

KRYSTYNA KELAR^{*)}, BOLESŁAW JURKOWSKI, KINGA MENCEL

Politechnika Poznańska
Instytut Technologii Materiałów
Zakład Tworzyw Sztucznych
ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań

Wpływ modyfikatorów na palność i właściwości fizyczne poliamidu 6

Streszczenie — Analizowano wpływ wybranych modyfikatorów (antypirenu, antyutleniacza, nanonapełniacza) na właściwości palne, pożarowe oraz mechaniczne poliamidu 6 (PA 6). Oznaczano masowy wskaźnik szybkości płynięcia, indeks tlenowy, palność metodą UL-94, właściwości termogravimetryczne oraz cechy wytrzymałościowe w próbie statycznego rozciągania. Metodą kalorymetru stożkowego oznaczano szybkość wydzielania dymu i ciepła, zapalność materiału, gęstość dymu oraz toksyczność fazy lotnej tworzącej się podczas rozkładu badanych materiałów, w warunkach gęstości strumienia ciepłego 35 kW/m². Stwierdzono, że najkorzystniejszy efekt modyfikacji pod względem poprawy bezpieczeństwa pożarowego materiałów uzyskano w przypadku zastosowania trzech modyfikatorów jednocześnie: 16 % mas. Exolitu, 0,5 % mas. Irganoxu oraz 5 % mas. modyfikowanego aminą montmorylonitu.

Słowa kluczowe: poliamid 6, antypiren, montmorylonit, palność, właściwości mechaniczne.

EFFECT OF MODIFIERS ON THE FLAMMABILITY AND PHYSICAL PROPERTIES OF POLY-AMIDE 6

Summary — Studies on the influence of selected modifiers (flame retardant, antioxidant, nanofiller) on the ignition, combustion and mechanical properties of polyamide 6 (PA 6) have been presented. The following methods were used: melt flow index (Table 2), oxygen index (Table 2), flammability UL-94 test (Table 2), thermogravimetric analysis (Fig. 2, Table 2) and strength characteristics in the static tensile test (Table 4). The smoke formation and heat release rate, the flammability of the material as well as the smoke density and toxicity of the volatile gas products released during the decomposition of the studied materials were determined using the cone calorimeter method under 35 kW/m² heat flux conditions (Fig. 3, Table 3). It was found that the simultaneous use of three modifiers: 16 wt. % Exolite, 0.5 wt. % Irganox and 5 wt. % amine modified montmorillonite was most advantageous in terms of improving the fire safety of the materials.

Keywords: polyamide 6, flame retardant, montmorillonite, flammability, mechanical properties.

WSTĘP

Palność przeważającej części materiałów polimerowych stwarza zagrożenie w trakcie ich użytkowania i często ogranicza zakres możliwych zastosowań. Coraz większe zapotrzebowanie na uniepalnione materiały polimerowe występuje w dziedzinach, takich jak: górnictwo, budownictwo, motoryzacja, przemysł okrętowy i transport. W celu uodpornienia materiałów polimerowych na zapłon i spalanie płomieniowe, a także ograniczenia szerzenia się ognia oraz wydzielania dymu i toksycznych gazów, najczęściej dodaje się do nich sproszkowane substancje chemiczne, nazywane antypirenami lub opóźniaczami palenia (*flame retardant*). Antypireny jednorodnie zdyspergowane w tworzywie w toku procesu technologicznego [1–5], powinny zwiększać ogniood-

porność materiałów polimerowych lub modyfikować ich zachowanie się w płomieniu.

W ostatnich latach jednak wzrosły wymagania w stosunku do opóźniaczy palenia, stosowanych w produkcji tworzyw polimerowych. Oprócz skuteczności ich działania coraz większą wagę przywiązuje się do pozostałych właściwości, takich jak: nietoksyczność (zarówno samych antypirenów, jak i produktów ich rozkładu), ilość wydzielających się dymów i gazów toksycznych oraz nieobecność związków chloru i bromu [1, 3].

Konieczność spełnienia narzuconych przez normy wymagań określających odporność materiałów polimerowych na palenie, wymusza dodawanie dużych ilości antypirenów. Ich zawartość w polimerowej osnowie może wynosić nawet 50–60 % mas. [1, 5]. Tak duży udział antypirenu, z reguły wpływa niekorzystnie na właściwości fizyczne i przetwórcze tworzywa, pogarsza jego przezroczystość, zmienia barwę, przyspiesza proce-

^{*)} Autor do korespondencji; e-mail: Krystyna.Kelar@put.poznan.pl

sy degradacji w warunkach użytkowania, często też podnosi cenę końcowego wyrobu [1, 3].

Zmniejszenie zawartości antypirenu oraz korzystne właściwości mechaniczne i przetwórcze materiału polimerowego można uzyskać wykorzystując zjawisko synergizmu. Polega ono na wzmacnianiu wpływu opóźnienia spalania w wyniku działania mieszaniny złożonej z dwóch lub większej liczby składników i uzyskania efektu większego niż suma indywidualnych działań tych składników [1, 4, 5].

Poliamid 6 (PA 6), ważny materiał konstrukcyjny, pali się zarówno w płomieniu, jak i po usunięciu źródła ognia, kapiąc palącymi się kroplami. Stopione krople zwiększają powierzchnię palenia oraz powodują szybkie rozprzestrzenianie się ognia [6]. PA 6 charakteryzuje się ponadto niezbyt dużą wartością indeksu tlenowego ($OI = 22$) [7]. Te niekorzystne cechy pożarowe często ograniczają zastosowanie poliamidu 6 w wielu gałęziach przemysłu.

Celem pracy stanowiącej przedmiot niniejszego artykułu było określenie wpływu bezhalogenowego antypirenu, antyutleniacza i nanonapełniacza na palność i właściwości mechaniczne poliamidu 6. Poprawa charakterystyki pożarowej PA 6 ma istotne znaczenie ze względu na jego szerokie wykorzystanie w przemyśle samochodowym, górnictwym, w elektrotechnice, itd.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiały

– Poliamid 6 (MFR 230 °C; 2,16 kg = 3,9 g/10 min) o nazwie handlowej Tarnamid[®] T-30 (kolor naturalny), produkcji Zakładów Azotowych w Tarnowie-Mościcach S.A.

– Exolit OP1312 (bezhalogenowy antypiren na bazie organicznych fosforanów) o temperaturze rozkładu >350 °C, produkcji Clariant GmbH, Niemcy.

– *N,N'*-heksano-1,6-diylobis-[3-(3,5-di-*tert*-butylo-4-hydroksyfenylopropionamid)] (Irganox[®]1098), antyutleniacz o temperaturze topnienia 156–161 °C, produkcji Ciba.

– Montmorylonit modyfikowany oktaedecyloaminą (OMMT, nanonapełniacz), produkcji Sigma-Aldrich.

Przygotowanie próbek do badań

Skład badanych kompozycji poliamidowych podano w tabeli 1. Dla porównania badano również niemodyfikowany PA 6.

Skład wprowadzanych do osnowy poliamidowej modyfikatorów (antypiren, antyutleniacz i montmorylonit) ujednorodniano stosując mieszalnik wysokoobrotowy (Retach GM 200) z regulowaną szybkością obrotów. Modyfikatory, w ilości podanej w tabeli 1 mieszano przez 10 min, zwiększając stopniowo szybkość obrotów (maks. do 2000 obr/min). Przed wytłaczaniem granulatu PA 6

suszono w komorze termicznej w temp. 80 ± 2 °C w ciągu 48 h i następnie mechanicznie mieszano z wcześniej przygotowanymi modyfikatorami. Granulat PA 6 z modyfikatorami wytłaczano przy użyciu wytłaczarki dwuślimakowej współbieżnej (typ BTSK 20/40D) firmy Bühler. Temperatura wytłaczania w poszczególnych strefach wytłaczarki, w kierunku od leja zasypowego do głowicy wynosiła, odpowiednio, 260 °C, 265 °C, 265 °C, 265 °C i 255 °C. Wytłoczyny chłodzono w powietrzu i granulowano.

Tabela 1. Oznaczenia i skład badanych kompozycji polimerowych

T a b l e 1. Designations and composition of the studied polymeric materials

Nr próbki	Skład
1	niemodyfikowany PA 6
2	84 % mas. PA 6 + 16 % mas. Exolit OP1312
3	83,5 % mas. PA 6 + 16 % mas. Exolit OP1312 + 0,5 % mas. Irganox [®] 1098
4	78,5 % mas. PA 6 + 16 % mas. Exolit OP1312 + 0,5 % mas. Irganox [®] 1098 + 5 % mas. OMMT

Znormalizowane próbki do badań palności i właściwości mechanicznych wykonywano za pomocą wtryskarki Engel (typu ES 80/20HLS, ze ślimakiem o średnicy 22 mm i stosunku $L/D = 18$). Przed wtryskiwaniem granulatu poliamidu 6 oraz kompozytów suszono w warunkach identycznych jak wyżej. Próbkę wtryskiwano w następujących warunkach: temperatura dyszy 280/275 °C, ciśnienie wtrysku (hydrauliczne) 64/55 MPa, czas wtrysku 1,22/1,22 s, temperatura formy 23/23 °C, czas chłodzenia 35/30 s.

Metody badań

– Masowy wskaźnik szybkości płynięcia (MFR) oznaczono zgodnie z PN-EN ISO 1133:2002 w temp. 230 ± 1 °C i pod obciążeniem 2,16 kg, za pomocą plastometru MP-IIIRT-M, produkcji rosyjskiej.

– Badania termogravimetryczne (TGA) wykonano przy użyciu analizatora termicznego typ STA 449 F3, firmy Netzsch; próbki ogrzewano z szybkością 20 °C/min w temperaturze z zakresu 25–650 °C w atmosferze argonu. Za temperaturę początku rozkładu termicznego (T_d) przyjęto temperaturę, odpowiadającą 5-proc. ubytkowi masy próbki [8].

– Palność próbek oznaczano metodą wskaźnika (indeksu) tlenowego wg PN-EN ISO 4589-2:2006, za pomocą aparatu produkcji angielskiej. Badano próbki o wymiarach 100 × 10 × 4 mm z oznakowaną długością odcinka spalania próbki 50 mm od wierzchołka zapalnego palnikiem gazowym (gaz propan-butan) w ciągu 5 s. W warunkach stałej szybkości przepływu azotu, wynoszącej 14 dm³/min, dobierano szybkość przepływu tlenu

tak, aby próbka spalała się w ciągu 180 s. Wartość indeksu tlenowego (OI), wyrażono jako % obj. tlenu w mieszaninie tlenu z azotem.

– Test płomieniowy pionowo zamocowanych próbek (określenie klasy palności) wykonano zgodnie z PN-EN 60695-11-10 (odpowiednik testu UL-94).

– Badania palności przeprowadzono metodą kalorymetru stożkowego. Stosowano po trzy próbki (każdego materiału), każda o wymiarach $100 \times 100 \times 4$ mm. Próbkę poddawano działaniu strumienia cieplnego o gęstości 35 kW/m^2 . Analizowano następujące cechy pożarowe [1]:

– HRR , $HRR_{maks.}$ odpowiednio, szybkość i maksymalna szybkość wydzielania ciepła przez badane próbki (kW/m^2);

– $t_{HRRmaks.}$ czas do osiągnięcia wartości $HRR_{maks.}$ (s);

– t_{zap} czas zapłonu (s);

– $MLR_{\text{śr}}$ średni ubytek masy próbki (g/s);

– $SEA_{\text{śr}}$ średnia powierzchnia ekstynkcji właściwej (m^2/kg);

– TSR , całkowita szybkość wydzielania dymu (m^2/m^2);

– y_{CO} , y_{CO_2} odpowiednio, emisja CO i emisja CO_2 (kg/kg).

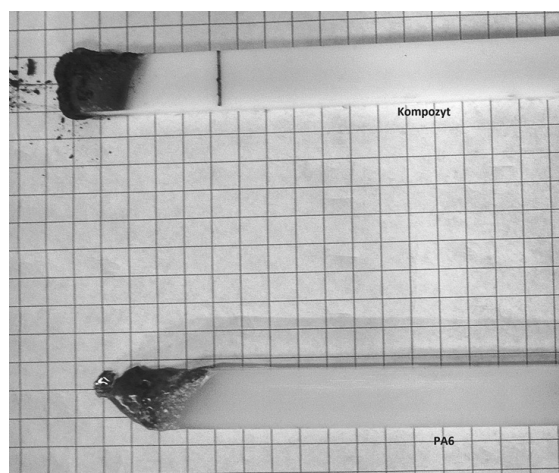
– Próby statycznego rozciągania wg PN-EN ISO 527-2:1998 wykonywano stosując maszynę wytrzymałościową Instron model 4481, współpracującą z programem komputerowym SERIE IX, rejestrującym wyniki pomiarów. W temp. 20 ± 3 °C rozciągano znormalizowane próbki w postaci wiosełek (próbki do badań zawierały $1,5 \pm 0,05$ % wody), z prędkością 50 mm/min. Za wynik przyjęto średnią arytmetyczną z dziesięciu oznaczeń.

WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Wskaźnik szybkości płynięcia (MFR) jest pośrednią miarą lepkości materiałów polimerowych [9]. Im większa lepkość stopionego polimeru, tym wskaźnik szybkości płynięcia jest mniejszy. Wartości MFR próbek 2 i 3 są zbliżone do MFR niemodyfikowanego PA 6, w przypadku natomiast próbki 4 wskaźnik szybkości płynięcia jest prawie 3-krotnie większy niż pozostałych próbek (tabela 2). Taki wynik jest nieoczekiwany, wprowadzenie bowiem do osnowy poliamidowej 21,5 % mas. napełnia-

czy proszkowych powinno prowadzić do zwiększenia lepkości, czyli zmniejszenia wartości MFR . Fornes i współpr. [10] uważają, że w trakcie wytłaczania tworzywa w wysokiej temperaturze (ok. 250 °C), modyfikowany aminami montmorylonit katalizuje procesy degradacji makrocząsteczek polimeru, co skutkuje znacznym zwiększeniem wartości MFR kompozytu.

Materiały polimerowe charakteryzujące się indeksem tlenowym o wartości poniżej 21 % zalicza się do łatwopalnych w powietrzu, o wartości OI 21–26 % do tworzyw o mniejszej palności, a o OI powyżej 26 % do samogasnących [1]. Stwierdzono, że wartość OI badanego PA 6 (próbka 1) wynosi 19 %, a więc jest mniejsza niż podawana najczęściej w literaturze: $OI = 22$ [7], pozostałe badane kompozyty można natomiast zaklasyfikować do materiałów samogasnących (por. tabela 2).



Rys. 1. Wygląd próbek po teście UL-94

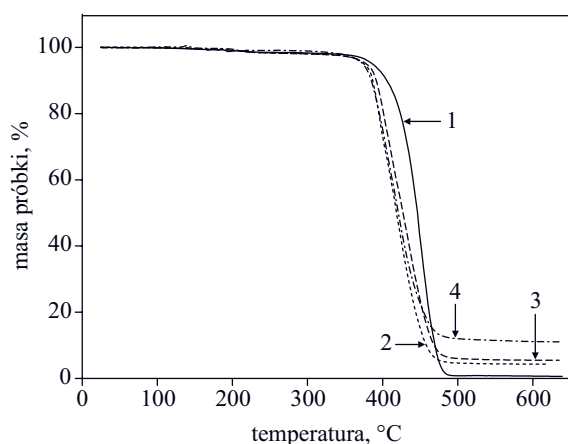
Fig. 1. Appearance of the samples after UL-94 test

Badania metodą UL-94 wykazały, że wytworzone kompozyty mają bardzo krótki czas palenia i klasę palności V0, w przeciwieństwie do niemodyfikowanego PA 6, który nie może być klasyfikowany (podczas palenia kapie i zapala watę) i charakteryzuje się długim czasem palenia. Podczas palenia kompozytów na powierzchni

T a b e l a 2. Masowy wskaźnik szybkości płynięcia (MFR), indeks tlenowy (OI), wyniki testu UL-94 oraz temperatura początku rozkładu termicznego (T_d) badanych materiałów

T a b l e 2. Melt flow rate (MFR), oxygen index (OI), results of the UL-94 test and the temperature at the beginning of thermal decomposition (T_d) of the studied materials

Nr próbki	MFR , g/10 min	OI , %	UL-94		T_d , °C	Pozostałość w temp. 650 °C, %
			klasa palności	czas palenia, s		
1	3,52	19	nieklasyfikowany zapala bawełnę	185	386	0,7
2	3,51	27	V0	4	374	4,3
3	3,34	27	V0	3	378	5,5
4	8,59	30	V0	5	373	11,1

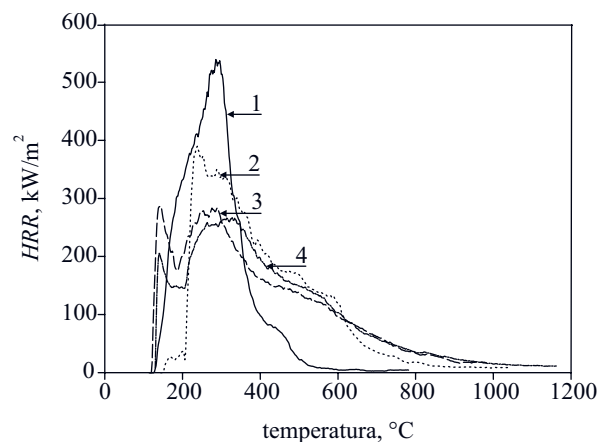


Rys. 2. Krzywe termogravimetryczne TG badanych materiałów; oznaczenia próbek jak w tabeli 1

Fig. 2. Thermogravimetric curves TG of the studied materials; sample designations as in Table 1

próbek szybko tworzyła się warstwa koksu (rys. 1), co całkowicie wyeliminowało kapanie tworzywa. Próbki 2, 3 i 4 ulegały samowygaszeniu po czasie podanym w tabeli 2.

Na rysunku 2 przedstawiono krzywe termogravimetryczne TG badanych materiałów. Jak już wspomniano, za temperaturę początku rozkładu termicznego (T_d) przyjmuje się temperaturę, w której następuje 5-proc. ubytek masy próbki [11, 12]. Najwyższą wartość T_d wykazuje niemodyfikowany PA 6, T_d kompozytów ma natomiast zbliżone wartości. Niższa temperatura początku rozkładu termicznego kompozytów wynika z rozkładu Exolitu (>350 °C), co w konsekwencji prowadzi do pogorszenia ich stabilności termicznej. Podkreślić należy, że temperatura początku rozkładu termicznego kompozytów jest jednak na tyle wysoka, że w trakcie ich przetworstwa nie zachodzi niebezpieczeństwo rozkładu.



Rys. 3. Szybkość wydzielania ciepła (HRR) przez badane materiały w warunkach ekspozycji cieplnej 35 kW/m²; oznaczenia próbek jak w tabeli 1

Fig. 3. Heat release rate (HRR) of the studied materials at a heat flux of 35 kW/m²; sample designations as in Table 1

(HRR) przez próbki PA 6 i kompozytów, w warunkach ekspozycji cieplnej 35 kW/m², w tabeli 3 natomiast wybrane właściwości termofizyczne i termokinetyczne badanych materiałów.

Jak można zauważyć, krzywa HRR niemodyfikowanego PA 6, po zainicjowaniu palenia podnosi się szybko, osiągając maksymalną wartość 538,9 kW/m² po 286 s (tabela 3), po czym gwałtownie opada. Inny charakter mają krzywe HRR kompozytów. W ich przypadku, po zainicjowaniu palenia szybkość wydzielania ciepła również gwałtownie rośnie, ale po upływie 150–160 s na krzywych obserwuje się „siodełko” charakterystyczne dla procesu spalania, podczas którego na powierzchni polimeru tworzy się zwęglona warstwa, stanowiąca barierę dla ciepła i utleniania [13]. Maksymalna wartość HRR kompozytów jest mniejsza niż niemodyfikowanego PA 6.

T a b e l a 3. Właściwości termofizyczne i termokinetyczne badanych materiałów

T a b l e 3. Thermophysical and thermokinetic properties of the studied materials

Nr próbki	HRR _{maks.} , kW/m ²	t _{HRRmaks.} , s	t _{zap.} , s	MLR _{śr.} , g/m ² · s	SEA _{śr.} , m ² /kg	TSR, m ² /m ²	yCO, kg/kg	yCO ₂ , kg/kg
1	538,9	286	116	8,30	98,3	378	0,0052	2,09
2	389,7	238	144	6,64	483,4	2111	0,0494	2,00
3	286,7	144	114	5,85	493,6	2096	0,0586	2,09
4	266,7	328	129	5,38	410,7	1778	0,0642	2,07

W temp. ok. 650 °C niemodyfikowany PA 6 ulega praktycznie biorąc całkowitemu rozkładowi, podczas gdy w wyniku rozkładu kompozytów pozostaje od 4,3 % do ok. 11 % frakcji mineralnej (rys. 2, tabela 2).

Jednym z najważniejszych parametrów palności materiałów, informującym o tym, jak szybko będzie się rozprzestrzeniał ogień, jest maksimum na krzywej wydzielania ciepła (Peak Heat Release Rate) PHRR [1, 13]. Na rys. 3 zilustrowano zmiany szybkości wydzielania ciepła

Najmniejszą wartością HRR równą 266,7 kW/m² (osiągniętą po upływie 328 s) charakteryzowała się próbka 4, co jest potwierdzeniem, że obecność nanonapełniaczy w kompozycie wpływa na spadek wartości HRR_{maks.} [6, 14].

W przypadku kompozytów, szybkość wydzielania ciepła po osiągnięciu maksymalnej wartości stopniowo malała, na skutek zmniejszającej się intensywności spalania, wynikającej z utworzenia zwęglonej warstwy na powierzchni spalonego kompozytu (por. rys. 3).

Zgodnie z oczekiwaniem wśród badanych materiałów, największą skłonnością do palenia, charakteryzował się niemodyfikowany PA 6, który zapalał się po 116 s, najmniejszą kompozyt zawierający tylko Exolit, zapalający się po 144 s (tabela 3).

Najdłużej paliła się próbka 4, zawierająca antypiren, antyutleniacz i nanonapełniacz. Dłuższy czas palenia się może być korzystny ze względu na możliwość zapewnienia dłuższego czasu działania niektórych urządzeń oraz czasu ewakuacji [5].

Badane kompozyty wykazują mniejszy ubytek masy próbki (MLR_{sr}) niż niemodyfikowany PA 6, najmniejszą wartością MLR_{sr} charakteryzowała się próbka 4, co jest korzystnym efektem obecności MMT.

W czasie pożaru, np. budynku, ograniczenie zasięgu widzialności w dymie jest często pierwszym czynnikiem zagrożenia człowieka, zanim pojawi się oddziaływanie termiczne. Dym stanowi duże zagrożenie dla ludzi także ze względu na zawarte w nim toksyczne produkty rozkładu termicznego i spalania [15]. Szybkość wytwarzania dymu zależy od: budowy chemicznej materiału, szybkości wydzielania ciepła i szybkości spalania oraz od rodzaju zawartych w materiale antypirenów. Podstawową wielkością charakteryzującą emisję dymu, oznaczaną metodą kalorymetru stożkowego jest powierzchnia ekstynkcji właściwej (SEA). Wartości średnie powierzchni ekstynkcji właściwej SEA_{sr} kompozytów są znacznie większe niż SEA_{sr} niemodyfikowanego PA 6 (tabela 3). Oznacza to, że Exolit w kompozycji z PA 6 nie spełnia roli supresanta dymu [13]. Najmniejsze wartości SEA_{sr} odnoszą się do próbki 4 – kompozytu zmodyfikowanego montmorylonitem. Potwierdzeniem obserwowanych zależności są wyznaczone szybkości wydzielania dymu (TSR). Najmniejszą wartość TSR odnotowano w przypadku niemodyfikowanego PA 6, a wśród kompozytów – w przypadku próbki zmodyfikowanej MMT (por. tabela 3).

Podczas palenia zagrożeniem są, oprócz wydzielającego się ciepła i dymu, wydzielające się gazy. Analizowano dwa rodzaje wydzielających się gazów – tlenek węgla oraz ditlenek węgla – stanowiących nieodłączny element pożarów.

Zazwyczaj materiały polimerowe modyfikowane antypirenami wydzielają więcej tlenu węgla w przeliczeniu na 1 kg materiału (yCO) niż ich niemodyfikowane odpowiedniki [13, 15]. Jest to efektem działania antypirenów, które m.in. ograniczają dostęp tlenu z powietrza do palącej się powierzchni, powodując tym samym niepełne spalanie. W niniejszych badaniach również stwierdzono w przypadku kompozytów duży wzrost emisji tlenu węgla w stosunku do yCO niemodyfikowanego PA 6 (tabela 3). Wśród badanych kompozytów największą emisją CO charakteryzowała się próbka 4, zawierająca MMT. Na powierzchni tej próbki powstawała najgrubsza warstwa zwęglona. Emisja ditlenku węgla (yCO_2) towarzysząca spalaniu kompozytów jest porównywalna do yCO_2 niemodyfikowanego PA 6.

T a b e l a 4. Właściwości mechaniczne przy statycznym rozciąganiu badanych materiałów

T a b l e 4. Mechanical properties of the studied materials under static tension

Nr próbki	Napężenie przy umownej granicy plastyczności, MPa	Moduł sprężystości przy rozciąganiu MPa	Wydłużenie przy zerwaniu, %
1	21,3 ± 1,3	1082 ± 46	310,0 ± 23,0
2	28,9 ± 1,3	1757 ± 67	33,7 ± 14,0
3	29,1 ± 0,8	1756 ± 85	14,9 ± 2,8
4	34,2 ± 0,9	2622 ± 56	3,6 ± 0,4

W tabeli 4 zestawiono wyniki badania cech wytrzymałościowych oznaczanych podczas statycznego rozciągania. Jak można zauważyć napężenie przy umownej granicy plastyczności kompozytów jest większe niż niemodyfikowanego PA 6. Wszystkie modyfikatory zwiększają sztywność osnowy poliamidowej. W przypadku próbki 4 wartość modułu sprężystości przy rozciąganiu jest ponad dwukrotnie większa niż niemodyfikowanego PA 6. Prawdopodobnie jest to związane z obecnością w osnowie poliamidowej zdelaminowanych cząstek MMT [16]. W przypadku wszystkich kompozytów maksymalne wydłużenie, przy którym następuje zerwanie próbki ma wartości wielokrotnie mniejsze niż w przypadku niemodyfikowanego PA 6. Przyczyną dużej kruchości kompozytów są znaczne naprężenia na granicy faz polimer-napełniacz i obecność w osnowie poliamidowej aglomeratów zastosowanych modyfikatorów. Bardzo duża kruchość próbki 4, zmodyfikowanej MMT, może być efektem wspomnianej wcześniej degradacji makrocząstek, która dodatkowo zwiększa kruchość tego materiału [10].

PODSUMOWANIE

Wprowadzone do osnowy poliamidowej modyfikatory w istotnym stopniu poprawiają jej odporność na palenie. Świadczą o tym większe niż w przypadku PA 6 wartości indeksu tlenowego, osiągnięta klasa palności V0 oraz mniejsze wartości szybkości wydzielania ciepła przez badane kompozyty. Najskuteczniej działającym układem modyfikatorów, ograniczającym szybkość wydzielania ciepła przez badane materiały, był układ złożony jednocześnie z antypirenu, antyutleniacza i nanonapełniacza. Obecność w kompozycji modyfikatorów zwiększa sztywność osnowy poliamidowej, zmniejszając jednocześnie ich wydłużenie przy zerwaniu.

Samogasnący poliamid 6 może znaleźć zastosowanie w elektrotechnice i elektronice do produkcji: wyłączników różnicowych i czasowych, gniazdek, wtyczek przemysłowych, przycisków, części sprzętu AG, złączek elektrycznych, przełączników, kondensatorów itp.

Badania zrealizowano w ramach projektu „Kompozyty polimerowe o podwyższonej stabilności termicznej i obniżonej palność-

ci" nr POIG.01.03.01-00-044/08 współfinansowanego przez Unię Europejską z Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, 2007–2013.

LITERATURA

1. Janowska G., Przygocki W., Włochowicz A.: „Palność polimerów i materiałów polimerowych”, WNT, Warszawa 2007.
2. Boryniec S., Przygocki W.: *Polimery* 1999, **44**, 87.
3. Boryniec S., Przygocki W.: *Polimery* 1999, **44**, 381.
4. Boryniec S., Przygocki W.: *Polimery* 1999, **44**, 656.
5. Praca zbiorowa: „Materiały polimerowe o obniżonej palności” (red. Jurkowski B., Rydarowski H.), Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji – Państwowe Instytutu Badawczego, Radom 2012.
6. Jang B. N., Wilkie C. A.: *Polymer* 2005, **46**, 3264.
7. Liu Y., Wang Q.: *J. Polym. Res.* 2009, **16**, 583.
8. Liu H., Zhang W., Zheng S.: *Polymer* 2005, **46**, 157.
9. MasPOCH M. L., Fernando H. E., Velasco J. I.: *Macromol. Symp.* 2003, **194**, 295.
10. Fornes T. D., Yoon P. J., Paul D. R.: *Polymer* 2003, **44**, 754.
11. Li J., Tong L., Fang Z., Gu A., Xu Z.: *Polym. Degrad. Stab.* 2006, **91**, 2046.
12. Feng J., Hao J., Du J., Yang R.: *Polym. Degrad. Stab.* 2012, **97**, 605.
13. Półka M.: *Polimery* 2011, **56**, 734.
14. Bourbigot S., Devaux E., Flambard X.: *Polym. Degrad. Stab.* 2002, **75**, 397.
15. Konecki M., Półka M.: *Polimery* 2006, **51**, 293.
16. Priya L., Jog J. P.: *J. Polym. Sci., Part B* 2003, **41**, 31.

Otrzymano 24 VII 2012 r.

Zakład Inżynierii i Technologii Polimerów Politechniki Wrocławskiej
zaprasza do udziału w

XXI KONFERENCJI NAUKOWEJ MODYFIKACJA POLIMERÓW

Kudowa-Zdrój, 18–20 września 2013 r.



Przewodniczący Komitetu Naukowego: prof. dr hab. inż. Ryszard STELLER

Wiceprzewodniczący Komitetu Naukowego: prof. dr hab. inż. Jacek PIGŁOWSKI

Przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego: dr inż. Wanda MEISSNER

Sekretarz: dr inż. Grażyna Kędziora

Tematyka Konferencji:

- Modyfikacja chemiczna i reaktywne przetwarzanie polimerów
- Modyfikacja fizyczna, kompozyty i nanokompozyty polimerowe
- Nowe lub specjalne zastosowania oraz metody badań polimerów
- Recykling i tworzywa polimerowe z surowców odnawialnych/wtórnych

Program naukowy konferencji będzie obejmować: referaty plenarne i sekcyjne oraz sesję plakatową.

Zgłoszenia prosimy przesyłać na adres Sekretarza: e-mail: grazyna.kedziora@pwr.wroc.pl, tel.: 71 320 26 60, tel./fax: 71 320 27 39 lub Przewodniczącego Komitetu Naukowego: e-mail: ryszard.steller@pwr.wroc.pl

Prace zaakceptowane przez Komitet Naukowy zostaną wydane po pozytywnej recenzji w formie pracy zbiorowej pt. „Modyfikacja Polimerów. Stan i Perspektywy roku 2013”.

Szczegóły organizacyjne dotyczące miejsca obrad, zakwaterowania, wystąpień i opłat konferencyjnych są podane w komunikacie dostępnym na www.pwr.wroc.pl

Adres do korespondencji i informacje:

Grażyna Kędziora lub Ryszard Steller, Politechnika Wroclawska, Zakład Inżynierii i Technologii Polimerów, Wydział Chemiczny, Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław.