

Adam Gnatowski*, Dariusz Kwiatkowski, Włodzimierz Baranowski

Politechnika Częstochowska, Instytut Przetwórstwa Polimerów i Zarządzania Produkcją, al. Armii Krajowej 19c, 42-200 Częstochowa, Poland

** Corresponding author. E-mail: gnatowski@kpts.pcz.czyst.pl*

Otrzymano (Received) 09.02.2009

BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI ZMĘCZENIOWEJ I PEŁZANIA KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH Z NAPEŁNIACZEM PROSZKOWYM I WŁÓKNISTYM

Przedstawiono wyniki badań wytrzymałości zmęczeniowej na zginanie, zależności wytrzymałości zmęczeniowej od twardości oraz procesu pełzania kompozytu polipropylenu z włóknem szklanym, polipropylenu z talkiem oraz polistyrenu i polietylenu o małej i dużej gęstości. Badania wytrzymałości zmęczeniowej na zginanie przeprowadzono za pomocą urządzenia umożliwiającego obciążenie działające obukierunkowo na próbki z badanych materiałów polimerowych wytworzonych metodą wtryskiwania. Badanie pełzania przeprowadzono przy naprężeniu wywołanym w próbce, równym 5, 10, 20, 30 i 50 MPa. Badania wykonano dla próbek z polimerów i kompozytów wytworzonych metodą wtryskiwania przy optymalnych parametrach przetwórczych. Określono wytrzymałość zmęczeniową dla różnego typu badanych materiałów polimerowych. Ustalono wykres Wöhlera dla cykli symetrycznych przy zginaniu wahadłowym dla badanych materiałów. Również wyznaczono wpływ twardości, pełzania materiału i rodzaju napelnacza na wytrzymałość zmęczeniową podczas zginania. W przeprowadzonych badaniach w przypadku wytrzymałości zmęczeniowej odnotowano najwyższe wartości dla polipropylenu, a niższe dla jego kompozytów z napelniczem, szczególnie typu włóknistego. Niższe wartości wytrzymałości zmęczeniowej uzyskano również dla polistyrenu i polietylenu. Charakter zmian tych wartości wskazuje na zależność wytrzymałości zmęczeniowej od zmęczenia statycznego i twardości badanych materiałów polimerowych.

Słowa kluczowe: kompozyty, właściwości mechaniczne, włókno szklane, talk

THE RESEARCH OF FATIGUE STRENGTH AND CREEP OF THE POLYMER COMPOSITES WITH THE POWDER AND FIBRE FILLER

Polymer mixing with filler is presently one of the most effective and the most intensely developing methods of physical properties modification for polymers. Polymeric composites play crucial role in development of application of technological polymers. During last twenty years composites of polymers have gained on interest, as they have appeared as new group of polymeric materials with interesting and sometimes very specific properties. In this work the results of investigations of mechanical properties polystyrene, polyethylene, polypropylene and polypropylene with addition of glass fibre and talc were presented. The properties of the polymer composites depend significantly on the type of the components. That kind of influence manifests especially in the change of the mechanical properties. The investigations for the influence of filler and kind of polymer on the fatigue strength and creep during bending have been conducted. Research of fatigue strength was passed by means of the device making possible impromptu cyclical to bend samples from investigated polymer materials produced with the injection method. The process of the creep was passed at the tension called out in the sample equal 5, 10, 20, 30 and 50 MPa. Research were executed for samples from polymers and composites produced with the method of the injection at optimum-manufacturing parameters. The changes of the value of fatigue strength for the different type of investigated polymer materials was obtained. The graph of Wöhler for symmetrical cycles at the pendulum-inflexion for investigated materials was fixed. Also the essential influence on fatigue strength a note during the fall of the creep and the hardness of the polypropylene composite of the both with the powder filler as and to glass fibre filler, the polystyrene and the polypropylene was made. The influence of these properties on fatigue strength on the inflexion was qualified. In passages research in the chance of fatigue strength a note highest values of the polypropylene, and lower for his composites with the filler, especially the fibrous type was made. Lower values of fatigue strength also for the polystyrene and the polythene was obtained. The character of changes of these values evidences the dependence of fatigue strength from the susceptibility on the statical fatigue and hardnesses of investigated polymer materials.

Keywords: composites, mechanical properties, glass fibre, talc

WSTĘP

Właściwości polimerów konstrukcyjnych pozwalają na szerokie zastosowanie w produkcji elementów konstrukcyjnych wielu maszyn i urządzeń. Poprzez modyfi-

kację metodami chemicznymi lub fizycznymi polimerów uzyskać można poszerzenie zakresu ich zastosowania. Kompozyty tworzyw polimerowych należą do coraz sze-

rzej stosowanych materiałów konstrukcyjnych. Stosując kompozyty jako materiały konstrukcyjne, należy znać ich właściwości fizyczne i użytkowe oraz ich technologię przetwórstwa, a także możliwości zastosowania. Istnieje potrzeba prowadzenia prac badawczych nad właściwościami tych materiałów oraz nad metodami kształtowania ich właściwości fizycznych i użytkowych. Działania w kierunku otrzymywania kompozytów o specyficznych właściwościach są bowiem efektywniejsze ekonomicznie od poszukiwań nowych materiałów [1, 5-12]. Rodzaj zastosowanego napełniacza ma wpływ na parametry gotowego wyrobu, co pociąga za sobą konieczność przeprowadzenia badań, aby można było ocenić, w jakim stopniu uległy zmianie właściwości polimeru. W pracy podjęto badania wpływu napełniacza i jego rodzaju na wytrzymałość zmęczeniową podczas zginania kompozytu polipropylenu, a także badania porównawcze innych wybranych polimerów. Określono zależność wytrzymałości zmęczeniowej od podatności na pełzanie oraz twardości badanych materiałów polimerowych.

MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Do badań użyto polistyrenu, polietylenu, polipropylenu oraz kompozytów polipropylenu z talkiem, a także z włóknem szklanym. Próbkę do badań wykonano metodą wtryskiwania przy użyciu wtryskarki typu KRAUSS MAFFEI KM65-160C1. Parametry przetwórstwa zestawiono w tabeli 1.

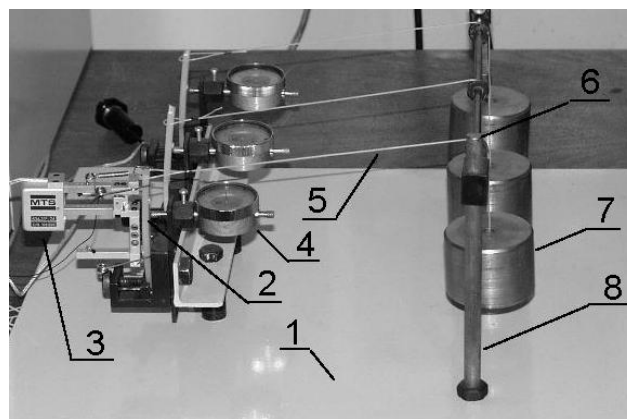
TABELA 1. Parametry przetwórstwa badanych materiałów polimerowych

TABLE 1. Parameters of the processing of investigated polymer materials

Skład próbki / parametry przetwórstwa	PS	PE LD	PE HD	PP Malen P J-401	PP+30% talku	PP+30% włókna szklanego
Ciśnienie wtrysku bar	500	500	600	500	600	600
Ciśnienie docisku bar	250	250	300	250	300	300
Czas wtrysku, s	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Czas docisku, s	25	10	10	10	25	25
Czas chłodzenia, s	20	15	15	15	20	20
Siła zwarcia, kN	650	650	650	650	650	650
Temperatura wtryskiwania, °C	210	210	230	230	230	230
Temp. formy, °C	40	40	40	40	40	40

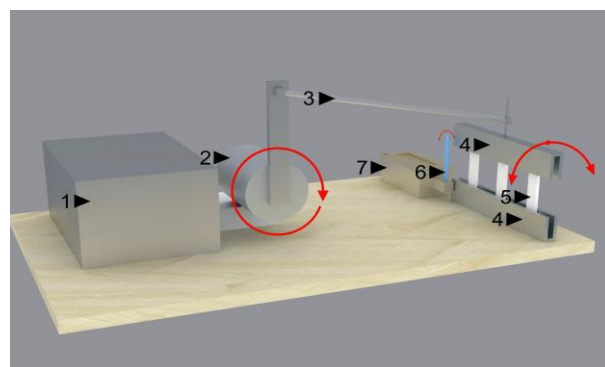
Badania pełzania podczas zginania prostego przeprowadzono na stanowisku pomiarowym przedstawionym na rysunku 1. Próbkę do badań poddano stałemu naprę-

żeniu $\sigma = 5, 10, 20, 30$ i 50 MPa. Określono odkształcenia w ciągu 60 godzin. Badania przeprowadzono w temperaturze otoczenia $23 \pm 0,5^\circ\text{C}$ oraz w wilgotności względnej $50 \pm 5\%$. Pomiar odkształcenia realizowany był przez czujnik pomiarowy. Badania wykonano jednocześnie dla 3 próbek z każdego rodzaju wytworzonych materiałów polimerowych. Badania twardości badanych materiałów polimerowych wykonano zgodnie z przyjętymi normami. Badania wytrzymałości zmęczeniowej wykonano na urządzeniu przedstawionym na rysunku 2.



Rys. 1. Urządzenie pomiarowe do badania pełzania: 1 - podstawa, 2 - próbka, 3 - ekstensometr, 4 - czujnik pomiarowy, 5 - linka, 6 - rolka, 7 - obciążnik, 8 - rama urządzenia

Fig. 1. The measuring device to the investigation of the creep: 1 - fixed link, 2 - sample, 3 - extensometer, 4 - the measuring sensor, 5 - line, 6 - roller, 7 - sinker, 8 - column



Rys. 2. Urządzenie do badania wytrzymałości zmęczeniowej: 1 - zasiliacz, 2 - silnik, 3 - ramię, 4 - gniazda mocujące, 5 - próbka, 6 - dźwignia licznika, 7 - licznik

Fig. 2. The device use to the investigation of strength fatigue: 1 - feeder, 2 - engine, 3 - shoulder, 4 - sockets, 5 - sample, 6 - the lever of the metre, 7 - metre

Urządzenie zostało skonstruowane do potrzeb przebadania próbek na zmęczenie przez cykliczne przeginięcie o ustalony kąt o wartości 90° . Prędkość przeginięcia wynosiła 120 cykli na minutę. Próbkę mocowano w trzech gniazdach.

Do oceny wytrzymałości zmęczeniowej zastosowano metodę Wöhlera. Jej istota polega na obciążeniu okresowo zmiennym o stałej amplitudzie. Wyznaczone liczby cykli, aż do przelomu zmęczeniowego próbek, stanowią

podstawę wykresu zmęczeniowego, sporządzonego na ogół w układzie współrzędnych logarytmicznych. Asymptota krzywej zmęczenia określa na osi rzędnych nieograniczoną trwałą wytrzymałość zmęczeniową. W praktyce, w celu zmniejszenia pracochłonności badań, przyjmuje się graniczną liczbę cykli zmęczeniowych, tzw. bazę, po której przekroczeniu przerywa się próbę, jeżeli na danym poziomie naprężenia nie nastąpi przełom zmęczeniowy.

Średnią wartość umownej wytrzymałości zmęczeniowej Z_{go} oblicza się ze wzoru [2]

$$Z_{go} = \delta_{go} + \Delta\delta \left[\frac{\sum_{i=0}^2 (in_i)}{n} \pm 0,5 \right] \quad (1)$$

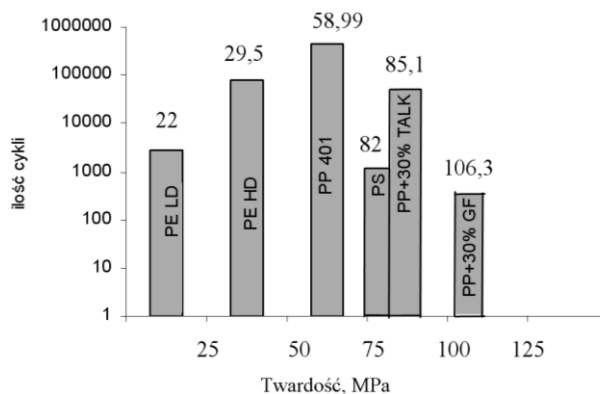
gdzie: δ_{go} - wartość najniższego poziomu naprężenia rzadziej występującego zdarzenia zniszczenia lub jego braku, $i = 0, 1, 2$ - numer kolejny poziomu naprężenia, n_i - 3, 6, 4 - liczba zdarzeń rzadziej występujących na odpowiednim poziomie naprężenia, n - ogólna liczba rzadziej występujących zdarzeń, $\Delta\delta$ - różnica między kolejnymi wartościami poziomu naprężenia, zawiera się w granicach $0,2 \div 2$ wartości spodziewanego odchylenia standardowego.

WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Wyniki badań wytrzymałości zmęczeniowej przedstawiono na rysunku 3. Określono ilość przegięć przed pęknięciem dla próbek z polistyrenu, polietylenu, polipropylenu i kompozytów polipropylenu z napełniaczem proszkowym oraz włóknistym. Największą wytrzymałość na zmęczenie obukierunkowe zarejestrowano dla polipropylenu. Maksymalna ilość cykli przegięć dla polipropylenu wynosiła 223 000, dla polietylenu o dużej gęstości - 38 500 oraz dla kompozytu polipropylenu z 30% zawartością talku - 26 000. Najmniejszą ilość cykli zarejestrowano w przypadku badania polietylenu o małej gęstości - 1400, polistyrenu - 650 i polipropylenu z 30% zawartością włókna szklanego - 210 cykli. Wraz z dodaniem napełniacza właściwości wytrzymałościowe materiału na przeginięcie maleją. Dodanie talku w ilości 30% wpływa na zmniejszenie wytrzymałości zmęczeniowej o połowę w odniesieniu do polipropylenu, natomiast w przypadku polipropylenu z 30% zawartością włókna szklanego wytrzymałość ta zmniejsza się nawet 100-krotnie. Polietylen PELD wykazuje małą odporność na przegięcia, natomiast polietylen PEHD charakteryzuje się około 10 razy większą wytrzymałością od polietylenu małej gęstości.

Dodawanie napełniaczy w postaci talku (napełniacz proszkowy) czy włókna szklanego (napełniacz włóknisty) w znacznym stopniu zmniejsza wytrzymałość zmęczeniową na zginanie. Spowodowane jest to tym, że napeł-

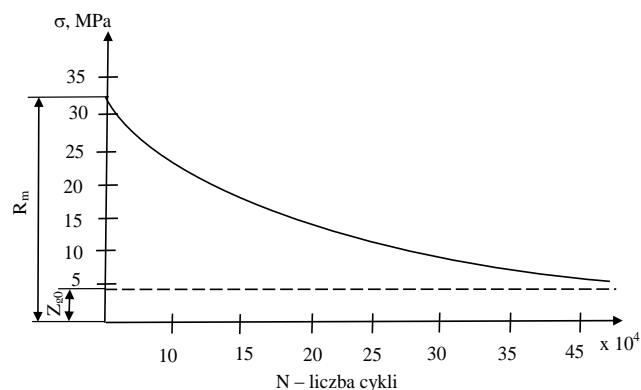
niacz zwiększa sztywność, twardość, na co wskazują wyniki przeprowadzonych badań twardości materiałów wyjściowych.



Rys. 3. Ilości cykli przegięć w zależności od twardości wyjściowej badanych materiałów polimerowych

Fig. 3. The quantity of cycles depending of the exit hardness of investigated polymer materials

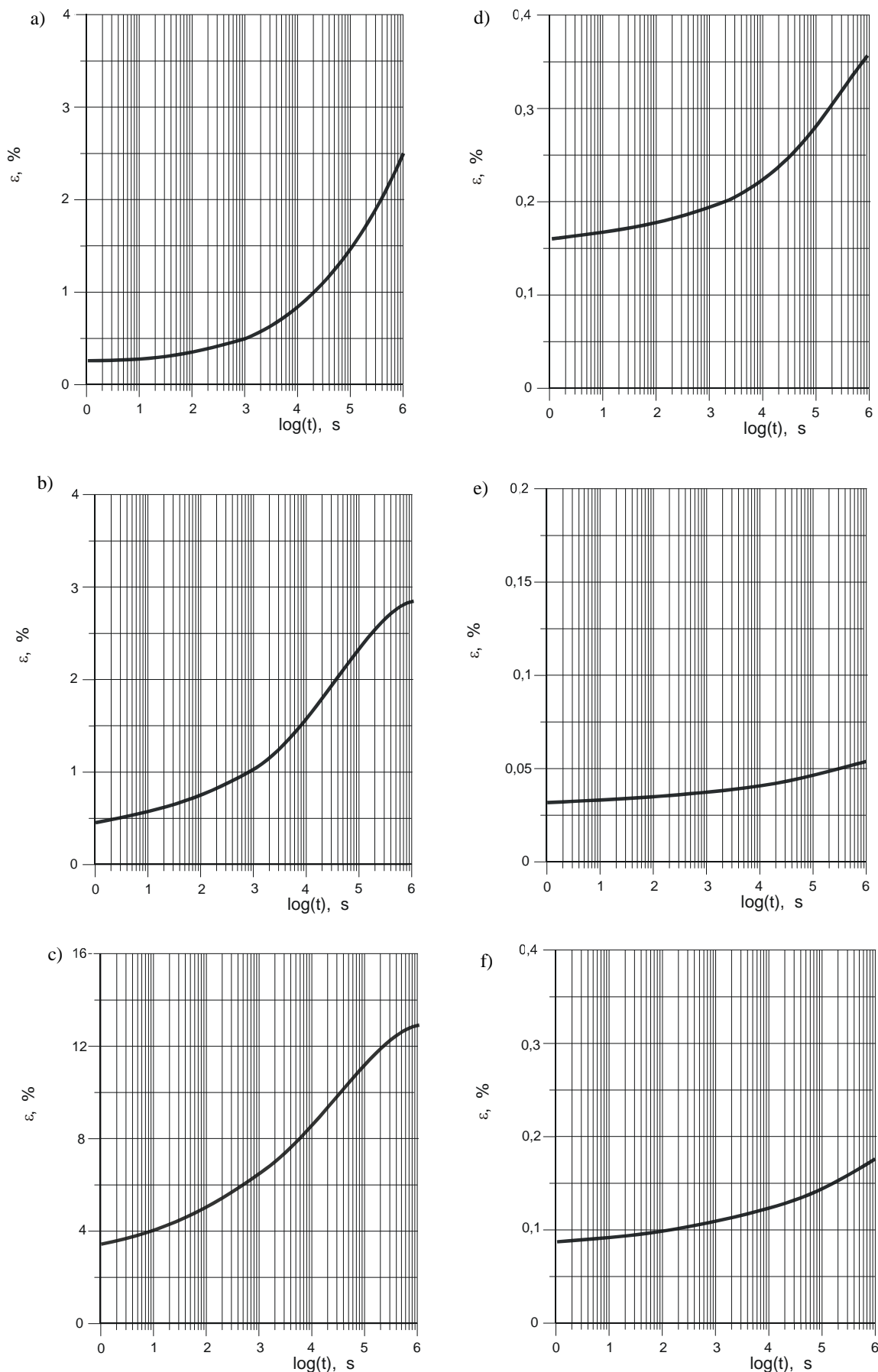
Powtarzające się okresowo zmienne naprężenia powodują osłabianie materiału polimerowego i w pewnych warunkach mogą doprowadzić do zniszczenia próbki. Doświadczalnie stwierdzono, że im dłużej trwa „prze-ginięcie” tworzywa, tym mniejsze naprężenie potrzebne jest do jego zniszczenia. Dla tworzyw polimerowych istnieje jednak graniczna wartość naprężenia, poniżej którego zniszczenie nie następuje. Graniczna wytrzymałość zmęczeniowa wynosi zazwyczaj $10 \div 15\%$ wytrzymałości statycznej, dla tworzyw kompozytowych zaś ok. 25% . Jeśli kształtka ma otwór lub karb, wytrzymałość zmęczeniowa spada o kolejne $15 \div 35\%$ [2-12]. Przykładowy wykres Wöhlera dla PP uzyskany z przeprowadzonych badań przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Wykres Wöhlera dla cykli symetrycznych przy zginaniu wahadłowym polipropylenu

Fig. 4. The graph of Wöhler for symmetrical cycles at the oscillatory bending of the polypropylene

Jeśli kształtkę z tworzywa polimerowego będziemy poddawać kolejno szybkiemu rozciąganiu i ścisaniu, w układzie naprężenie-odkształcenie, to zostanie wykreślona charakterystyczna pętla po odprężeniu, bowiem pozostaje pewne trwałe odkształcenie.



Rys. 5. Przebiegi zmian odkształcenia ε w czasie t podczas pełzania dla naprężenia 50 MPa: a) PS, b) PEHD, c) PELD, d) PP, e) PP+30GF, f) PP+30T
 Fig. 5. Runs of changes of deformation ε in time t during creeping for the tension 50 MPa: a) PS, b) PEHD, c) PELD, d) PP, e) PP+30GF, f) PP+30T

Różnica pomiędzy energią zużytą podczas odkształcenia a energią oddaną w czasie powrotu po odkształceniu wydziela się w postaci ciepła. Zjawisko to nosi nazwę histerezy, a ilość pochłoniętej energii odpowiada powierzchni histerezy [2]. Podczas badań wytrzymałości zmęczeniowej tworzyw polimerowych, w warunkach założonej stałej amplitudy naprężeń oraz odkształceń, ulega zmianie wartość modułu sprężystości ze względu na występujące pełzanie lub relaksację [3, 4, 12].

Z tego powodu w pracy wykonano również badania pełzania wytworzonych próbek materiałów polimerowych (rys. 5). Zmiana wartości modułu sprężystości występuje nawet przy niewielkich odkształceniach lub naprężeniach. Powodem takich zmian jest nagrzewanie się próbek w czasie przeprowadzania badań. Tworzywa polimerowe wykazują w temperaturach użytkowania dużą stratność mechaniczną, a biorąc pod uwagę ich małe przewodnictwo cieplne, można spodziewać się, że próbki będą się znacznie nagrzewać nawet przy małych częstotliwościach obciążeń. Stopień nagrzewania się próbek wpływający na wytrzymałość zmęczeniową zależy od wielkości przyłożonego naprężenia, częstotliwości obciążeń, modułu sprężystości badanego tworzywa, wielkości strat mechanicznych tworzywa, warunków oddawania ciepła (wymiary próbek, właściwości fizyczne i cieplne badanego tworzywa, środowisko badania itp.). Stwierdzono doświadczalnie, że nagrzewanie się próbek powoduje zmniejszanie się wytrzymałości zmęczeniowej polimerów. Spadek wytrzymałości zmęczeniowej wskutek nagrzewania się próbek występuje zarówno w tworzywach polimerowych z napełniaczami włóknistymi, jak i w tworzywach termoplastycznych sztywnych. Tworzywa polimerowe termoplastyczne nagrzewają się znacznie ze wzrostem częstotliwości obciążeń. Wytrzymałość zmęczeniowa na przeginięcie wynosi kilkaset tysięcy przegięć.

Zjawisko pełzania polega na powolnym odkształcaniu się ciała stałego pod wpływem stałego naprężenia. Na rysunku 5 przedstawiono przykładowe przebiegi pełzania wykonane dla czterech znanych tworzyw termoplastycznych oraz dwóch kompozytów polimerowych.

Wpływ czasu na naprężenia graniczne wyznaczono podczas badań pełzania, poddając kolejno identyczne próbki różnym stałym naprężeniom: 5, 10, 20, 30 i 50 MPa i określono czas zmęczenia statycznego oraz czas płynięcia na zimno.

Określanie czasu zmęczenia statycznego polega na określeniu czasu, w którym pojawiły się na badanych próbkach rysy naprężeniowe. Zapoczątkowanie płynięcia na zimno można ocenić na podstawie odchylenia się krzywej pełzania od przebiegu monotonicznego. Na krzywych pełzania kompozytów na osnowie polipropylenu z włóknem szklanym w ciągu 60 godz. nie zauważono płynięcia na zimno. W kompozycie polipropylenu z 30% zawartością talku zanotowano wyraźne płynięcie na zimno, ale przy naprężeniu 50 MPa. Najwyraźniejszą krzywą płynięcia na zimno wyznaczono dla PELD. Najwcześniej też na próbkach PELD zaobserwowano rysy

naprężeniowe, które określają czas zmęczenia statycznego. W kompozytach na osnowie znanego tworzywa termoplastycznego polipropylenu napełnionego włóknem szklanym bądź talkiem czas zmęczenia statycznego był najdłuższy.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania umożliwiły określenie wytrzymałości zmęczeniowej na zginanie polistyrenu, polietyleny, polipropylenu i jego kompozytów z włóknem szklanym i talkiem oraz określenie wpływu ich twardości wyjściowej i podatności na pełzanie na wytrzymałość zmęczeniową.

Wykonane badania wytrzymałości zmęczeniowej na zginanie i otrzymane wyniki miały na celu przeprowadzenie przeglądu wybranych materiałów polimerowych w celu określenia możliwości wykorzystania ich do specyficznych zastosowań, np. w konstrukcjach różnego typu jako zawiasy. W wyniku przeprowadzonych badań wybranych tworzyw polimerowych oraz kompozytów z różnego typu napełniaczami prowadzonych pod kątem wytrzymałości zmęczeniowej można stwierdzić, że najodpowiedniejszym tworzywem polimerowym z badanych materiałów, mogąym służyć do budowy konstrukcji wszędzie tam, gdzie obciążenie ma charakter zmęczeniowy zarówno statyczny, jak i dynamiczny, jest polipropylen. Na podstawie badań stwierdzono istotny wpływ twardości i zmęczenia statycznego badanych materiałów na wytrzymałość zmęczeniową na zginanie.

LITERATURA

- [1] Żuchowska D., Polimery konstrukcyjne, WNT, Warszawa 1995.
- [2] Mały poradnik mechanika, Praca zbiorowa, Tom 1, WNT, Warszawa 1996.
- [3] Broniewski T., Iwasiewicz A., Kapko J., Płaczek W., Tworzywa sztuczne, Metody badań i ocena własności tworzyw sztucznych, WNT, Warszawa 2000.
- [4] Szlezynier W., Tworzywa sztuczne, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1996.
- [5] Kellar K., Modyfikacja polimerów, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1992.
- [6] Łaczyński B., Tworzywa wielkocząsteczkowe, Rodzaje i własności, WNT, Warszawa 1982.
- [7] Sikora R., Tworzywa wielkocząsteczkowe, Rodzaje, właściwości i struktura, Politechnika Lubelska, Lublin 1991.
- [8] Gnatowski A., Koszkuł J., Investigations of the influence of compatibilizer and filler type on the properties of chosen polymer blends, Journal Materials Processing Technology 2005, 162-163, 52-58.
- [9] Pielichowski J., Puszyński A., Technologia tworzyw sztucznych, WNT, Warszawa 1994.
- [10] Ferry J.D., Lepkosprężystość polimerów, WNT, Warszawa 1965.
- [11] Zawadzki J., Problemy wyteżenia i znużenia polimerów jako tworzyw konstrukcyjnych, PWN, Warszawa 1978.
- [12] Wilczyński A.P., Mechanika polimerów w praktyce konstrukcyjnej, WNT, Warszawa 1984