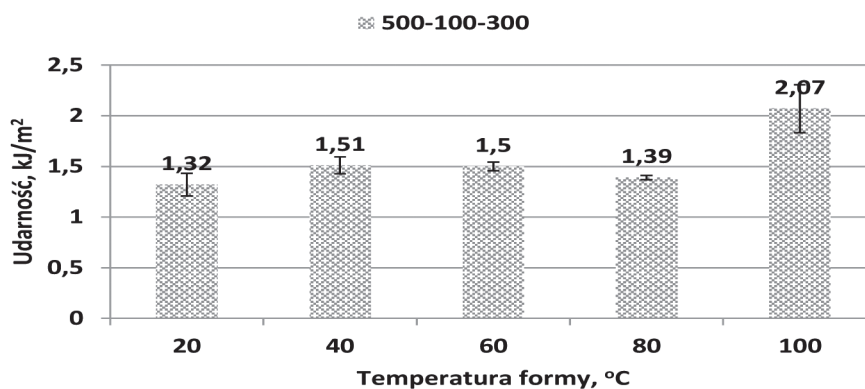
Badanie udarności wykonano przy użyciu Zwick/Roell HIT 5.5 wyposażonego w wahadło generujące energię uderzenia 1J. Po wstępnych próbach we wszystkich kształtkach nacięto karby typu A, aby zapewnić przerwanie

ciągłości próbki w wyniku uderzenia młota. Wyniki udarności zaprezentowano w postaci wykresów umieszczonych na rysunku 4.

Analizując otrzymane wyniki zauważyć można, że największą udarnością charakteryzuje się seria próbek, gdzie temperatura formy wtryskowej wynosiła 100°C. Wartość ta wyniosła około 2,kJ/m². W przypadku pozostałych serii nie widać znaczących różnic otrzymanych wyników. Najniższa wartość udarności została odczytana w przypadku serii próbek, dla których zadana temperatura formy stabilizowana była na poziomie 20°C i wyniosła 1,32 kJ/m².

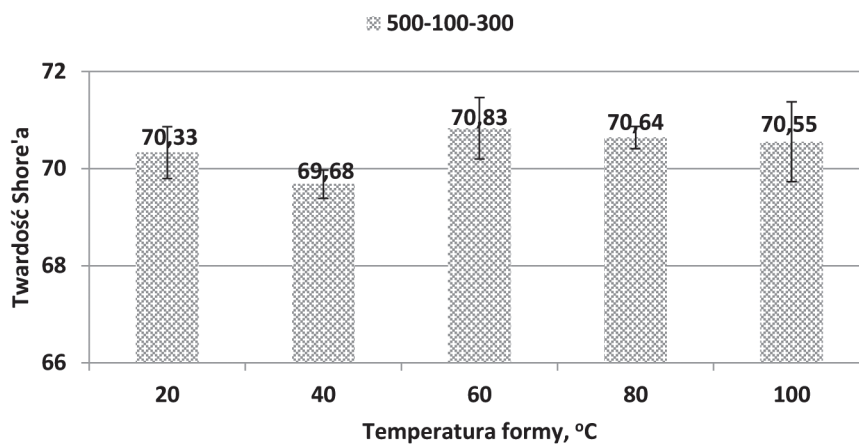
Badania twardości oznaczono metodami Shore'a typu D w oparciu o normę PN-ISO 868:1998 oraz wciskania stalowego wgłębnika o profilu sferycznym zgodnie z normą PN-EN ISO 2039-1. Obciążenie pomiarowe zastosowane podczas badania twardości metodą wciskania stalowej kulki wynosiło 132N. Wyniki w postaci wykresów przedstawiają rysunki 5 i 6.

Poddając analizie wyniki uzyskane podczas pomiaru twardości metodą Shore'a typu D nie dostrzeżono znaczących różnic. Największą twardość można jednak zauważyć dla serii uzyskanej przy temperaturze formy 60°C - wynosi ona 70,83°Sh, natomiast najmniejszą dla serii wytworzonej w temperaturze formy 40°C i wynosi ona 69,68°Sh. Pomijając serię wykonaną przy temperaturze formy 40°C można zauważyć, że różnice występują w dziesiątej części wartości. Badaniom poddano tworzywo PET napełnione pozostałościami silikonu, który nie pozostał na sicie podczas wytłacza-



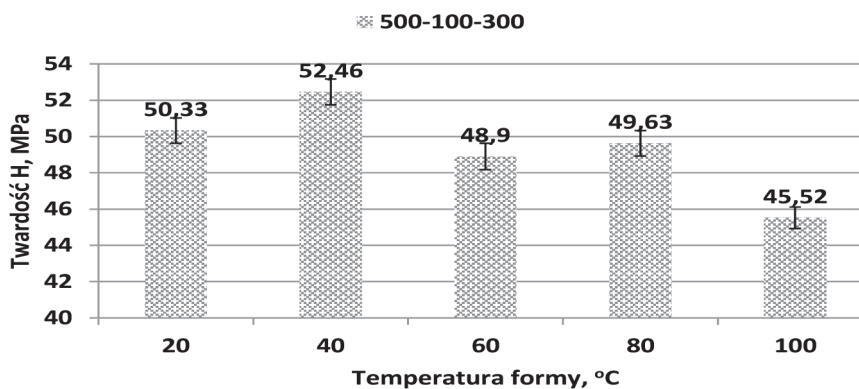
Rys. 4. Wartości udarności

Fig. 4. Results of impact test



Rys. 5. Twardość Shore'a typu D serii próbek 500-100-300

Fig. 5. Hardness of Shore type D samples 500-100-300



Rys. 6. Twardość metodą wciskania stalowej kulki serii próbek 500-100-300

Fig. 6. Hardness of the method of pressing the steel ball of the 500-100-300 sample series

nia. Ponieważ elementem pomiarowym twardościomierza jest igła o bardzo małej średnicy i promieniu zaokrąglenia, nie można jednoznacznie określić, czy badana twardość dotyczy tworzywa PET, czy wtrącen w postaci nieodfiltrowanego sylikonu.

Na podstawie badań twardości wykonanych metodą wciskania kulki H największą wartość uzyskano dla serii próbek wtrysniętych do gniazda formującego w temperaturze formy 40°C, wynoszącą 52,46MPa. Najmniejsza wartość została odnotowana w przypadku serii próbek wykonanych w temperaturze formy 100°C a jej wartość wyniosła 45,52MPa.

4. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań wynika, że wartość zastosowanej temperatury formy ma wpływ na poszczególne parametry wytrzymałościowe i termiczne analizowanych próbek. W przypadku badania DSC jest to najlepiej widoczne dla ilości ciepła oddanego przez ogrzewaną próbkę, tzw. zimnej krystalizacji. Wraz ze wzrostem temperatury formy malała ilość entalpii podczas wspomnianej krystalizacji. Rozpatrując entalpię topnienia nie zauważono znaczących różnic z wyjątkiem skrajnie najwyższej temperatury formy. W tym przypadku wartość ciepła potrzebna do stopienia próbki była najmniejsza i wynosiła 35,09J/g, podczas gdy w poprzednich przypadkach uzyskane wartości mieściły się w przedziale 37,7÷38,3J/g.

W przypadku statycznej próby rozciągania dostrzec można paraboliczny przebieg wartości naprężenia, gdzie największe naprężenia σ_y osiągnięto dla skrajnych ustawień temperatury układu termostatowania. Dla wartości temperatury 20, 60 i 100°C naprężenie σ_y wynosiło odpowiednio 37,96; 31,37 i 39,06MPa. Największe odkształcenie ϵ_B zauważono w seriach, gdzie temperatura formy wynosiła 80 i 100°C i wyniosło 8,01%. W przypadku serii gdzie temperatura formy wynosiła $T_f=40^\circ\text{C}$ spostrzeżono najmniejsze odkształcenie – 4,35%.

Na podstawie badań udarności odnotowano największe wartości (2,07kJ/m²) w przypadku serii, gdzie temperatura formy wtryskowej wynosiła 100°C. Między wartościami w seriach próbek uzyskanych przy temperaturze formy $T_f=40\div 60^\circ\text{C}$ nie zauważono znaczących różnic. Najniższa wartość została odnotowana dla temperatury formy 20°C i wyniosła 1,32kJ/m².

Analizując wyniki pomiarów twardości zauważono niewielkie różnice. Najbardziej widoczne są w przypadku serii próbek wytworzonych w temperaturze formy $T_f=40^\circ\text{C}$ i $T_f=60^\circ\text{C}$ i wynoszą odpowiednio 69,68 i 70,83Sh. Pozostałe wyniki oscylują wokół wartości 70,55Sh. Wyniki badań twardości metodą wciskania kulki nie korelują z wartościami uzyskanymi przy poprzedniej metodzie. Zakres otrzymanych wyników mieści się w przedziale 45,52÷52,46MPa, z czego najmniejsza wartość została odnotowana dla serii, gdzie temperatura formy $T_f=100^\circ\text{C}$ a największa dla temperatury formy $T_f=40^\circ\text{C}$. Pozostałe wartości wyniosły odpowiednio 50,33MPa w przypadku temperatury formy $T_f=20^\circ\text{C}$ i 48,9MPa dla temperatury formy $T_f=60^\circ\text{C}$. W przypadku, gdy forma wtryskowa była stabilizowana w temperaturze 80°C twardość wyniosła 49,63MPa.

Powodem różnic może być fakt występowania dwóch różnych faz w badanych próbkach (sylikon i PET) oraz trudność z jednoznacznym określeniem ich zawartości i homogeniczności, w tym celu należy poszerzyć diagnostykę celem lepszego poznania właściwości przetwórczych i użytkowych omawianego materiału.

W publikacji wykorzystano wyniki badań przemysłowych oraz prac rozwojowych uzyskane podczas realizacji projektu pt. „Opracowanie technologii modyfikacji i procesu przetwarzania odpadowych materiałów tekstylnych na bazie politereftalanu etylenu z dodatkiem sylikonu” współfinansowanego w ramach I Osi priorytetowej „Wsparcie prowadzenia prac B+R przez przedsiębiorstwa”, Działanie 1.1. „Projekty B+R przedsiębiorstw”, Poddziałanie 1.1.1. „Badania przemysłowe i prace realizowane przez przedsiębiorstwa” w roku 2015 w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020.

BIBLIOGRAFIA

1. Borowski K.: *Przemysł tworzyw sztucznych – materiałów XXI wieku*. Mechanik, 2015, nr 4, s. 278-282.
2. Gnatowski A.: *Wpływ rodzaju napelnacza na właściwości wybranych mieszanin*, Composites, 2005, nr 2, s. 63-68.
3. Jurkowska B., Jurkowski B.: *Sporządzanie kompozycji polimerowych*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 1995.
4. Czerniawski B.: *Analiza krajowego rynku opakowań z tworzyw sztucznych*. Polimery, 2007, nr 11-12, s. 811-819.
5. Tworzywa sztuczne – Fakty 2016: *Analiza produkcji, zapotrzebowania oraz odzysku tworzyw sztucznych w Europie*. <http://www.plasticseurope.pl/Document/tworzywa---fakty-2016.aspx?FolID=2>, (dostęp 7.06.2017)
6. Żenkiewicz M., Żuk T., Królikowski K.: *Metody sortowania odpadów tworzyw polimerowych*. Polimery, 2012, nr 6 (150), s. 692-698
7. Pińkowska H.: *Zielona chemia polimerów*. Polimery, 2006, nr 11-12, s.836-842
8. Wasilewski R., Piechaczek M.: *Kierunki zagospodarowania odpadów tworzyw sztucznych w krajach Unii Europejskiej*. Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, 2009, vol.11, nr 3, s. 01-12
9. Tomaszewska E., Szczepański Z., Macko M., Tyszczyk K.: *Wykorzystanie odpadów z tworzyw sztucznych do otrzymywania nanokompozytów*. Inżynieria Ekologiczna, 2016, vol. 46 s. 149-153.
10. Migdał A. R., Kijeński J., Kawalec A., Kędziora A., Rejewski P., Śmigiera E.: *Odzysk energetyczny materiałów odpadowych z tworzyw sztucznych*. Chemik, 2014, vol. 68, nr 12, s. 1056-1073
11. Żakowska H.: *System recyklingu odpadów opakowaniowych – wybrane problem prawno-organizacyjne i ekonomiczne w Polsce*. Polimery, 2012, nr 9, s.611-694
12. Chamier-Gliszczyński, N.: *Środowiskowe aspekty transportu. Recykling w cyklu życia pojazdów*. Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 2010, nr 5, s. 26-27.
13. Czerniawski B.: *Analiza krajowego rynku opakowań z tworzyw sztucznych*. Polimery, 2007, vol 52, nr 11-12, s. 811-819
14. Grzesiczak D., Postawa P.: *Właściwości materiałów pochodzących z recyklingu pojazdów na przykładzie zbiorników paliwowych z PE-HD poddanych wielokrotnemu przetworstwu*. Przetwórstwo Tworzyw, 2014, nr 4, s. 356-363.
15. Tartakowski Z., Mydlowska K.: *Recykling metalizowanych wyrobów z tworzyw sztucznych*. Autobusy, 2016, nr 8, s. 38-40.

Data wpłynięcia artykułu do redakcji: 21-05-2017

Data akceptacji publikacji do druku: 10-08-2017