

MAREK BIELIŃSKI^{1*)}, PIOTR MUZYCZUK²⁾

Ocena wytrzymałości na ściskanie próbek porowatego polipropylenu

Streszczenie — Scharakteryzowano proces porowania oraz wybrane właściwości użytkowe tworzyw termoplastycznych. Określano cechy wytrzymałościowe próbek polipropylenu (PP) wykonanych metodą wtryskiwania z jednoczesnym porowaniem chemicznymi poroformami o endotermicznym charakterze rozkładu, w zakresie 0–2 % mas. zawartości środka porującego. Próbkę o wymiarach $h = 30$ mm i $\Phi = 20$ mm poddawano obciążeniom ściskającym na maszynie wytrzymałościowej w warunkach ciągłego obciążania i odciążania próbki w przedziale 0–30 kN („podwójna rampa”) oraz obciążania stopniowanego co 5 kN z przetrzymaniem czasowym (w zakresie 0–25 kN). Właściwości użytkowe wybranych tworzyw oceniano na podstawie wykresów ściskania w układzie naprężenie-odkształcenie oraz wyznaczonych zależności: odkształcenia ściskanych próbek od wartości obciążenia statycznego w warunkach zmiennego dozowania poroformy, modułu Younga przy ściskaniu od zawartości poroformy, a także pracy przy ściskaniu próbek porowatych od zawartości poroformy. Określono ponadto wpływ zmiennych stopni wzrastającego obciążania i odciążania próbek na odkształcenie względne porowatego PP.

Słowa kluczowe: porowanie, ściskanie tworzyw, wtryskiwanie próbek porowatych, właściwości użytkowe tworzyw porowatych.

STUDIES ON THE MECHANICAL PROPERTIES IN COMPRESSION OF POROUS POLYPROPYLENE

Summary — Studies on the blow molding processing and selected compression properties of thermoplastic polymers have been presented. The compression strength of polypropylene (PP) obtained in the extrusion blow molding process with 0 ÷ 2 wt. % content of blow agents of endothermic decomposition character has been determined (Fig. 5). Samples of dimensions $h = 30$ mm and $\Phi = 20$ mm, (Figs. 1 and 2) were subjected to compression in a test apparatus (Fig. 3) under steady loading/unloading cycles (dual ramp) in the 0 ÷ 30 kN range and also in a stepwise loading/unloading procedure (every 5 kN with breaks) in the 0 ÷ 25 kN range (Fig. 4). The performance of selected polymeric products were determined on the basis of stress/strain curves and the following determined relations: the dependence of strain of the studied samples on the static load values obtained for various amounts of blowing agent feed (Figs. 6–11), Young's compressive modulus on the amount of blowing agent (Fig. 12) and also work done during the compression on the amount of blowing agent (Fig. 13). The dependence of the relative deformation of porous PP on the increase in values of the parameters of steady loading/unloading cycles was also determined.

Keywords: blow molding processing, polymer compression, extrusion blow molding, porous polymer performance indices.

Powszechnie stosowaną operacją w przetwórstwie tworzyw polimerowych jest proces modyfikacji ich właściwości przetwórczych i użytkowych. Obserwowany obecnie postęp w tej dziedzinie wiąże się z wprowadzaniem nowych sposobów modyfikowania tworzyw, polegających często na zamianie struktury jednorodnej na porowatą. Uzyskana w taki sposób mniejsza gęstość mate-

riału skutkuje jego odmiennymi właściwościami przetwórczymi i użytkowymi [1–17]. Zaletą współczesnych technologii porowania materiałów polimerowych jest możliwość wytworzenia struktury porowatej zarówno w przypadku większości znanych w przetwórstwie tworzyw, jak i za pomocą wszystkich powszechnie wykorzystywanych metod przetwórstwa (wtryskiwania, wytłaczania, wytlaczania z rozdmuchiwaniem, formowania rotacyjnego itd.). Ważnym kierunkiem rozwoju technik porowania jest porowanie cienkościennych elementów konstrukcyjnych oraz otrzymywanie struktury gradientowej o zmiennym stopniu porowania wzdłuż wybranego przekroju, charakterystycznej głównie dla poroform o endotermicznym charakterze rozkładu. Obecnie w

¹⁾ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Instytut Technik Wytwarzania, ul. Al. Prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz.

²⁾ Centrum Onkologii w Bydgoszczy, ul. Dr I. Romanowskiej 2, 85-796 Bydgoszcz.

*) Autor do korespondencji; e-mail: biel@utp.edu.pl

wielu ośrodkach naukowych w kraju i zagranicą, a także w firmach produkujących środki porujące, trwają prace zmierzające do rozwoju technologii porowania [4, 6, 8, 12, 14, 18, 19].

Zwiększenie obszaru zastosowań tworzyw porowatych w wielu dziedzinach, wytwarzanie nowych tworzyw oraz możliwość ich porowania powodują, że istnieje potrzeba prowadzenia badań wybranych właściwości przetwórczych, jak również opracowania metodyki takich badań, pozwalającej na przewidywanie zachowania się materiałów porowatych w wybranych warunkach użytkowania [4, 17, 20–22].

CHARAKTERYSTYKA POROWANIA I WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWE TWORZYW POROWATYCH

Dynamiczny wzrost produkcji i zastosowań tworzyw porowatych jest konsekwencją, z jednej strony, rozwoju inżynierii materiałowej tworzyw polimerowych, a z drugiej, ciągłego doskonalenia technik ich przetwórstwa. Z analizy stanu wiedzy i techniki wynika, że gęstość jest jednym z ważniejszych kryteriów doboru materiałowych cech konstrukcyjnych wytworów z tworzyw [1, 2, 4, 16, 17, 23]. Powszechna tendencja do zmniejszania masy wytworów dotyczy zarówno układów złożonych (np. pojazdów), jak i stosunkowo prostych, np. opakowań lub elementów wykończeniowych w budownictwie. Często wiąże się ona z działaniami zmierzającymi do zmniejszenia kosztów budowy i eksploatacji maszyn oraz urządzeń.

Tworzywa termoplastyczne mogą być porowane za pomocą chemicznych bądź fizycznych środków porotwórczych [2, 4, 6, 7, 11, 19, 24], a przetwarzaniu z jednoczesnym porowaniem można poddawać tworzywa zarówno amorficzne, jak i częściowo krystaliczne. Mianem poroforów określa się stałe związki organiczne lub nieorganiczne wydzielające gazy w wyniku rozkładu. Powstające w takiej reakcji pozostałości działają jako aktywne środki wspomagające powstawanie jąder komórkowych (tzw. zarodkowanie), przyczyniając się do utworzenia drobniejszej struktury komórkowej oraz lepszej rozpuszczalności gazów w tworzywie.

Najczęściej stosowane chemiczne środki porotwórcze i ich charakterystykę umożliwiającą ich dobór w zależności od właściwości użytkowych wytworów, przedstawiono, m.in. w pracach [4, 11, 19]. Jednym z omawianych przypadków jest wykorzystanie techniki porowania do wyrobów cienkościennych, usuwanie oraz redukcja zapadnięć oraz naprężeń wewnętrznych.

Charakterystyka poroforów polega przede wszystkim na wyznaczeniu temperatury początku i końca rozkładu a także ilości wydzielającego się gazu. Rodzaj i ilość użytych środków porotwórczych determinują wybór metody porowania, mają również wpływ na końcową gęstość porowanego tworzywa. W celu uzyskania wysokiego stopnia porowania wykorzystuje się porofory fizyczne, chemiczne środki porotwórcze znajdują nato-

miast zastosowanie wówczas, gdy ważne jest utrzymanie niskiego poziomu nakładów na wyposażenie techniczne i maszyny (niezbędne do realizacji procesu technologicznego). Porofory dodaje się do tworzywa najczęściej w postaci koncentratów (5–70 %) lub proszku [4, 25, 26].

Istotną cechą procesów porowania jest możliwość regulowania gęstości porowanych materiałów, wielkości i jednorodności porów, a także, w zależności od ilości i rodzaju użytego środka porującego oraz podatności polimeru na porowanie, możliwość wytwarzania struktur gradientowych [4, 12, 16, 22, 27–29]. Jednorodność struktury porowatej można ocenić stosując, m.in. komputerową analizę obrazu, za pomocą której wyznacza się szereg parametrów geometrycznych opisujących przestrzenne uporządkowanie poszczególnych porów (np. powierzchnię jednostkową porów i ich jednostkowy obwód, odległość od osi symetrii, udział powierzchni porów i inne) [4, 28].

Jako pierwsze, porowaniu poddawano następujące tworzywa wielkocząsteczkowe: żywicę fenolowo-formaldehidową (FF), polistyren (PS), poliuretan (PUR), poli(chlorek winylu) (PVC) oraz żywicę mocznikowo-formaldehidową (MF). W ostatnich latach powszechnie przeprowadza się także porowanie zarówno polietylenu, jak i polipropylenu, a pojawienie się nowych środków porotwórczych, o wyższych wartościach temperatury rozkładu, umożliwia stosowanie tej techniki w odniesieniu do całej grupy tworzyw konstrukcyjnych [poliamidu (PA), poliwęglanu (PC), poli(tereftalanu etylenu) (PET) itd.] [1, 4, 24].

Materiały porowate, dzięki swojej komórkowej strukturze i bardzo dobrym właściwościom izolacyjnym, znalazły szerokie zastosowanie w budownictwie, chłodnictwie i produkcji opakowań. Mała gęstość w połączeniu z dużymi wskaźnikami wytrzymałościowymi predestynuje tworzywa porowate do produkcji lekkich a zarazem wytrzymałych konstrukcji nośnych oraz wykończeniowych (dekoracyjnych) [1, 23, 30].

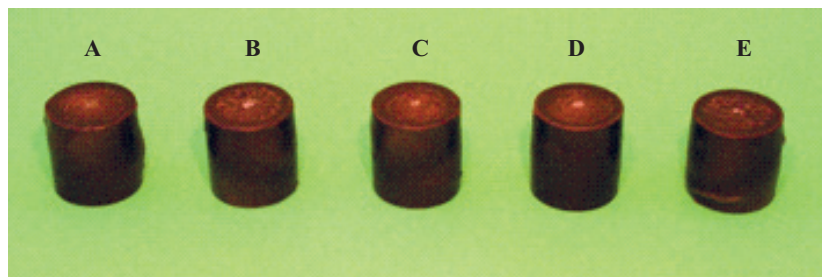
Wytrzymałość elementów o strukturze porowatej zależy od gęstości materiału, którą, jak już wspomniano, można regulować w szerokim zakresie. Z badań wytrzymałości porowatego PP w zależności od ilości poroforu i warunków przetwórstwa [1, 2, 4, 16, 17, 19, 20, 24, 25] wynika, że niższa temperatura narzędzia powoduje szybsze chłodzenie elementów kształtowanych w formie, dzięki temu tworzy się grubszy lity naskórek ograniczający dyfuzję gazu w kierunku warstwy wierzchniej. W przypadku, gdy ilość dozowanego poroforu wynosi 0,5 % w strukturze powstają pojedyncze pory, które działając jak karb, przyczyniają się do spadku wartości, m.in. udarności [26]. Wzrost udziału poroforu w tworzywie powoduje zagęszczenie porów, jest także przyczyną zmniejszenia średniej średnicy porów (powstaje struktura drobnokomórkowa). Większa ilość porów o mniejszych wymiarach, jak również ich równomierny rozkład mogą wpływać na wzrost wydłużenia z jednoczesnym niewielkim spadkiem wytrzymałości przy rozciąganiu.

W materiałach konstrukcyjnych podczas ściskania zachodzą zjawiska odmienne od tych, które charakteryzują ich rozciąganie (inne typy przełomów) [1, 6].

Celem naszej pracy była ocena wytrzymałości na ściskanie próbek porowatych i wyznaczenie ich podatności

Przygotowanie próbek

Do badań wytrzymałości na ściskanie przygotowano, zgodnie z PN-93/C-90071, metodą wtryskiwania, próbki o przekroju wzdłużnym cylindrycznym: Φ 20 mm i dłu-



Rys. 1. Próbkę A32, B332, C32, D32 i E32 z serii badań właściwych, gdzie: A — materiał lity 0 % poroforu (wysokość próbki 30 mm — maks. wartość obciążenia 25 kN), B — zawartość poroforu 0,5 %, C — zawartość poroforu 1,0 %, D — zawartość poroforu 1,5 %, E — zawartość poroforu 2,0 %

Fig. 1. Samples A32, B332, C32, D32 and E32 for the series of compression tests [sample height (h) = 30 mm and maximum loading = 25 kN]. A, B, C, D and E correspond to blowing agent contents of 0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 wt. %, respectively

na odkształcanie w zmiennych warunkach procesu przetwórstwa i porowania.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiały

Do wytworzenia (metodą wtryskiwania) elementów konstrukcyjnych, służących do badań wytrzymałości na ściskanie, stosowano:

— PP Moplen w postaci granulatu, firmy Basell Orlen Polyolefins;

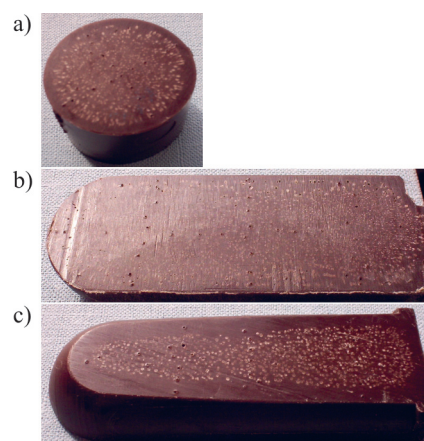
— porofor CF 40E w postaci granulatu o endotermicznym charakterze rozkładu (temperatura rozkładu powyżej 150 °C), firmy Clariant, Niemcy.

Wyznaczanie charakterystyki poroforu

Charakterystykę stosowanego w badaniach poroforu wyznaczano wykorzystując stacjonarne, zasilane z sieci jednofazowej i przeznaczone do pracy w warunkach laboratoryjnych stanowisko pomiarowe oraz metodykę opisaną w [26, 27]. Stanowisko umożliwia regulację temperatury do 250 ± 5 °C. W prezentowanej pracy stosowano zakres temperatury 100–230 °C i szybkość grzania 5 °C/5 min. Wyniki pomiarów uzyskano w postaci odczytu wskazań manometru (0–1 MPa).

W przypadku wybranych poroforów można wyznaczyć temperaturę początku i końca rozkładu, co pozwala na dostosowanie, uzależnionych od rodzaju tworzywa, parametrów procesu przetwórstwa. Z przebiegu charakterystyk przetwórczych poroforów [26] wynika wyraźna różnica w charakterze rozkładu poroforów endo- i egzotermicznych.

gości $l = 30$ mm (rys. 1). Wycinano je z cylindrycznej części wtryskiwanego elementu konstrukcyjnego, przedstawionego na rys. 2. Przekrój poprzeczny próbek charakteryzował się strukturą gradientową z widocznym litym naskórkem grubości ok. 1 mm (na części cylindrycznej). Średnia średnica pora w materiale otrzymanym z zastosowaniem 0,5 % poroforu wynosiła 0,502 mm (stosunek długości $l_{maks.}$ do $l_{min.} = 1,45$) a 0,16 mm, gdy udział poroforu wynosił 2 % (stosunek długości $l_{maks.}$ do $l_{min.}$ pora 1,52) [4, 26].



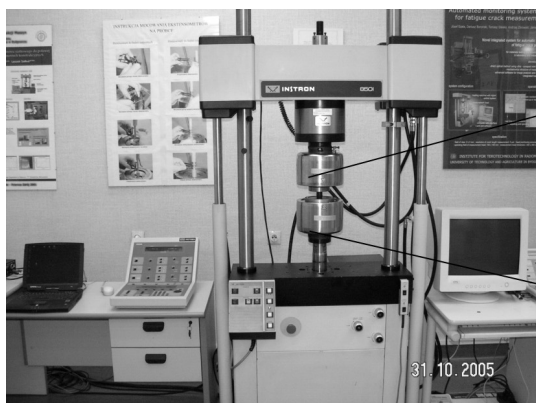
Rys. 2. Element konstrukcyjny wykorzystany do przygotowania próbek do ściskania (zawartość poroforu 2 % mas.): przekrój poprzeczny (a), wzdłużny w osi symetrii (b), przekrój w płaszczyźnie równoległej do osi symetrii (c)

Fig. 2. Component of the pressure apparatus used in the preparation of samples for pressure studies (2.0 wt. % of blowing agent): (a) — cross-section, (b) — longitudinal cross-section at the axis, (c) — longitudinal cross-section parallel to axis

Parametry procesu wtryskiwania realizowanego za pomocą wtryskarki ENGEL (model VC330/80Tech) były następujące: temperatura formy 40 °C; profil temperatury układu uplastyczniającego: I – 210 °C, II – 210 °C, III – 200 °C, IV – 195 °C, V – 190 °C, VI – 80 °C; czas chłodzenia formy 30 s; ciśnienie docisku 5 MPa; czas docisku 5 s.

Stanowisko badawcze

Na rysunku 3 przedstawiono stanowisko badawcze – maszynę wytrzymałościową Instron 8501 – na któ-



Rys. 3. Maszyna wytrzymałościowa Instron 8501 z próbką ściskaną
Fig. 3. Instron 8501 universal testing machine with compressed tested sample

rym realizowano dwuetapowy program badań ściskania próbek porowatego PP.

Warunki i program badań

Ściskano próbki walcowe z porowatego PP wzdłuż ich osi ze stałą prędkością, aż do uzyskania założonej wartości siły (w badaniach wstępnych do określonego zmniejszenia długości kształtki, bądź też stopnia odkształcenia 50 %). Podstawy próbek były prostopadłe do kierunku przyłożenia siły i równoległe względem siebie (z dopuszczalnym błędem nie większym niż 0,1 % wysokości próbek).

Przyjęty program badań uwzględniał:

- dwa wybrane, wykorzystane przy ściskaniu elementów konstrukcyjnych, sposoby generowania obciążenia;
- dobór wskaźników do oceny efektów ściskania.

W badaniach wstępnych zastosowano sterowanie przemieszczeniem, przyjmując stałą prędkość przesuwu narzędzia maszyny wytrzymałościowej $v = 0,05$ mm/s oraz kształt obciążenia w postaci tzw. „podwójnej rampy” (rys. 4, krzywa 1). W badaniach podstawowych pełniejszą analizę poszczególnych faz odkształcania próbek, uwzględniającą przejmowanie obciążenia i odkształcenia przez „strukturę” porowatą, umożliwiły

badania wykorzystujące sterowanie siłą – próbki obciążano siłą w zakresie 5–25 kN (pięć stopni obciążenia), a obciążenie to miało charakter „podwójnej rampy” z przetrzymaniem czasowym (rys. 4, krzywa 2).

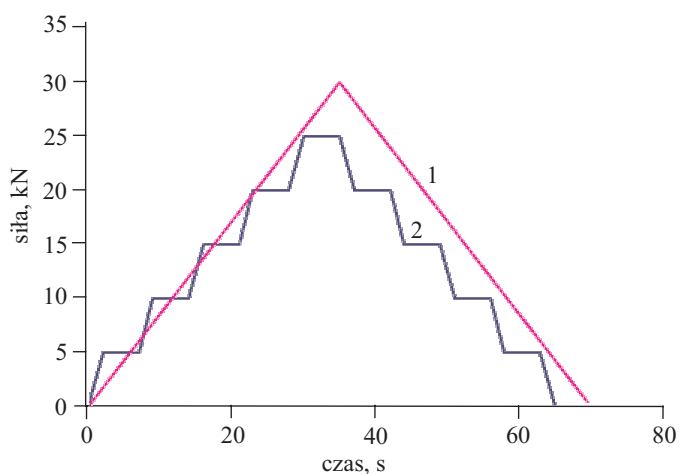
WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Wybór poroforu

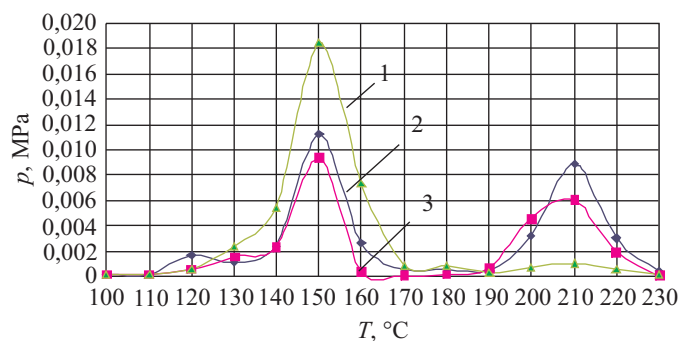
W zastosowanym zakresie pomiaru (100–230 °C) uzyskano informację o zachowaniu się poroforów podczas ogrzewania w przetwórstwie. Na rysunku 5 przed-



stawiono charakterystykę ciśnieniową trzech wstępnie wybranych poroforów, wykorzystywanych do porównania poliolefin. Głównym kryterium doboru poroforów chemicznych do przetwórstwa polipropylenu był, podany przez producenta, zakres temperatury, w którym nas-



Rys. 4. Schemat przebiegu obciążenia i odciążania próbek w badaniach wstępnych (1) i podstawowych (2)
Fig. 4. Schematic illustration of loading/unloading procedures in the preliminary (1) and basic (2) tests



Rys. 5. Charakterystyka ciśnieniowa wybranych poroforów: 1 – Egzocerol, 2 – Hydrocerol CF70, 3 – Hydrocerol CF40 (stosowany w badaniach)

Fig. 5. Pressure curves of the selected blowing agents: (1) – Egzocerol, (2) – Hydrocerol CF70, (3) – Hydrocerol CF40 (used in the studies)

ępuje wydzielanie się substancji gazowej, jej ilość, a także stężenie środka porującego umożliwiające uzyskanie jednorodnej mieszaniny tworzywa i gazu. Na zarejestrowanym przebiegu wydzielania się gazu z poroforów obserwowana różnica w „potencjale” gazowym Hydrocerolu CF40 (krzywa 3) i Hydrocerolu CF70 (krzywa 2) jest związana z udziałem (stężeniem) substancji czynnej, wynoszącym, odpowiednio, 40 i 70 % mas. Do dalszych badań przyjęto Hydrocerol CF40E, który umożliwia bardziej równomierne rozproszenie substancji porującej w przetwarzanym polipropylenie, a profil temperaturowo-ciśnieniowy tego poroforu odpowiada temperaturze przetwórstwa badanego PP [19] [mieszanina gazowo-polymerowa powstaje przede wszystkim w narzędziu przetwórczym (formie wtryskowej, głowicy), w chwili po przejściu tworzywa przez przewężkę].

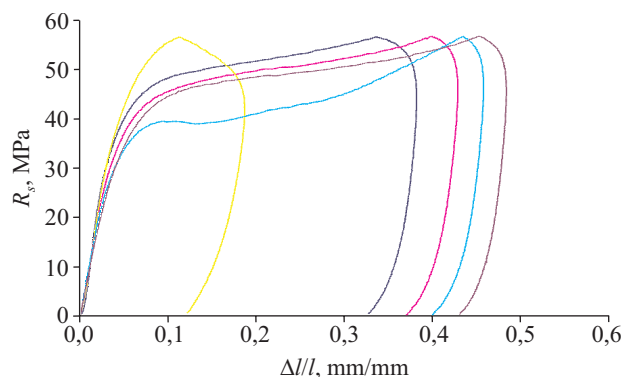
Ściskanie próbek z obciążeniem wzrastającym w sposób ciągły

Krzywe ściskania próbek litego PP w układzie naprężenie-odkształcenie przedstawiono na rys. 6, natomiast rys. 7 ilustruje wyniki ściskania próbek PP z udziałem 2 % poroforu.

W badaniach wstępnych uzyskano dobrą powtarzalność wyników zależności naprężenie/odkształcenie zarówno materiału litego, jak i porowanego. Zaobserwowano wyraźną różnicę w kształcie krzywej odkształcenia wynikającą z większego udziału odkształceń sprężystych przy odciążaniu próbek w przypadku porowatego PP.

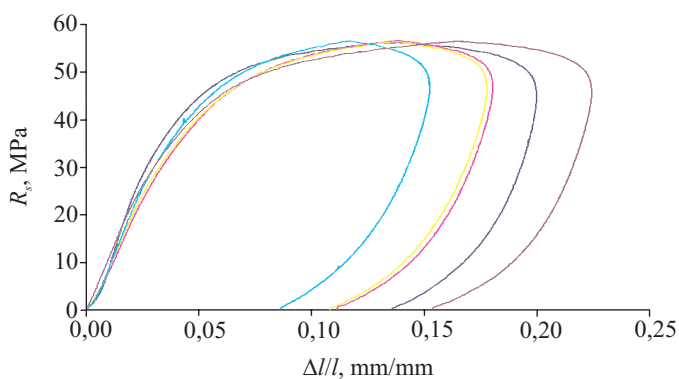
Ściskanie próbek z obciążeniem wzrastającym okresowo

Zastosowanie w badaniach ściskania wzrastającego okresowo obciążenia, zwłaszcza w przypadku tworzyw porowatych, pozwala na analizę zjawisk zachodzących



Rys. 6. Wykres ściskania w układzie naprężenie-odkształcenie pięciu serii próbek z litego PP

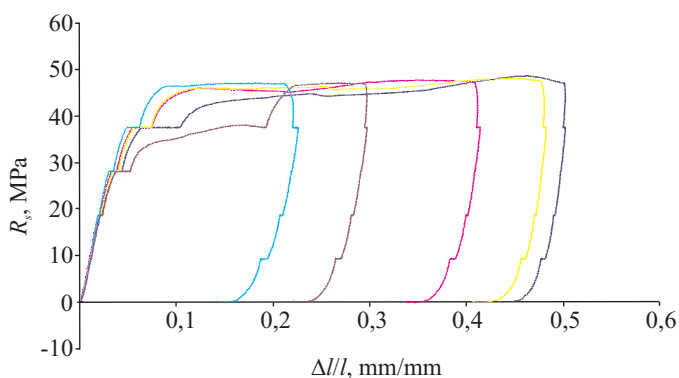
Fig. 6. Compressive stress/strain curves for a series of five solid PP samples



Rys. 7. Wykres ściskania z obciążeniem wzrastającym w sposób ciągły, w układzie naprężenie-odkształcenie, pięciu serii próbek PP z udziałem 2,0 % poroforu

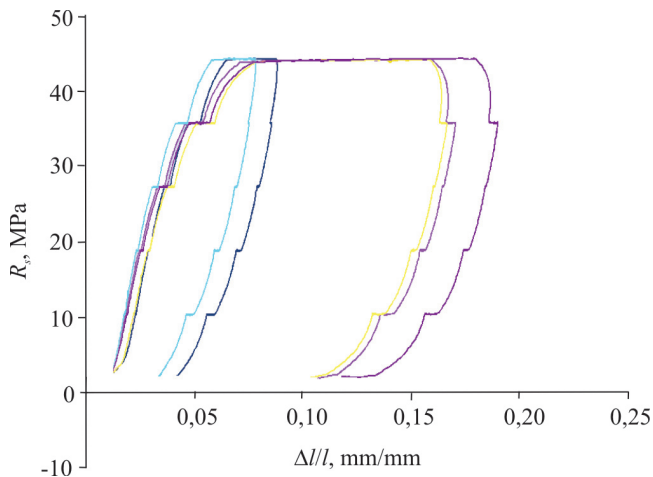
Fig. 7. Compressive stress/strain curves obtained in the steady loading/unloading procedure for a series of five PP samples with 2 wt. % of blowing agent

podczas obciążania i odkształcania dwóch faz (litej i gazowej) próbek.



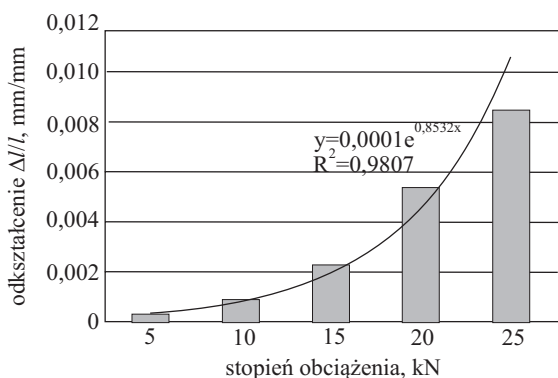
Rys. 8. Wykres ściskania w układzie naprężenie-odkształcenie pięciu serii próbek z zawartością 0,5 % poroforu

Fig. 8. Compressive stress/strain curves for a series of five PP samples with 0.5 wt. % of blowing agent



Rys. 9. Wykres ściskania z obciążeniem wzrastającym w sposób okresowy, w układzie naprężenie-odkształcenie, pięciu serii próbek PP z 2,0% zawartością poroforu

Fig. 9. Compressive stress/strain curves obtained in the step-wise loading/unloading procedure for a series of five PP samples with 2 wt. % of blowing agent

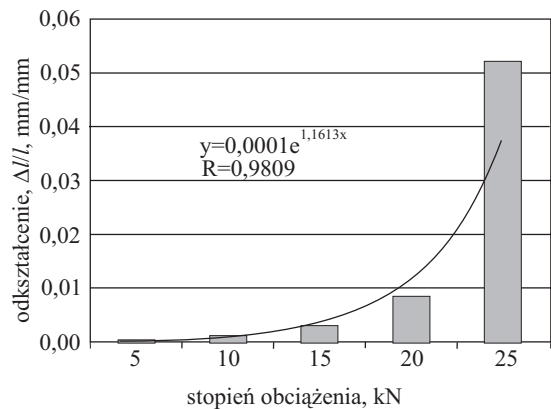


Rys. 10. Zależność odkształcenia ściskanych próbek porowatego PP (z udziałem 0,5% poroforu) od wartości stałego obciążenia statycznego

Fig. 10. Dependence of strain on steady loading for compressed PP samples with 0.5 wt. % of blowing agent

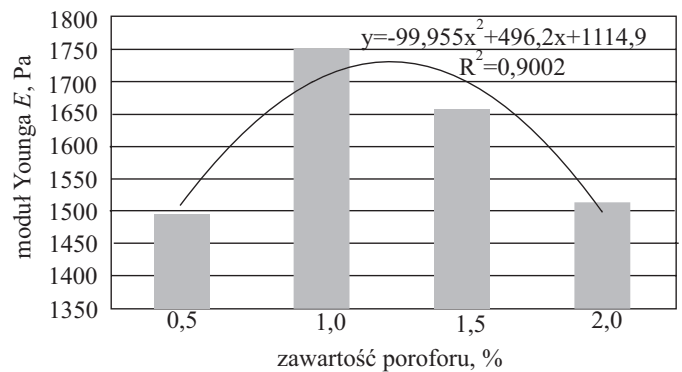
Na wykresach zależności odkształcenia względnego od naprężeń próbki PP z udziałem 0,5% poroforu (rys. 8), zaobserwowano rozrzut wartości odkształcenia (skrócenia) próbek wynikający z niejednorodności struktury porowatej charakterystycznej dla próbek o niewielkiej zawartości poroforu, a jednocześnie zachowaną dużą powtarzalność wartości naprężeń ściskających. Taka zależność jest widoczna również w odniesieniu do próbek PP z większym udziałem poroforu, np. 2% (rys. 9). Podobnie jak w badaniach wstępnych, tu również ma miejsce zwiększony udział odkształceń sprężystych przy odciążaniu próbek porowatego PP w porównaniu z udziałem tych odkształceń przy odciążaniu próbek tworzywa litego.

Charakter i przebieg odkształceń (opisany równaniami matematycznymi) na poszczególnych stopniach ob-



Rys. 11. Zależność odkształcenia ściskanych próbek porowatego PP (z udziałem 2,0% poroforu) od wartości stałego obciążenia statycznego

Fig. 11. Dependence of strain on steady loading for compressed PP samples with 2.0 wt. % of blowing agent

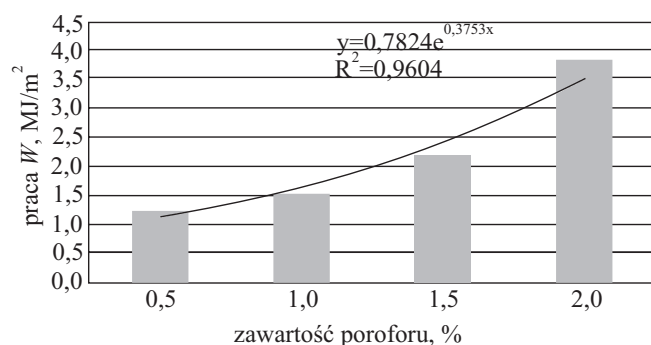


Rys. 12. Moduł Younga (E) przy ściskaniu próbek z porowatego PP w zależności od zawartości poroforu (E litego PP = 1168 Pa)

Fig. 12. Dependence of Young's compressive modulus (E) of compressed porous PP samples on the content of blowing agent (PP solid sample E value = 1168 Pa)

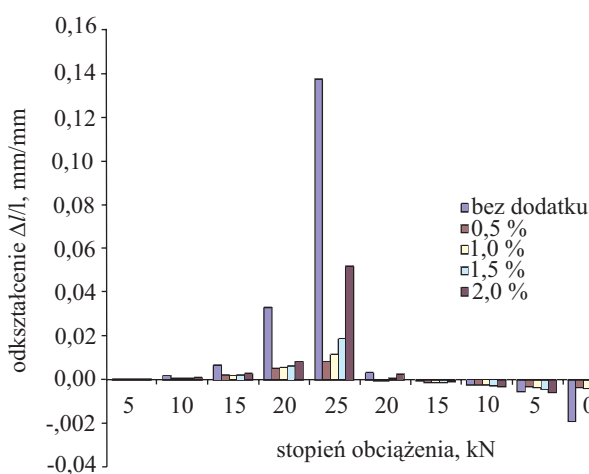
ciążania próbek PP z różną zawartością poroforu są podobne. Największa uzyskana wartość odkształcenia odpowiada najwyższemu poziomowi obciążenia. Wartość odkształcenia względnego próbek porowatego PP z udziałem 2% poroforu jest ok. 6-krotnie większa niż PP z udziałem 0,5% poroforu (rys. 10, 11).

Zmianę wartości modułu Younga (E) próbek porowatego PP w zależności od udziału poroforu przedstawia rys. 12. We wszystkich przypadkach badanych próbek porowatego PP, wartość modułu jest większa niż E odpowiadająca próbce tworzywa litego ($E = 1168$ Pa). Widać wyraźny wpływ poziomu dozowania na wartość modułu Younga przy ściskaniu, tendencję wzrostu – do zawartości poroforu wynoszącej 1,0%, a następnie spadku – wraz ze wzrostem udziału poroforu w tworzywie. Zaobserwowano niejednorodne rozłożenie porów zarówno w przekrojach poprzecznych, jak i wzdłużnych próbek porowatego polipropylenu z udziałem poroforu 0,5% [4, 28].



Rys. 13. Zależność pracy przy ściskaniu próbek porowatego PP od zawartości poroforu

Fig. 13. Dependence of work done in the compression of porous PP samples on the content of blowing agent



Rys. 14. Zmiany odkształcenia względnego próbek porowatego PP w warunkach wzrastającego obciążenia i odciążenia próbek

Rysunek 13 ilustruje zależność pracy przy ściskaniu próbek porowatego PP od zawartości poroforu. Największa wartość pracy była potrzebna do ściskania próbek z litego PP, najmniejsza zaś w przypadku porowatego PP z udziałem 0,5 % poroforu, co może wskazywać na dużą niejednorodność struktury tej próbki i występowanie w niej pojedynczych, dużych porów. Próbki PP z zawartością 2 % poroforu ściskano wykonując pracę o ok. 4 razy większą niż praca ściskania próbek z udziałem 0,5 % poroforu, co wynika zapewne ze wzrostu jednorodności struktury porowatej.

Zależność odkształcenia od stopnia obciążenia i odciążenia próbek PP z uwzględnieniem zmiennej zawartości poroforu w tworzywie przedstawia rys. 14. Najmniejsza wartość odkształcenia charakteryzuje próbkę z udziałem 0,5 % poroforu, zapewne wiąże się to z występowaniem w strukturze tworzywa niejednorodnych, często pojedynczych porów o większych wymiarach. Wzrost zawartości poroforu prowadzi do otrzymania

struktury bardziej jednorodnej a więc i większej wartości odkształcenia. W przypadku odciążania na poziomie stopni 7–8, można zaobserwować większy powrót sprężystości próbek porowatych niż litych, różnica zaś odkształcenia próbek porowatych i litych odciążonych na poziomie stopnia 9–10 jest proporcjonalnie większa niż podczas obciążania próbek.

PODSUMOWANIE

Określono wpływ ilości użytego, chemicznego poroforu o endotermicznym charakterze rozkładu, na zachowanie się porowatego tworzywa pod wzrastającym okresowo obciążeniem ściskającym. Zaobserwowano, że wzrost zawartości poroforu w tworzywie powoduje zwiększenie udziału odkształcenia powrotnego, zależnego w dużej mierze od stopnia porowatości próbek.

LITERATURA

- Ashby M. F., Jones D. R.: „Materiały inżynierskie: kształtowanie struktury i właściwości, dobór materiałów”, WNT, Warszawa 1996.
- Bayer L.: *Kunststoffe* 1983, 73 (8), 444.
- Berghaus U., Wirtz R.: „Schaumen von Folien und Tafeln aus Polypropylen”, IKV-Seminar für Kunststoffverarbeitung, Aachen, 23–24 Oktober 1997.
- Bieliński M., Piszczek K., Sykutera D.: *Tworzywa Sztuczne w Budowie Maszyn*, PK Kraków 2003, str. 37–42.
- Błędzki A., Kirschling H., Fischer M., Egger P.: *Kunststoffe International* 2006, 1, 1.
- Broniewski T., Kapko J., Płaczek W., Thomalla J.: „Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych”, WNT, Warszawa 2000.
- Bociąga E.: „Wtryskiwanie mikroporujące (MuCell). Postęp w przetwórstwie materiałów polimerowych”, Politechnika Częstochowska, 2006, str. 36–42.
- Garbacz T., Samujło B.: *Polimery* 2008, 53, 471.
- Garbacz T., Samujło B., Jachowicz T.: „Foaming of extruded layers of telecommunication cables using endothermal foaming agents”, 21 Annual Meeting of The Polymer Processing Society, Lipsk 2005, str. 281.
- Lesca C., Pahl M.: *Kunststoffe* 1996, 86 (6), 831.
- Lübke G.: *Kunststoffe* 2002, 92 (12), 79.
- Michaeli W., Cramer A.: *Kunststoffe* 2006, 96 (12), 21.
- Samujło B., Sikora J. W., Kowalska B.: *Przetwórstwo Tworzyw* 2005, 6, 179.
- Sikora R.: *Polimery* 1996, 41, 580.
- Sikora R.: *Polimery* 1996, 41, 694.
- Sołtysik R., Bieliński M.: *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 2005, 3, 74.
- Uziąłło K., Zajchowski S.: „Recykulacja w Budowie Maszyn”, ATR-Sawo, Bydgoszcz 2003, str. 37–40.
- Kowalski S. J.: „Inżynieria materiałów porowatych”, Wydawnictwa Politechniki Poznańskiej, 2004.
- Materiały informacyjne firm: Clariant, Izo-Blok, Lifocolor, BASF, Anwil.

20. Dębski K., Magiera J., Pielichowski J.: *Polimery* 2001, **46**, 631.
21. Thermoplastische Partikel-schaumstoffe, VDI Verlag, 1993.
22. Wilczyński K.: „Reologia w przetwórstwie tworzyw sztucznych”, WNT, Warszawa 2001.
23. Żuchowska D.: „Polimery Konstrukcyjne”, WNT, Warszawa 1995.
24. Pfannschmidt O.: „Herstellung resorbierbarer Implantate mit mikrozellulärer Schumstruktur”, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Dissertation 2002.
25. Bieliński M., Burzyński P.: *Polimery* 2004, **49**, 36.
26. Bieliński M.: „Techniki porowania tworzyw termoplastycznych”, Wydawnictwa Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, 2004.
27. Bieliński M., Błachnio A., Muzyczuk P.: Materiały XXII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Ekologiczne i energooszczędne budownictwo EKOMILITARIS 2008”, Zakopane 2008, str. 37–44.
28. Błędzki A., Faruk O., Kirschling H., Kühn J., Jaszkievicz A.: *Polimery* 2006, **51**, 697.
29. Michaeli W., Pfannschmidt O., Habibi-Naini S.: *Kunststoffe* 2002, **92** (6), 48.
30. Sikora R.: „Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych. Podstawy logiczne, formalne i terminologiczne”, Politechnika Lubelska, Lublin 2006.

Otrzymano 25 III 2010 r.

INSTYTUT INŻYNIERII MATERIAŁÓW POLIMEROWYCH I BARWNIKÓW W TORUNIU
ODDZIAŁ ZAMIEJSCOWY FARB I TWORZYW W GLIWICACH



zaprasza do udziału
w IX Międzynarodowej Konferencji
pt.



ADVANCES IN PLASTICS TECHNOLOGY (POSTĘPY W TECHNOLOGII TWORZYW POLIMEROWYCH)

która odbędzie się w dniach **15–17 listopada 2011 r.** na terenie Międzynarodowych Targów Katowickich, **Katowice**, ul. Bytkowska 1b.

Przewodniczący Komitetu Naukowego — prof. dr hab. inż. Marian Żenkiewicz, Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników w Toruniu.

Przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego — mgr inż. Anna Pająk, Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników w Toruniu, Oddział Zamiejscowy Farb i Tworzyw w Gliwicach.

Tematyka Konferencji obejmuje:

- Nowości w zakresie bazy surowcowej dla tworzyw (polimery, pigmenty, napelniacze, środki pomocnicze i modyfikatory)
- Osiągnięcia w zakresie przetwórstwa tworzyw i ich stosowania
- Nowoczesne rozwiązania dotyczące maszyn i oprzyrządowania w przetwórstwie tworzyw
- Ochronę środowiska naturalnego, recykling, regulacje prawne
- Zagadnienia badawcze i rozwojowe oraz kontrolno-pomiarowe
- Badania rynku

Językiem konferencji będzie język angielski z symultanicznym tłumaczeniem na język polski.

Czas prezentacji referatu wynosi ok. 30 minut (wraz z dyskusją).

Wszystkie materiały, tj.: skrót referatu lub plakatu (do 120 słów), biografia autora (do 50 słów), pełny tekst referatu lub plakatu (do 10 stron formatu A4), powinny być dostarczone w języku angielskim w terminie do **30 maja 2011 r.** na adres: Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Oddział Zamiejscowy Farb i Tworzyw w Gliwicach, Komitet Organizacyjny Konferencji APT'11, mgr inż. Anna Pająk, ul. Chorzowska 50A, 44-100 Gliwice.

Koszt udziału w konferencji dla osoby wygłaszającej referat lub prezentującej poster wynosi 200 euro (brutto).

Będzie możliwość promocji firmy w formie wkładki reklamowej, plakatu lub stanowiska promocyjnego w czasie trwania konferencji.

Informacje o konferencji — mgr inż. Anna Pająk, tel. +48 (32) 231 9043; fax: +48 (32) 231 2674; e-mail: a.pajak@impib.pl, www.impib.pl