

Dariusz Kwiatkowski*, Jacek Nabiałek

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

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

Otrzymano (Received) 04.03.2009

BADANIE ODPORNOŚCI NA PĘKANIE KOMPOZYTÓW PP Z TALKIEM NA PODSTAWIE WSPÓŁCZYNNIKA INTENSYWNOŚCI NAPRĘŻEŃ

W kompozytach polimerowych wzmocnianych napelniaczami pojawiają się problemy z koncentracją naprężeń na granicy napelniacz-osnowa. Naprężenia te mają ogromny wpływ na odporność na pękanie. Zmniejszenie wytrzymałości badanego materiału w stosunku do jego wytrzymałości teoretycznej jest związane z obecnością różnorodnych defektów. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu zawartości talku w kompozytach polipropylenu na wartość współczynnika intensywności naprężeń. Do badań użyto polipropylenu o nazwie firmowej RESLEN PPH oraz kompozytów na osnowie tego znanego tworzywa termoplastycznego z talkiem. Kompozyt z maksymalną zawartością talku, tj. 25%, został wytworzony na wylączarce dwuślismakowej w firmie POLIMARKY w Rzeszowie. Pozostałe kompozyty polipropylenu o zawartości talku 5, 10, 15, 20 i 25% wytworzono na wtryskarce firmy Krauss Maffei o symbolu KM65-160. Wtryskarkę wyposażono w wysokiej klasy układ sterowania o symbolu C4. Do wyznaczenia współczynnika intensywności naprężeń stosuje się próbki trójpunktowo zginane, oznaczane jako SENB (Single Edge Notch Bend). Badania odporności na pękanie przeprowadzono na urządzeniu umożliwiającym pomiar podstawowych parametrów mechaniki pęknięcia, takich jak: współczynniki intensywności naprężeń, rozwarcie szczeliny oraz całka J . Jako miarę odporności na pękanie przyjęto krytyczną wartość współczynnika intensywności naprężeń K_Q . Wyznaczenie krytycznej wartości współczynnika intensywności naprężeń wiąże się z wyznaczeniem krytycznej wartości obciążenia P_Q . Graficznie polega to na umieszczeniu na uzyskanym wykresie siły w funkcji przemieszczenia siecznej, pochylonej o 5% w stosunku do wcześniej wyznaczonej stycznej do wykresu. Opuszczenie siecznej o 5% jest równoważne z poszukiwaniem punktu, w którym szczelina zwiększyła swoją długość o 0,2% w stosunku do swojej długości początkowej. Miejsce przecięcia siecznej z wykresem wyznacza siłę P_Q . Należy też pamiętać o sprawdzeniu wartości dopuszczalnej nieliniowości wykresu oraz stosunku siły P_Q do siły maksymalnej P_{max} , tak by ta ostatnia nie przewyższała krytycznej o więcej niż 10%. Przedstawiono graficznie wpływ zawartości napelniacza w postaci talku na wartość współczynnika intensywności naprężeń K_Q w kompozytach PP. W miarę wzrostu zawartości talku w kompozycie PP wartość współczynnika intensywności naprężeń ulega podwyższeniu do pewnego udziału tego napelniacza proszkowego, tj. do około 10%. Po przekroczeniu tej zawartości talku wartość współczynnika intensywności naprężeń ulega zmniejszeniu. Dokonano porównań i sformułowano wnioski.

Słowa kluczowe: kompozyty, mechanika pęknięcia, współczynnik intensywności naprężeń

THE STUDY OF CRACK RESISTANCE OF THE PP COMPOSITES WITH TALC ON THE BASIS OF THE STRESS INTENSITY FACTOR

In the composites reinforced polymer fillers, there are problems of stress concentration at the border filler-warp. These stresses have a great impact on the crack resistance. The reduction in the strength of the material in relation to its theoretical strength is associated with the presence of various defects. The results of examinations of the influence of a talc content in PP composites on the stress intensity factor have been presented in this article. The RESLEN PPH polypropylene and composites warp material with talc was used in this work. Composite with a maximum content of 25% of talc powder was produced at the two screw extruder in POLIMARKY Rzeszów company. The test specimens from PP composites with 5, 10, 15 and 25% talc content were injected using Krauss-Maffei KM65-160 C1 injection molding machine. Injection molding machine is equipped with high-level control system called C4. To determine the stress intensity factor, the sample three point bending, as indicated by SENB (Single Edge Notch Bend). Crack resistance examination were carried out using a special device allowing measurements of basic parameters of crack mechanics, such as: stress intensity factor, gap divergence and J integral. As far as crack resistance was adopted by a critical value of stress intensity factor. Designation of critical stress intensity factor is related to the designation of critical load P_Q . Graphically this relies on the location on obtained graph of the load in the function of the displacement of the secant, oblique for 5% with relation to of the earlier appointed tangent to the graph. Secant leave by 5% is equivalent to the search for the point at which the gap has increased its length by 0.2% compared to its initial length. Please also remember to check the limit of non-linearity and the ratio of the graph of force against the P_Q maximum power P_{max} , so that the latter does not exceed the critical by more than 10%. The place of intersection of the secant P_Q performance graph sets. The impact of graphic content in the form of talc filler on the stress intensity factor K_Q in PP composites was presented.

Keywords: composites, crack mechanics, stress intensity factor

WSTĘP

Podstawowym zadaniem mechaniki pękania jest poznanie i scharakteryzowanie procesu pękania badanego materiału. W tym celu nieodzowne staje się określenie charakterystyk wytrzymałościowych materiału, z którego konstrukcja jest wykonana. Mogą one być wyznaczone doświadczalnie lub określone na podstawie analizy budowy wewnętrznej badanego materiału. Zmniejszenie wytrzymałości badanego materiału w stosunku do jego wytrzymałości teoretycznej jest związane z obecnością różnorodnych defektów, które można podzielić na defekty I i II rodzaju. Defekty I rodzaju są to wszelkiego typu koncentratory naprężeń w postaci ostrych szczelin bądź korbów o dowolnym kształcie - są to zatem defekty o charakterze geometrycznym, niezwiązane ze strukturą i budową materiału. Przez defekty II rodzaju rozumie się koncentratory naprężeń w formie dyslokacji, pustek rozlokowanych wzdłuż granic sąsiednich ziaren, wtrąceń obcego materiału, wywołujących naprężenia kontaktowe oraz wszystkie inne defekty wewnętrznej budowy materiału. Podczas procesu wtryskiwania tworzywo wraz z napelniczącym, przepływającym w układzie uplastyczniającym wtryskarki i w formie wtryskowej, podlega odkształceniu oraz działaniu zmieniającej się temperatury i ciśnienia. Wzajemne oddziaływanie napelniczacza i osnowy spowodowane skurczem w czasie wytwarzania kompozytu oraz różnymi współczynnikami rozszerzalności cieplnej wywierają znaczny wpływ na procesy pękania. W kompozytach polimerowych wzmocnianych napelniczącymi pojawiają się problemy z koncentracją naprężeń na granicy napelniczacza-osnowa. Naprężenia te mają ogromny wpływ na odporność na pęknięcie. Miarami odporności na pęknięcie są [1-4]:

- współczynnik intensywności naprężeń $K\alpha$,
- współczynnik uwolnienia energii $G\alpha$ ($\alpha = I, II, III$),
- rozwarcie szczeliny δT ,
- całka J .

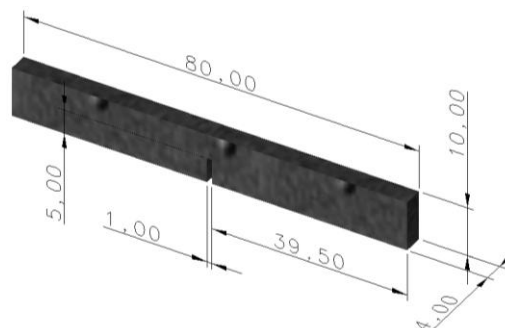
Miary, których wartości określone są dla momentu inicjacji rozwoju szczeliny, przyjmują wartości krytyczne i są uważane za stałe materiałowe.

CZĘŚĆ BADAWCZA

Badane materiały

Do badań użyto polipropylenu o nazwie firmowej RESLEN PPH oraz kompozytów na osnowie tego tworzywa termoplastycznego z talkiem. Kompozyt z maksymalną zawartością talku, tj. 25%, został wytworzony na wyltaczarce dwuślimakowej w firmie POLIMARKY w Rzeszowie. Pozostałe kompozyty polipropylenu o zawartości talku 5, 10, 15, 20 i 25% wytworzono na wtryskarce firmy Krauss Maffei o symbolu KM65-160. Wtryskarkę wyposażono w wysokiej klasy układ sterowania o symbolu C4. Do wyznaczenia współczynnika intensywności naprężeń stosuje się próbki trójpunktowo

zginane, oznaczane jako SENB (Single Edge Notch Bend). Wytwarzane były przez wtryskiwanie na wtryskarce przy użyciu specjalnie do tego celu przygotowanej formy.



Rys. 1. Próbką SENB używana do oznaczenia współczynnika intensywności naprężeń

Fig. 1. SENB sample

Aparatura i metodyka badań

Jako miarę odporności na pęknięcie przyjęto krytyczną wartość współczynnika intensywności naprężeń K_Q . Wartość współczynnika intensywności naprężeń K_Q obliczono, wykorzystując równanie [1]

$$K_Q = \frac{4 \cdot P_Q \cdot Y}{B \cdot \sqrt{W}}$$

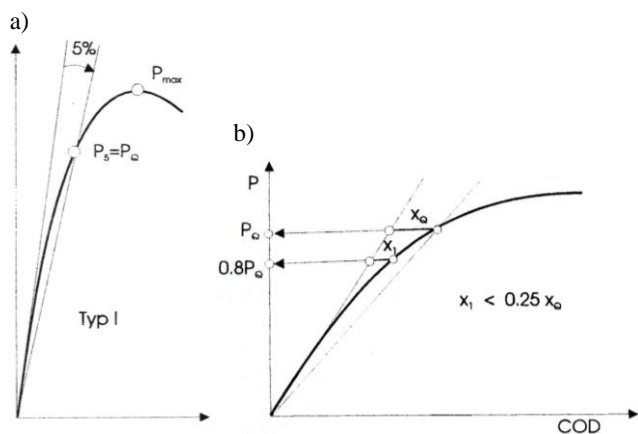
w którym: P_Q - siła krytyczna, N, Y - funkcja podatności, B - grubość próbki, m, W - wysokość próbki, m.

Występująca w liczniku funkcja podatności Y może być obliczona na podstawie stosunku wymiarów: długości szczeliny i wysokości próbki (a/W). Dla próbki SENB [1]

$Y =$

$$= \frac{6 \left(\frac{a}{W} \right)^{\frac{1}{2}} \left\{ 1,99 - \frac{a}{W} \left[1 - \left(\frac{a}{W} \right) \right] \left[2,15 - 3,93 \left(\frac{a}{W} \right) + 2,7 \left(\frac{a}{W} \right)^2 \right] \right\}}{\left[1 + 2 \left(\frac{a}{W} \right) \right] \left[1 - \left(\frac{a}{W} \right) \right]^{\frac{3}{2}}}$$

Wyznaczenie krytycznej wartości obciążenia P_Q polega na umieszczeniu na uzyskanym wykresie siły w funkcji przemieszczenia siecznej, pochylonej o 5% w stosunku do wcześniej wyznaczonej stycznej do wykresu. Opuszczenie siecznej o 5% jest równoważne z poszukiwaniem punktu, w którym szczelina zwiększyła swoją długość o 0,2% w stosunku do swojej długości początkowej. Miejsce przecięcia siecznej z wykresem wyznacza siłę P_Q . Należy też pamiętać o sprawdzeniu wartości dopuszczalnej nieliniowości wykresu (rys. 2b) oraz żeby stosunek siły P_Q do siły maksymalnej P_{max} nie przewyższał krytycznej o więcej niż 10% (rys. 2a) [1].



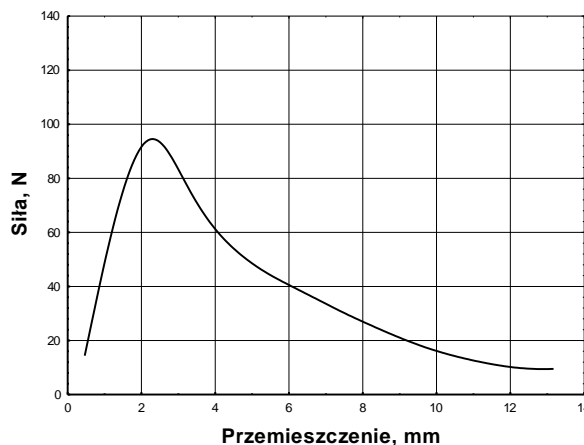
Rys. 2. Sposób wyznaczenia: a) wartości siły obciążenia P_Q , b) nieliniowości charakterystyki siły w funkcji przemieszczenia [1]

Fig. 2. Method of appointment: a) the force load P_Q , b) non-linearity characteristics of force as a function of displacement [1]

Próbie zginania trójpunktowego przy obciążeniu dynamicznym zrealizowano na młocie Charpy'ego wyposażonym w czujnik siły i ugięcia. Powstałe podczas obciążenia dynamicznego sygnały analogowe, odpowiednio wzmocnione i przetworzone, wprowadzane są do komputera, który dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu umożliwia uzyskanie niezbędnych wykresów siły zginającej P w funkcji ugięcia f w czasie dynamicznej próby zginania próbki z karbem. Próbie zginania trójpunktowego przy obciążeniu dynamicznym przeprowadzono 10 razy na każdym badanym kompozycie.

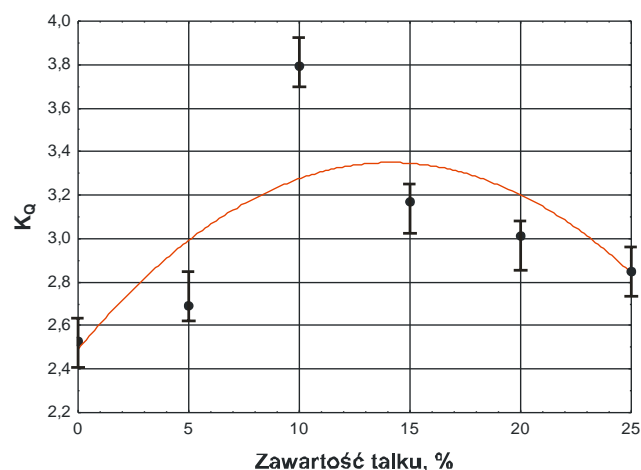
WYNIKI BADAŃ

Na rysunku 3 zamieszczono przykładową zależność siły od przemieszczenia dla PP z 25% zawartością napełniacza proszkowego w postaci talku. Na rysunku tym można zauważyć, iż w miarę zwiększenia ugięcia próbki rośnie wartość siły. Dzieje się tak, aż próbka osiągnie ugięcie 2,4 mm, wtedy próbka z PP25T wykazuje maksymalną wartość siły 95 N. Po osiągnięciu maksymalnej siły dalsze zwiększanie ugięcia nie powoduje zwiększenia wartości siły, lecz jej gwałtowne zmniejszenie się. Na rysunku 4 przedstawiono zależność krytycznej wartości współczynnika intensywności naprężeń K_Q od zawartości talku w polipropylenie. W miarę wzrostu zawartości talku w kompozycie PP wartość współczynnika intensywności naprężeń K_Q ulega podwyższeniu do pewnego udziału tego napełniacza proszkowego, tj. do około 10%. Po przekroczeniu tej zawartości talku wartość K_Q ulega zmniejszeniu. Wartość krytycznego współczynnika intensywności naprężeń K_Q dla PP wynosi około $2,53 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$, a przy maksymalnej zawartości talku wartość K_Q wynosi $2,85 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$. Maksymalną wartość współczynnika intensywności naprężeń K_Q zanotowano przy zawartości talku około 10% i wynosi ona $3,8 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$.



Rys. 3. Zależność siły od przemieszczenia dla kompozytu PP z 25% zawartością talku

Fig. 3. Relationship between force and displacement of PP composite with 25% content of the talc



Rys. 4. Zależność współczynnika intensywności naprężeń K_Q od zawartości talku

Fig. 4. Relationship between stress intensity factor K_Q and content talc

WNIOSKI

Odporność na pękanie można zwiększyć poprzez odpowiedni dobór:

- polimeru użytego na osnowę,
- napełniacza,
- środka proadhezyjnego między polimerem a napełniaczem,
- przebiegu procesu wtryskiwania i odpowiednich parametrów.

W niniejszej pracy dokonano oceny wpływu zawartości napełniacza proszkowego, jakim jest talk, na wartość krytycznego współczynnika intensywności naprężeń K_Q . Wraz ze zwiększeniem zawartości talku w osnowie polipropylenowej można zaobserwować, iż wartość K_Q ulega podwyższeniu do pewnego udziału tego napełniacza proszkowego, tj. do około 10%. Po przekroczeniu tej zawartości talku wartość współczynnika intensywności naprężeń K_Q ulega zmniejszeniu. Wartość krytycznego współczynnika intensywności naprężeń K_Q dla PP wy-

nosi około $2,53 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$, zaś przy zawartości talku około 10% wynosi $3,8 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$.

LITERATURA

- [1] Bochenek A., Elementy mechaniki pękania, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1998.
- [2] Bochenek A., Elementy mechaniki pękania, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1998.
- [3] Erdogan F., Fracture mechanics, International Journal of Solids and Structures 2000, 37, 171-183.
- [4] Neimitz A., Mechanika pękania, WN PWN, Warszawa 1998.
- [5] Anderson T.L., Fracture mechanics, Fundamentals and applications, CRC Press, 1995.