

Paulina JAKUBOWSKA, Arkadiusz KLOZIŃSKI

e-mail: paulina.jakubowska@put.poznan.pl

Zakład Polimerów, Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska, Poznań

Właściwości wytrzymałościowe mieszanin polipropylenu z polistyrenem niskiej i wysokiej udarności poddanych recyklingowi materiałowemu

Wstęp

Polistyren to jedno z najstarszych tworzyw sztucznych, wciąż popularne dzięki swoim unikalnym właściwościom, takim jak przezroczystość polistyrenów niskoudarowych (GPPS) i wysoka udarność w przypadku polistyrenów wysokoudarowych (HIPS). Szeroko stosowane wyroby wytwarzane z ww. tworzyw i ich recyklatów, podczas użytkowania poddawane są bardzo często działaniu cyklicznie zmiennych obciążeń, w wyniku których w materiale powstają okresowo zmienne naprężenia i odkształcenia. Długotrwałe obciążanie powoduje obniżenie właściwości wytrzymałościowych materiału i może prowadzić do zniszczenia wyrobu [Bociąga, 2010].

Określenie reakcji materiałów polimerowych na ich długotrwałe obciążanie jest niezwykle istotne ze względu na możliwości zastosowania wyrobów, przede wszystkim wytworzonych z recykulowanych polimerów.

W literaturze przedmiotu znaleźć można wiele doniesień dotyczących recyklingu materiałowego polistyrenu oraz mieszanin polimerowych zawierających polistyren [Czarnecka-Komorowska, 2013; Borysiak, 2013], brak jest natomiast informacji nt. wpływu recyklingu na właściwości zmęczeniowe otrzymanych recyklatów.

Celem niniejszej pracy jest ocena wpływu cyklicznych obciążeń na właściwości wytrzymałościowe mieszanin polimerowych (PP/PS) poddanych pięciokrotnemu przetwórstwu.

Badania doświadczalne

Materiał badawczy

W badaniach zastosowano następujące materiały wejściowe:

- polipropylen HP456J firmy *LyondellBasell*, $MFR_{(230/2,16)} = 3,4 \text{ g}/10 \text{ min}$,
- polistyren niskiej udarności (GPPS) *Empera 124L*, firmy *Brenntag Polska Sp. z o.o.*, $MVR_{(200/5)} = 12 \text{ cm}^3/10 \text{ min}$,
- polistyren wysokiej udarności (HIPS) *Polystyrol 495F*, firmy *BASF*, $MVR_{(200/5)} = 9,5 \text{ cm}^3/10 \text{ min}$.

Metodyka

Mieszaniny polimerów o stosunkach masowych PP/PS (GPPS, HIPS): 100/0; 75/25; 50/50; 25/75; 0/100, zostały wytworzone w technologicznej linii wytłaczania, przy użyciu wytłaczarki jednoślímakowej. Mieszaninę polimerów w postaci granulatu, po wysuszeniu (2 h, 110°C), poddano pięciokrotnemu przetwórstwu. Po każdym cyklu przetwórczym pobierano część materiału polimerowego do przygotowania próbek badawczych w postaci znormalizowanych [PN-EN ISO 527-2,] wiosełek typ 1A, resztę natomiast po procesie suszenia zwracano do leja zsypanego wytłaczarki.

Aparatura badawcza

Próbki do badań wytworzono na drodze wtryskiwania przy użyciu wtryskarki hydraulicznej firmy *Battenfeld* model *Plus 35/75*.

Wytrzymałość zmęczeniową mieszanin polipropylenu/polistyren określono na podstawie prób cyklicznego rozciągania wiosełek, które w następnej kolejności poddano ocenie właściwości wytrzymałościowych w warunkach statycznego rozciągania. Do badań zastosowano uniwersalną maszynę wytrzymałościową firmy *Zwick*, model *Roell Z020* z bezdotykowym ekstensometrem wideo, współpracującą z programem komputerowym *testXpert* rejestrującym wyniki pomiarów.

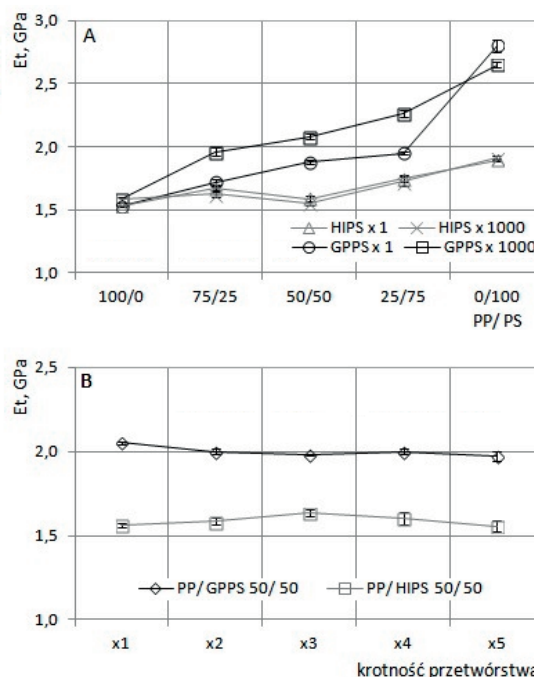
Pomiary

W pierwszej kolejności wszystkie próbki badawcze poddano cyklicznemu rozciąganiu (1, 5, 10, 20, 50, 100, 500 i 1000 cykli) przy założeniu całkowitego odkształcenia granicznego przy punkcie obciążenia $\epsilon = 1\%$ i przy punkcie odciążenia $\epsilon = 0,01\%$. Po przeprowadzonych próbach zmęczeniowych dla wszystkich badanych materiałów określono ich właściwości wytrzymałościowe na drodze prób statycznego rozciągania wg obowiązującej normy [PN-EN ISO 527-1-2]. W obu przeprowadzonych badaniach zastosowano stałą prędkość przesuwu trawersy równą 50 mm/min.

Wszystkie prezentowane w pracy wyniki badań stanowią uśrednione wartości z 5 pomiarów wraz z wartością skorygowanego odchylenia standardowego.

Wyniki badań i dyskusja

Na rys. 1 przedstawiono wykres zależności modułu *Younga* od składu mieszanin PP/PS oraz krotności przetwórstwa. Rysunek ten obrazuje wyniki otrzymane dla mieszanin wejściowych (jednokrotne wytłaczanie) poddanych 1 i 1000 cyklom obciążenie-odciążenie (Rys. 1A) oraz mieszanin o stosunku wagowym 50/50, poddanych 50 cyklom zmęczeniowym (Rys. 1B).



Rys. 1. Moduł sprężystości wzdłużnej w funkcji (A) składu wejściowych mieszanin PP/PS, (B) krotności przetwórstwa (PP/PS 50/50, 50 cykli obciążenie-odciążenie)

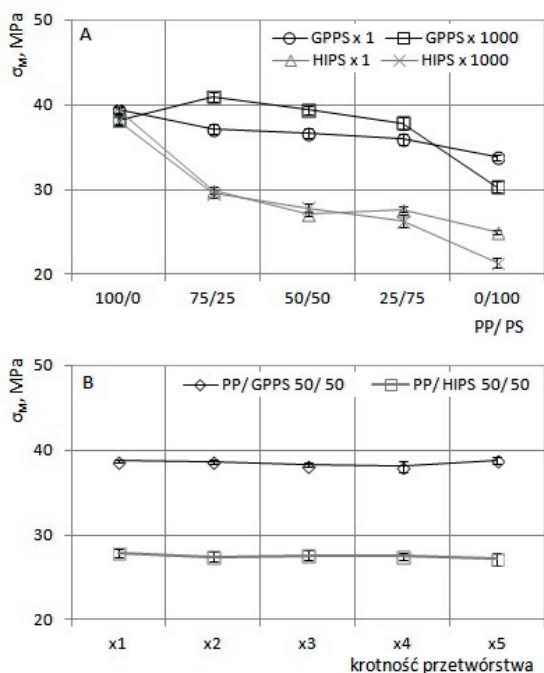
Analizując otrzymane wyniki badań stwierdzono, że moduł sprężystości wzdłużnej wzrasta wraz ze wzrostem zawartości obu rodzajów polistyrenów w mieszaninie z polipropylem (Rys. 1A). Wynika to z faktu wyższych, w stosunku do PP, wartości E_t charakteryzujących oba zastosowane w badaniach PS. Przeprowadzone badania wykazały również, że bardziej wrażliwymi na zmiany wywołane wielokrotnymi obciążeniami cyklicznymi są mieszaniny PP/PS wytworzone z zastosowaniem polistyrenu niskiej udarności. Analizując powyższy rysunek wyraźnie widać, że mieszaniny PP/GPPS poddane 1000 cyklom

zmęceniowym charakteryzują się wyższym modulem sprężystości wzdłużnej (o ok. 14%) w porównaniu z analogicznymi mieszaninami poddanymi tylko 1 cyklowi obciążenie-odciążenie. Otrzymana zależność wskazuje zatem, że w wyniku wielokrotnego obciążenia wyrobów wytworzonych z mieszanin PP/GPPS dochodzi do ich wzmocnienia, co z aplikacyjnego punktu widzenia, stanowi pozytywny wynik. Zmiana modułu Younga w funkcji ilości cykli zmęczeniowych nie zarejestrowano natomiast dla mieszanin zawierających polistyren wysokiej udarności. Odnotowane wartości E_t dla mieszanin PP/HIPS, niezależnie od ilości zastosowanych w badaniach cykli obciążeniowych, mieszczą się we wzajemnych wartościach odchyłań standardowych. Biorąc pod uwagę krotność przetwórstwa (Rys. 1B) zauważono, że pięciokrotny recykling materiałowy nie wpływa na zmianę wartości modułu sprężystości wzdłużnej zarówno mieszanin PS/GPPS, jak i PP/HIPS. Maksymalne zarejestrowane w trakcie badań wahania wartości E_t wynoszą zaledwie $\pm 0,08$ GPa.

Analogiczne prawidłowości odnotowano dla wszystkich badanych mieszanin PP/PS niezależnie od stosunku wagowego poszczególnych komponentów, zastosowanych ilości cykli zmęczeniowych oraz krotności przetwórstwa. Przedstawione wyniki badań jednoznacznie wskazują na zasadność wspólnego recyklingu materiałowego poużytkowanych wyrobów wytworzonych z polipropylenu i polistyrenu. Wprowadzenie już 25% mas. PP do PS znacznie ogranicza efekt degradacji mechaniczno-cieplnej obu zastosowanych w badaniach polistyrenów. Właściwości wytrzymałościowe materiałów wyprodukowanych na bazie recyklatów nie ulegają pogorszeniu w pięciu cyklach przetwórczych, a w trakcie użytkowania (procesy zmęczeniowe) osiągają porównywalne (PP/HIPS) lub wyższe (PP/GPPS) wartości.

Powyższe wnioski potwierdziły się w wartościach maksymalnych naprężeń, wyznaczonych w trakcie procesu rozciągania. Na rys. 2 przedstawiono zależności wytrzymałości mieszanin PP/PS od ich składu oraz krotności przetwórstwa. Wykres ten obrazuje przykładowe wyniki otrzymane dla mieszanin wejściowych poddanych 1 i 1000 cyklom obciążenie-odciążenie (Rys. 2A) oraz mieszanin o stosunku wagowym 50/50, poddanych 50 cyklom zmęczeniowym (Rys. 2B).

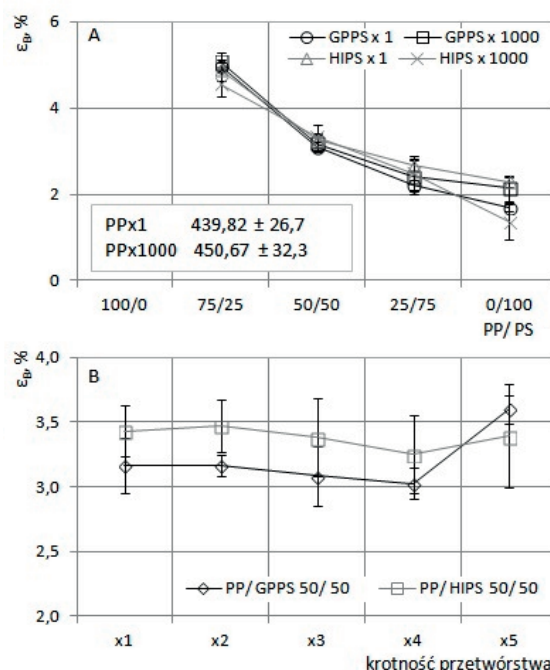
Analizując otrzymane wyniki badań stwierdzono, że naprężenie maksymalne obniża się wraz ze wzrostem zawartości obu rodzajów polistyrenów w mieszaninie z polipropylem (Rys. 2A). Jednocześnie wyższe wartości σ_M charakteryzują mieszaniny zawierające polistyren niskiej udarności, a wielokrotne procesy zmęczeniowe powodują wzmocnienie tych materiałów. Przykładowo, mieszanina PP/GPPS (75/25) po 1 cyklu obciążenie – odciążenie charakteryzuje się maksymalnym napręże-



Rys. 2. Naprężenie maksymalne w funkcji (A) składu wejściowych mieszanin PP/PS, (B) krotności przetwórstwa (PP/PS 50/50, 50 cykli obciążenie-odciążenie)

niem równym $37,15 \pm 0,27$ MPa, natomiast po 1000 cyklach σ_M wynosi $40,91 \pm 0,3$ MPa. Pięciokrotne przetwórstwo nie wpływa na zmianę wytrzymałości zarówno mieszanin PP/GPPS, jak i PP/HIPS (Rys. 2B).

Analiza otrzymanych wyników badań wydłużenia przy zerwaniu (Rys. 3A, B) wykazała, że spośród wszystkich omawianych w ramach niniejszej pracy parametrów wytrzymałościowych, ϵ_B mieszanin PP/PS, jako jedyny, nie zależy od rodzaju zastosowanego polistyrenu. Wydłużenie przy zerwaniu obniża się wraz ze wzrostem zawartości PS w mieszaninie z PP, ale nie zmienia się w funkcji liczby cykli zmęczeniowych. Zarówno dla mieszanin zawierających GPPS, jak i HIPS uzyskuje się wartości mieszczące się we wzajemnych przedziałach odchyłań standardowych. Analogiczną zależność odnotowano także dla wyników badań rozpatrywanych w funkcji krotności przetwórstwa. Stwierdzono bowiem, że pięciokrotne przetwarzanie mieszanin PP/PS, niezależnie od rodzaju zastosowanego polistyrenu, nie wpływa na zmianę wartości ϵ_B gotowego wyrobu. Przykładowo wydłużenie przy zerwaniu mieszaniny PP/GPPS (50/50) jednokrotnie przetworzonej wynosi $3,43 \pm 0,21\%$, a po pięciokrotnym przetwórstwie równe jest $3,39 \pm 0,11\%$.



Rys. 3. Wydłużenie przy zerwaniu w funkcji (A) składu wejściowych mieszanin PP/PS, (B) krotności przetwórstwa (PP/PS 50/50, 50 cykli obciążenie-odciążenie)

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone w ramach niniejszej pracy badania w sposób jednoznaczny wykazały, że pięciokrotne przetwórstwo mieszanin PP/PS jest możliwe i uzasadnione.

Zachowanie się badanych materiałów w trakcie prób zmęczeniowych zależy od stosunku masowego poszczególnych komponentów i stanowi wypadkową charakterystyk wyznaczonych dla materiałów wejściowych.

Pięciokrotne przetwórstwo nie wpływa na zachowanie się mieszanin w przyjętych warunkach obciążeń cyklicznych. Mieszaniny polimerowe wytworzone z regranulatów PP i PS (GPPS, HIPS) charakteryzują się zatem dobrymi właściwościami zmęczeniowymi, dzięki czemu z powodzeniem mogą znaleźć zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu.

LITERATURA

- Bociąga E., Kula M., Werner K., 2010. Charakterystyka odkształceniowa wyprasek wtyskiwanych poddanych cyklicznemu rozciąganiu. *Przetwórstwo Tworzyw*, nr 4, 140-146
- Borysiak S., Pauksza D., 2013. Recykling materiałowy mieszaniny polipropylenu z polistyrenem. *Przetwórstwo Tworzyw*, nr 5, 474-476
- Czarnecka-Komorowska D., 2013. Recykling niskoudarowego polistyrenu (GPPS): struktura, właściwości. *Przetwórstwo Tworzyw*, nr 5, 485-489