

EMIL SASIMOWSKI, JERZY JÓZWIK

Politechnika Lubelska

Wydział Mechaniczny

ul. Nadbystrzycka 36, 20-950 Lublin

sasim@archimedes.pol.lublin.pl

## Wpływ włókien szklanych na zjawisko powolnego wzrostu pęknięć wyprasek polipropylenowych

### THE EFFECT OF GLASS FIBERS ON THE RESISTANCE TO SLOW CRACK GROWTH IN POLYPROPYLENE MOLDED PIECES

**Summary** — Slow crack growth was studied in molded pieces of virgin Malen P J-400 and of glass fiber-reinforced (10%) Malen P J-400 polypropylene (PP) (Xenopren PPGF10-CC composite). The Xenopren PPGF10-CC composite samples were examined for 264—1104 h and showed a reduced resistance (Table 2, Fig. 8). The virgin PP samples did not crack in 1000 h, presumably because the stress cracks propagating along the load axis (cf. [18]) augmented the tendency to plastic deformation and prevented the fracture.

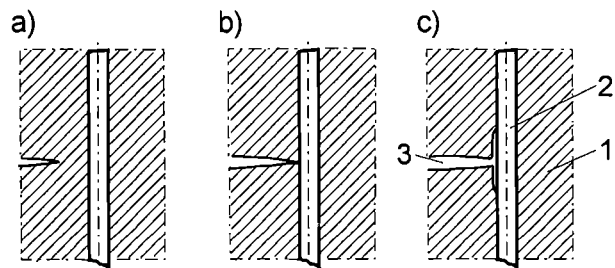
**Key words:** polypropylene, glass fiber, molded pieces, slow crack growth, load axis.

Powolny wzrost pęknięć (*slow crack growth* — SCG) pod działaniem środków powierzchniowo czynnych określa się często (pojęciem przyjętym w dziedzinie metali) jako środowiskową korozję naprężeniową (*environmental stress cracking resistance* — ESCR). Należy podkreślić, że w przeciwieństwie do metali powstawanie mikropęknięć w tworzywach oznacza wyłącznie proces fizyczny, któremu nie towarzyszą żadne zmiany chemiczne w tworzywie, tak więc pojęcie „korozja” ma tutaj charakter umowny. Na szczególną uwagę zasługuje to zjawisko w takich wytworach, jak na przykład pojemniki na oleje, benzynę i inne chemikalia, rurociągi do cieczy lub gazów, izolacje kabli. Pęknięcie wytworów z polietylenu i polipropylenu pod wpływem naprężeń w środowisku cieczy, par lub gazów jest od dawna przedmiotem badań [1—14]. W Polsce model tego zjawiska przedstawia Wilczyński [15], Bursa [16], Roszkowski [17] oraz Piórkowska [18].

Istnieją publikacje, w których autorzy stwierdzają, że zwiększenie odporności tworzyw na powolny wzrost pęknięć można uzyskać w wyniku wzmacniania ich dodatkiem kauczuku lub ABS [18, 19]. Innym sposobem ograniczenia wzrostu mikropęknięć w rurach jest wytwarzanie rur dwuwarstwowych w procesie współwytłaczania [11].

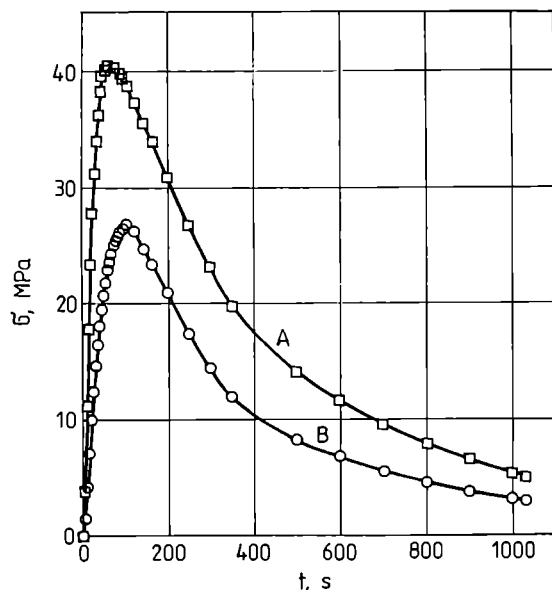
Z literatury źródłowej [16] wiadomo, że kompozyty polimerowe wykazują większą odporność na pęknięcie niż polimery nienapełnione, ponieważ napełniacze włókniste zapobiegają rozwojowi mikropęknięcia, co ilustruje rys. 1. W miarę zbliżania się mikropęknięcia do włókna narasta naprężenie przed jego czołem, co powoduje lokalne oddzielenie się osnowy polimerowej od

włókna, oznaczające „stępienie się” mikropęknięcia oraz chwilowe zatrzymanie jego ruchu. Zjawisko to ma znaczenie jedynie w przypadku mikropęknięć zorientowanych prostopadle do włókien. Kompozyty z włóknem szklanym mają na ogół nierównomiernie rozłożone włókna. W związku z tym, osłabienia koncentrują się przede wszystkim w miejscach krzyżowania pasm włókien elementarnych, w których następuje niszczenie na powierzchniach granic fazowych, gdzie występują mikropęknięcia. Te ostatnie stają się inicjatorami rozwoju pęknięć, przechodzących z obszarów o zwiększonej zawartości włókien do objętości spoiwa.



Rys. 1. Mechanizm hamowania wzrostu mikropęknięcia w kompozytach [17]: a) rozwój mikropęknięcia, b) zetknięcie mikropęknięcia z włóknem, c) zatrzymanie mikropęknięcia i oddzielenie się spoiwa od włókna; 1 — spoiwo, 2 — włókno, 3 — mikropęknięcie

Fig. 1. The mechanism of crack growth inhibition in composites [17]: a — microcrack growth, b — contact of microcrack with fiber, c — inhibition of microcrack and separation of binder from fiber, 1 — binder, 2 — fiber, 3 — microcrack



Rys. 6. Przebieg zmian naprężeń cieplnych ( $\sigma$ ) w funkcji czasu ( $t$ ) w przypadku chłodzenia nierównomiernego (z rys. 4): A — naprężenia w warstwie 1. (warstwa skrajna makrostruktury — strona lewa wykresu z rys. 4), B — naprężenia w warstwie 10. (warstwa skrajna makrostruktury — strona prawa wykresu z rys. 4)

Fig. 6. Thermal stresses ( $\sigma$ ) in relation to time ( $t$ ) on nonuniform cooling (cf. Fig. 4): A — stresses in outer right ply, B — stresses in outer left ply

tem prawidłowego projektowania ich makrostruktury. Potwierdza to analiza teoretycznych zależności przedstawionych w artykule, ujawniająca jednocześnie złożoność oraz pracochłonność obliczeń. Zależności teoretyczne w wystarczającym stopniu ujawniają wpływ konstrukcji makrostruktury, rodzajów i właściwości warstw elementarnych jak również parametrów cieplnych procesu kształtowania na możliwość uszkodzenia lub zniekształcenia wytworów z TWW. Rozpoznanie przebiegu i skutków tego procesu może znacznie ułatwić zastosowanie programów komputerowych. Jak to wynika z danych przedstawionych w artykule, bardzo skuteczne mogą być programy wykorzystujące typowe i powszechnie dostępne arkusze kalkulacyjne, np. „Excel”. Możliwość oszacowania skutków technologicz-

nych zastosowanej konstrukcji makrostruktury może w istotny sposób przyspieszyć proces projektowania wytworu i znacznie zmniejszyć koszty uruchomienia produkcji. Warunkiem koniecznym jest dysponowanie pełnym i rzetelnym zasobem informacji o właściwościach sprężystych oraz cieplnych składników (warstw elementarnych) zaprojektowanej makrostruktury a także danych o warunkach wymiany ciepła w procesie kształtowania wytworu.

#### LITERATURA

1. Krywult B.: *Polimery* 2001, 46, 673.
2. Middleton D. H.: „Composite materials in aircraft structures”, wyd. Longman Group UK Limited 1990, str. 50—65.
3. Hahn H. T., Pagano N. I.: *J. Compos. Mater.* 1975, nr 9, 91.
4. Hahn H. T.: *J. Compos. Mater.* 1976, nr 10, 266.
5. Obrazcov I. F., Tomashevskii T.: *Mekh. Komp. Mater.* 1987, nr 4, 671.
6. Bogetti T. A., Gillespie J. R.: *J. Compos. Mater.* 1991, nr 3, 239.
7. Chapman T. J., Gillespie J. W. i in.: *J. Compos. Mater.* 1990, nr 6, 616.
8. Krywult B.: „Naprężenia cieplne w procesie wytwarzania wyrobów z TWW”, I Konferencja Naukowo-Techniczna „Polimery i kompozyty konstrukcyjne”, Kozubnik, październik 1995, str. 200—206.
9. Peters P. W.: *J. Compos. Mater.* 1984, nr 11, 545.
10. Stango R. J., Wang S. S.: *ASME* 1984, 106, 48.
11. Afutov N. A., Zinovev P. A., Popov V. G.: „Raschiot mnogoslownykh plastin i obolochek iz kompozicionnykh materialov”, wyd. Mashinostroenie, Moskwa 1984, str. 28—35.
12. Borkowski M., Puciłowski K.: „Mechanika techniczna kompozytów”, wyd. Politechniki Warszawskiej 1984.
13. Wilczyński A. P.: „Polimerowe kompozyty włókniste”, Warszawa, WNT 1996.
14. Katalog firmy Vetrotex „Glass fibre booklet”, 1997.

Otrzymano 8 XI 2000 r.

Jak wiadomo, w kompozytach z włóknem szklanym duży wpływ na ich właściwości wywierają takie czynniki jak rodzaj włókien, ich zawartość i orientacja, adhezja do polimeru, metoda i warunki przetwórstwa kompozytu oraz warunki użytkowania wytworu.

Kaliske [20] stwierdza, że w kompozytach przetwarzanych metodą wtryskiwania nie ma przypadkowości ułożenia włókien i przedstawia, w jaki sposób właściwości kompozytów przetwarzanych wtryskowo zależą od udziału objętościowego włókien. Odporność na pękanie kompozytu poliamidowego z włóknem szklanym rośnie wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien wzmacniających. Kaliske nie uwzględnia jednak przy tym odporności kompozytu na powolny wzrost pęknięć. W literaturze przedmiotu nie znaleźliśmy opisu wpływu włókien szklanych na zjawisko SCG.

Piórkowska [18], opisując mechanizm powstawania rys naprężeniowych w polimerach amorficznych w stanie szklistym, stwierdziła, że za skłonność do plastycznej deformacji odpowiedzialne są rysy naprężeniowe, w których, w odróżnieniu od mikropęknięć, zachowana jest ciągłość materiału; najczęściej pękanie polimeru jest wywołane obecnością w nim cząstek zanieczyszczeń nieorganicznych o wymiarach mikronowych.

Celem badań opisanych w dalszym tekście było określenie wpływu stałej (10-proc.) zawartości włókien szklanych na SCG w próbkach PP przetwarzanych wtryskowo w przypadku, gdy kierunek obciążenia w trakcie pomiaru SCG pokrywa się z kierunkiem przepływu tworzywa w formie wtryskowej.

## CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

### Materiały

W badaniach wykorzystano polipropylen „Malen PJ-400”, produkowany przez Petrochemię Płock SA oraz ten sam gatunek PP wzmocniony włóknem szklanym (w ilości 10%) i wytwarzany w Spółdzielni Pracy Chemików XENON w Łodzi pod nazwą handlową „Xenopren PPGF10-CC”. Według zaleceń producenta [21] ten wzmocniony polipropylen służy m.in. do wykonywania wytworów wtryskowych mających zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym, elektrotechnicznym oraz w artykułach gospodarstwa domowego.

Przygotowując wymienione tworzywa do badań określono ich masowy wskaźnik szybkości płynięcia (MFR) w temp. 190°C pod obciążeniem nominalnym  $m = 2,16$  kg [22]. Wskaźnik ten w przypadku „Malenu PJ-400” wyniósł 1,71 g/10 min, a „Xenoprenu PPGF10-CC” — 1,27 g/10 min.

Jako substancję powierzchniowo czynną wykorzystano 20-proc. roztwór wodny „Rokafenolu N8” [C<sub>9</sub>H<sub>19</sub>-C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>-O-(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>H] stanowiący produkt addycji nonyfenolu do tlenu etylenu. Jest to odpowiednik „Igepalu CO 630” zalecanego w normie [24].

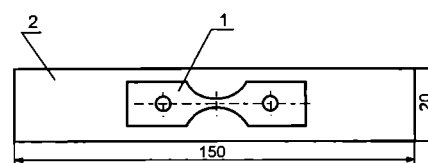
### Metody badań

Z badanych tworzyw wykonano za pomocą wtryskarki typu CS88/63 100 sztuk wyprasek wtryskowych w kształcie prostokątnych płytek o wymiarach 20 x 150 x 1 mm. Proces wtryskiwania [23] przeprowadzono w warunkach przedstawionych w tabeli 1.

Tabela 1. Warunki procesu wtryskiwania  
Table 1. The injection molding operating parameters

Rodzaj tworzywa		„Malen PJ-400”	„Xenopren PPGF 10-CC”
Liczba wyprasek		50	50
Temperatura strefy zasypu, °C		25	25
Temperatura strefy układu uplastyczniającego, °C	I	220	230
	II	225	235
	III	230	240
	IV	235	245
Temperatura formy, °C		40	45
Ciśnienie w układzie hydraulicznym wtryskarki, MPa		11	11
Czas, s	wtryskiwania	6	6
	uplastyczniania	3	3
	chłodzenia wypraski	25	25

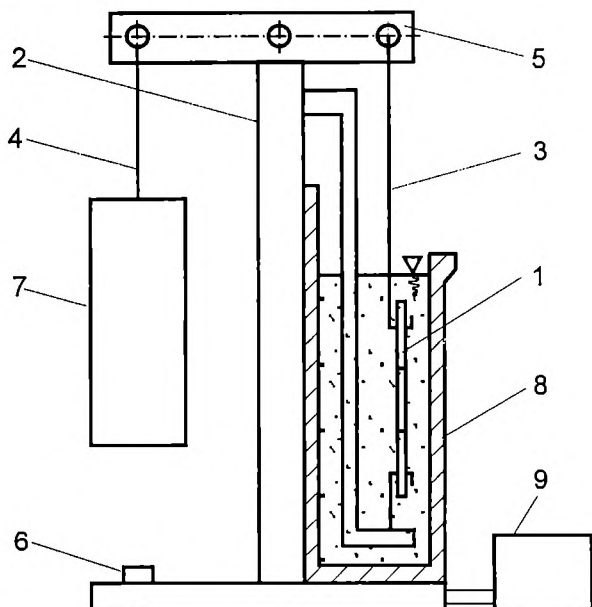
Z uzyskanych wyprasek zostały wycięte próbki w kształcie wiosełek, spośród których do badań odporności na powolny wzrost pęknięć wybrano metodą losową po 10 sztuk wykonanych z każdego tworzywa (rys. 2).



Rys. 2. Schemat sposobu wycinania próbek z wyprasek wtryskowych; 1 — próbka do badań odporności na powolny wzrost pęknięć, 2 — wypraska wtryskowa

Fig. 2. Blanking of samples from molded pieces: 1 — sample, 2 — molded piece

Przeprowadzono pięć serii pomiarów czasu pęknięcia, w których równocześnie badano po 5 próbek wykonanych z „Malenu PJ-400” i z „Xenoprenu PPGF10-CC”. Wykorzystano do tego celu stanowisko do badań odporności na powolny wzrost pęknięć tworzyw w środowisku substancji powierzchniowo czynnych w warunkach stałego naprężenia rozciągającego według [24, 25]. Schemat budowy tego stanowiska przedstawia rys. 3. Do kontroli i stabilizacji temperatury środka powierzch-



Rys. 3. Schemat urządzenia do badania odporności na powolny wzrost pęknięć w środowisku substancji powierzchniowo czynnych w warunkach stałego naprężenia rozciągającego: 1 — próbka badana, 2 — stojak, 3 — układ zawieszenia próbek, 4 — układ mocowania obciążników, 5 — układ dźwigni dwuramiennych, 6 — układ rejestrujący czas pęknięcia próbki, 7 — obciążnik, 8 — wanna z roztworem środka powierzchniowo czynnego, 9 — układ regulacji temperatury

Fig. 3. A slow crack growth testing apparatus operated in a surfactant medium and under constant tensile stress conditions: 1 — sample, 2 — stand, 3 — sample suspension system, 4 — load fastening system, 5 — double-arm lever system, 6 — crack moment registering system, 7 — load, 8 — surfactant solution vessel, 9 — temperature controller

niowo czynnego zastosowano elektroniczny dwustanowy regulator temperatury RET 30s, umożliwiający pomiar temperatury z dokładnością do  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

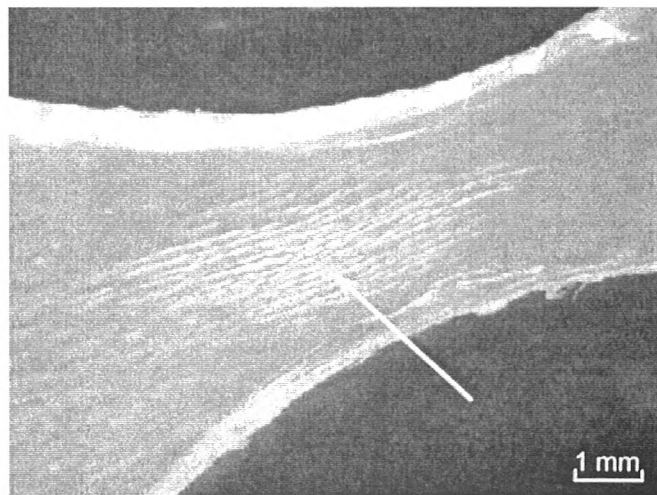
Liczbowe wyniki badań opracowano obliczając średnią arytmetyczną ( $\bar{t}$ ) i odchylenie standardowe ( $S_t$ ).

Zdjęcia badanych próbek wykonano w stanowisku laboratoryjnym opisanym w publikacji [26].

## WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

Podczas badań zaobserwowaliśmy, że liczne rysy naprężeniowe ustawione w kierunku osi obciążenia próbek bez włókien szklanych nie rozwijały się — próbki nie pękały (rys. 4 i 5). Istnienie więc licznych rys naprężeniowych w polimerach (w przypadku tzw. srebrzenia) nie zawsze jest związane z powstawaniem mikropęknięć i z kruchym przelomem.

W próbkach z włóknem szklanym przed badaniem i po badaniu odporności na powolny wzrost pęknięć nie powstawały rysy naprężeniowe (rys. 6 i 7). Mikropęknięcia, które doprowadziły do przelomu tych próbek



Rys. 4. Zdjęcie próbki wyciętej z wypraski wtryskowej („Malen PJ-400”) przed badaniem odporności na powolny wzrost pęknięć z zaznaczonymi rysami naprężeniowymi powstałymi podczas wycinania próbki, ustawionymi w kierunku przepływu tworzywa w formie wtryskowej

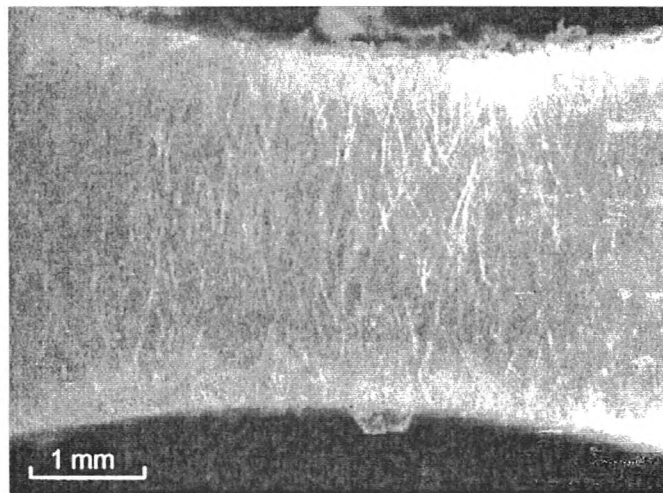
Fig. 4. A photo of the sample blanked from a Malen P J-400 PP molded piece to be tested for slow crack growth with marked stress cracks formed on blanking and seen to follow the direction of polymer flow inside the mold



Rys. 5. Zdjęcie próbki wypraski wtryskowej („Malen PJ-400”) po badaniu odporności na powolny wzrost pęknięć z zaznaczonymi rysami naprężeniowymi powstałym podczas wycinania próbki, ustawionymi w kierunku przepływu tworzywa w formie wtryskowej i w kierunku osi obciążenia próbki

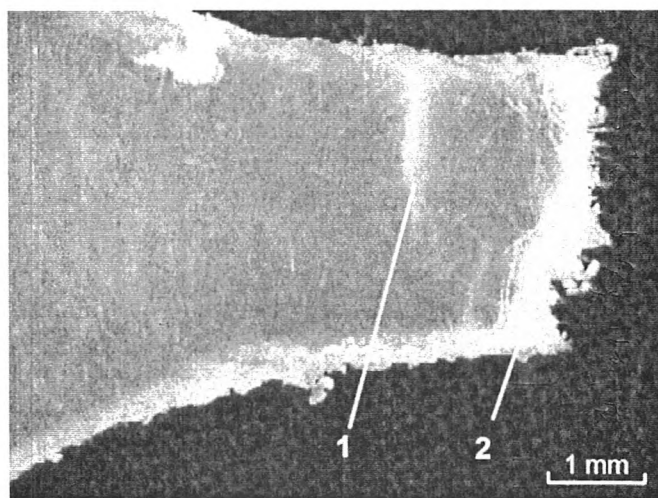
Fig. 5. A photo of the sample blanked from a Malen P J-400 PP molded piece after the test, with marked stress cracks formed on blanking and following the direction of polymer flow inside the mold and the direction of load axis

były natomiast ustawione prostopadle do osi obciążenia (rys. 7). Zjawisko to można wyjaśnić ustaleniami Piórkowskiej [18], która stwierdziła, że niewielka liczba rys powoduje, iż wobec narzuconej szybkości deformacji polimeru rozprzestrzeniają się one szybko — naprężenie wzrasta, co jest przyczyną łatwego pęknięcia. Zwiększenie



Rys. 6. Zdjęcie próbki wyciętej z wypraski wtryskowej („Xenopren PPGF10-CC”) przed badaniem odporności na powolny wzrost pęknięć

Fig. 6. A photo of the sample blanked from a Xenopren PPGF10-CC molded piece to be tested for slow crack growth



Rys. 7. Zdjęcie pękniętej próbki wypraski wtryskowej („Xenopren PPGF10-CC”) po próbie badania odporności na powolny wzrost pęknięć; 1 — mikropeknięcie, 2 — przelom próbki

Fig. 7. A photo of the Xenopren PPGF10-CC sample fractured in the slow crack growth resistance test: 1 — microcrack, 2 — fracture

szenie liczby rys naprężeniowych prowadzi do zmniejszenia szybkości ich propagacji i naprężenia, a więc zmniejsza prawdopodobieństwo pęknięcia. Skłonność do plastycznej deformacji i odporność na SCG powodują zatem rysy naprężeniowe widoczne na rys. 4 i 5.

Włókna szklane charakteryzujące się z reguły złą adhezją do polimeru mogą pełnić rolę czynnika ograniczającego rozprzestrzenianie się rys naprężeniowych, powodując przerzadzanie się ich w mikropeknięcia. W badanych próbkach z włóknem szklanym intensywne ograniczenie inicjowania rys naprężeniowych doprowadziło do ograniczenia deformacji plastycznej materiału i

przyspieszyło jego pęknięcie. Mechanizm przedstawiony przez Piórkowską [18] wyjaśnia, dlaczego próbki bez włókien z licznymi rysami naprężeniowymi nie pękały, natomiast badane w tych samych warunkach próbki zawierające 10% włókien pękały.

Wyniki pomiarów czasu pęknięcia badanych próbek przedstawia tabela 2 i rys. 8. Jak widać z tabeli 2, próbki wyprasek z „Xenoprenu PPGF10-CC” wykazały bardzo dużą zmienność czasu pęknięcia. Najkrótszy czas pęknięcia w I serii pomiarów (264 h) jest przeszło czterokrotnie krótszy od najdłuższego (1104 h). Średni czas pęknięcia 25 próbek wyprasek wtryskowych z „Xenoprenu PPGF10-CC” badanych w pięciu doświadczeniach wyniósł  $474 \pm 232$  h.

Tabela 2. Czas pęknięcia próbek wyprasek wtryskowych z „Xenoprenu PPGF 10-CC”

Table 2. The time of cracking of Xenopren PPGF10-CC samples

Seria pomiarów	Liczba próbek	Średni czas pęknięcia $t$ , h	Odchylenie standardowe $\pm S$ , h	Najkrótszy czas pęknięcia, h	Najdłuższy czas pęknięcia, h
I	5	307	60	264	408
II	5	350	44	288	408
III	5	710	339	360	1104
IV	5	432	157	288	672
V	5	571	198	384	840
I-V	25	474	232	264	1104

Na rysunku 8 przedstawiono rozkład procentowy pękniętych próbek z „Xenoprenu PPGF10-CC” w funkcji czasu w trakcie badania odporności na powolny wzrost pęknięć. Z rysunku tego widać, że 76% próbek pękło w przedziale czasu 264—504 h, 12% próbek — w przedziale 704—744 h, po 4% próbek — w przedziałach 825—864 h, 945—984 h i 1065—1104 h. W przedziale 345—384 h pękło 24% próbek.

Żadna próbka wyprasek wtryskowych z polipropylenu „Malen PJ-400” bez włókien szklanych nie pękła w trakcie próby trwającej 1000 h.

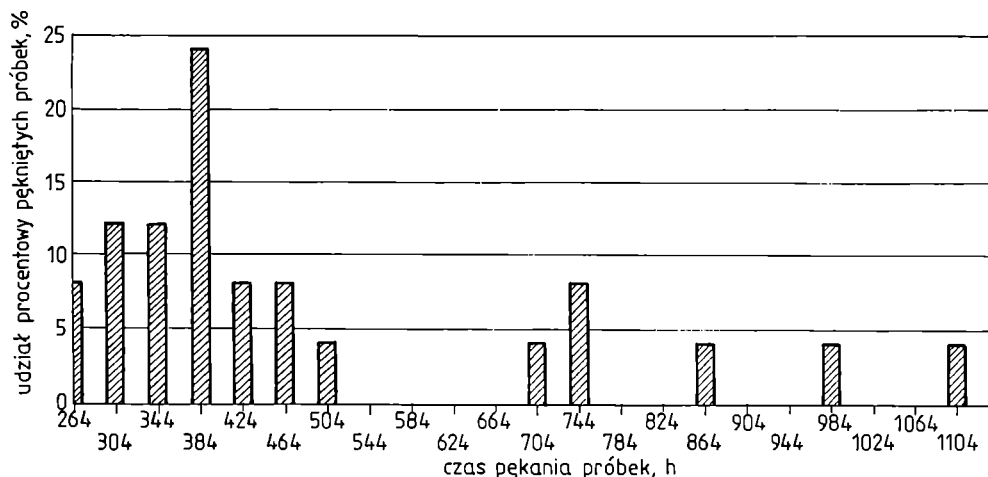
## WNIOSKI

Przedstawione wyniki doświadczalne pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

— Próbki z „Xenoprenu PPGF10-CC” wycięte z wyprasek wtryskowych i obciążone w próbie odporności na powolny wzrost pęknięć zgodnie z kierunkiem przepływu tworzywa w formie wtryskowej zaczynały pękać już po 264 h.

— Dodatek włókna szklanego w ilości 10% do polipropylenu „Malen PJ-400” (kompozyt występujący pod nazwą „Xenopren PPGF10-CC”) przetwarzanego metodą wtryskiwania spowodował utratę odporności tego tworzywa na powolny wzrost pęknięć.





Rys. 8. Wpływ czasu ( $t$ ) w badaniu odporności na powolny wzrost pęknięć wyprasek z „Xenoprenu PPGF10-CC” na rozkład procentowy pękniętych próbek

Fig. 8. The percentual distribution of ruptured Xenopren PPGF10-CC samples in relation to time ( $t$ )

— Próbkę wyprasek wtryskowych z samego „Malenu PJ-400” obciążone w próbie odporności na powolny wzrost pęknięć zgodnie z kierunkiem przepływu tworzywa w formie wtryskowej nie uległy pęknięciu w ciągu 1000 h, co świadczy o ich znacznej odporności na powolny wzrost pęknięć. Istotny wpływ na zaistnienie tej odporności mogły mieć — według interpretacji Piórkowskiej [18] — rysy naprężeniowe zgodne z kierunkiem osi obciążenia, występujące w badanych próbkach.

— Istnienie rys naprężeniowych ułożonych zgodnie z kierunkiem osi obciążenia w próbkach wyprasek wtryskowych z PP nie powoduje ich kruchego przelomu.

— Przedstawione w dotychczasowych wnioskach zjawiska prowadzą do sformułowania następującego stwierdzenia: 10-proc. dodatek włókna szklanego do polipropylenu nie powoduje wzrostu jego odporności na powolny wzrost pęknięć, lecz przeciwnie — wywołuje jej zmniejszenie; w związku z tym zamierzamy przeprowadzić identyczne badania tego rodzaju tworzywa na podstawie PP produkcji innych firm, stosujących odmienne metody wprowadzania włókna szklanego oraz różne procentowe jego zawartości.

## LITERATURA

- Chang P., Donovan J. A.: *Polym. Eng. Sci.* 1990, **30**, 1431.
- Fraye P. D., Po-luk Tong P., Dreher W. W.: *Polym. Eng. Sci.* 1977, **17**, nr 1, 27.
- Hruszka P., Kelar Ł., Kelar K.: *Polimery* 2000, **45**, 197.
- Lu X.C., Brown N.: *Polymer* 1997, **38**, 5749.
- Brown N., X. Lu: *Polymer* 1995, **36**, 543.
- O’Connell P. A., Bonner M. J., Duckett R. A., Ward J. M.: *Polymer* 1995, **36**, 2355.
- Mitsuhiro Aiba, Zenijiro Osawa: *Polym. Deg. Stab.* 1998, **61**, nr 1, 1.
- Lagaron J. M., Dixon N. M., Reed W., Pastor J. M., Kip B. J.: *Polymer* 1999, **40**, 2569.
- Soares J. B. P., Abbott R. F., Kim J. D.: *Polym. Phys.* 2000, **38**, 1267.
- Lagaron J. M., Capaccio G., Rosre L. J., Kip B. J.: *J. Appl. Polym. Sci.* 2000, **77**, 283.
- Sasimowska I.: „Środowiskowa korozja naprężeniowa optelekomunikacyjnych rur polietylenowych. VIII Ogólnopolskie Seminarium „Tworzywa sztuczne w budowie maszyn”. Kraków, 2—4 października 1994 r., str. 341—351.
- Sasimowska I.: *Polimery* 1988, **33**, 260.
- Grellmann W., Hyla I., Langer B.: *Inżynieria materiałowa* 1996, **17**, nr 4, 100.
- Menges G., Alf E.: *Kunststoffe* 1972, **62**, 259.
- Wilczyński A. P.: *Przegląd Mechaniczny* 1982, **41**, nr 12, 17.
- Bursa J.: „Podstawowe problemy pęknięcia polimerów”, II Konferencja Naukowo-Techniczna „Polimery i kompozyty konstrukcyjne”, Ustroń, 19—20 września 1996 r., str. 13—28.
- Roszkowski A., Skrzypczak P.: „Powolny wzrost pęknięć w rurach z tworzyw sztucznych na przykładzie rur PE”, Konferencja Naukowo-Techniczna „Systemy instalacyjne z tworzyw sztucznych”, Poznań, 26—27 lutego 1997 r., str. 165—178.
- Piórkowska E.: *Polimery* 1994, **39**, 67.
- Ashby M. F., Jones D. R. H.: „Materiały inżynierskie: właściwości i zastosowania”, WNT, Warszawa 1995, str. 161—167.
- Kaliske G. i in.: *Plaste Kautsch.* 1974, **21**, 524.
- Katalog Spółdzielni Pracy Chemików Xenon.
- PN-93/C-89069 — „Oznaczanie masowego (MFR) i objętościowego (MVR) wskaźnika szybkości płynięcia tworzyw termoplastycznych”.
- Sikora R.: „Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych”, Wydawnictwo Edukacyjne, Warszawa 1993, str. 405—412.
- ASTM D 2552-66T — „Environmental stress rupture of type III polyethylenes under constant tensile load”.
- Sasimowska I., Sasimowski E.: *Przetwórstwo tworzyw* 1998, **5**, 111.
- Domińczuk J.: „Stanowisko laboratoryjne do badania właściwości adhezyjnych warstwy wierzchniej”, II Seminarium Naukowe Studentów i Młodych Inżynierów Mechaników, Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Gdańsk, 26—27 listopada 1998 r., str. 19—25.