



**Dariusz Kwiatkowski\*, Jacek Nabiałek**

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

e-mail: \*kwiatkowski@kpts.pcz.czyst.pl

Otrzymano (Received) 10.02.2007

## WSTĘPNE SYMULACJE PROCESU PĘKANIA NA PRZYKŁADZIE KOMPOZYTU POLIPROPYLENU Z 25% ZAWARTOŚCIĄ WŁÓKNA SZKLANEGO

Przedstawiono wyniki komputerowych symulacji procesu pęknięcia próbek do badań odporności na pęknięcie. Autorzy podjęli próbę modelowania komputerowego procesu pęknięcia w oparciu o pakiet oprogramowania inżynierskiego typu CAD/CAM/CAE - I-DEAS NX ver. 11. Do symulacji zastosowano próbkę o kształcie prostopadłościowej belki z karbem prostokątnym w środkowej jej części. Próbkę poddano działaniu trójpunktowego zginania. Materiał, z którego wykonano próbkę, to kompozyt polipropylenu z 25% zawartością włókna szklanego. Z konieczności przedstawiono tylko wybrane wyniki badań symulacyjnych procesu pęknięcia w postaci graficznej. W wyniku przeprowadzonych symulacji komputerowych otrzymano obszerny materiał badawczy, który poddano szczegółowej analizie w celu właściwej jego interpretacji.

**Słowa kluczowe:** kompozyty, mechanika pęknięcia, symulacje komputerowe

## THE INITIAL COMPUTERS SIMULATION OF CRACKING ON EXAMPLE PP COMPOSITE WITH 25% CONTENT OF GLASS FIBRE

In this development work the results of computer simulation of cracking the samples for crack resistance tests have been presented. Authors made an attempt of computer modeling of the cracking process on pack of engineering software type CAD/CAM/CAE - I-DEAS NX ver. 11. Sample with the shape of rectangular prism beam with rectangular notch in its middle part has been used for simulation. The sample has been subjected to three-point bending. Material, from which the sample was made of, was composite of polypropylene with 25% content of glass fibre. It was necessary to present only selected tests results of simulation process of cracking. The results of simulation the cracking process have been presented in graphic form. In result of carried out the computer simulation, very wide research material was obtained, which has been subjected to detailed analysis for its right interpretation.

**Keywords:** composites, crack mechanics, computers simulation

### WSTĘP

Zadaniem mechaniki pęknięcia jest [1-4]:

- poznanie i zdefiniowanie natury zjawiska,
- dostarczenie dodatkowych narzędzi konstruktorowi, aby mógł właściwie obliczyć wytrzymałość konstrukcji zawierającej defekty,
- dostarczenie nowych parametrów opisujących właściwości materiałów konstrukcyjnych.

Za pierwszą publikację z dziedziny mechaniki pęknięcia uważa się pracę Griffitha z 1920 roku, w której rozpatrywano zjawisko pęknięcia w materiałach kruchych o strukturze amorficznej, jednakże intensywny rozwój mechaniki pęknięcia rozpoczął się po II wojnie światowej. Według Griffitha, rozbieżność pomiędzy wytrzymałością materiałów, wynikającą z obliczeń teoretycz-

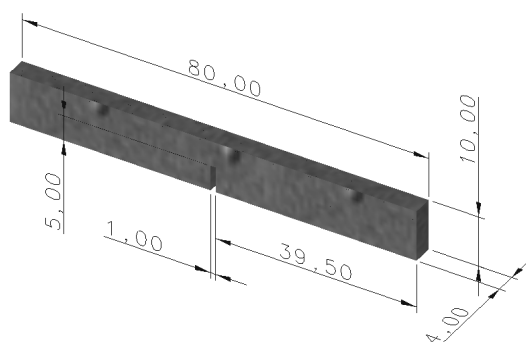
nych, a zaobserwowaną w praktyce wynika z istnienia w materiałach niewielkich nieciągłości materiału (pęknięć) powodujących spiętrzenie naprężeń i tym samym osłabienie materiału. Pęknięciem nazywamy nieciągłość struktury materiału o określonej wielkości i kształcie, na której powierzchniach nie działają siły wiązań atomowych. Proces pęknięcia lub wzrost pęknięcia polega na zwiększeniu jego charakterystycznego wymiaru, jakim jest długość. Pęknięcie działa jako koncentrator naprężeń, przy czym spiętrzenie naprężeń jest tym większe, im mniejszy jest promień krzywizny w wierzchołku pęknięcia. W niniejszej pracy podjęto próbę symulacji procesu pęknięcia kompozytu polipropylenu z 25% zawartością włókna szklanego [1-4].

## METODYKA BADAŃ

Symulację procesu pęknięcia przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu oprogramowania inżynierskiego typu CAD/CAM/CAE - I-DEAS NX ver. 11. Pakiet ten umożliwia przeprowadzenie obliczeń numerycznych opartych na m.in. metodzie elementów skończonych. Metodę tę wykorzystano do modelowania ww. procesu. Należy podkreślić, iż wykorzystane oprogramowanie komputerowe nie daje możliwości bezpośredniego modelowania procesu pęknięcia. Autorzy niniejszego opracowania zostali postawieni przed trudnym zadaniem wykorzystania dostępnych im narzędzi komputerowych do rozwiązania interesującego ich problemu. Proces pęknięcia zrealizowano w 9 krokach obliczeniowych. Przedstawione wyniki badań modelowych stanowią oryginalną koncepcję autorów.

### a) Model 3D próbki (rys. 1)

Modelowanie procesu pęknięcia rozpoczęto od wprowadzenia do programu modelu przestrzennego próbki badawczej. W tym celu wykorzystano moduł Master Modeler, a do zapisu elektronicznej dokumentacji modelu moduł Master Drafting.



Rys. 1. Model 3D próbki

Fig. 1. 3D model of the sample

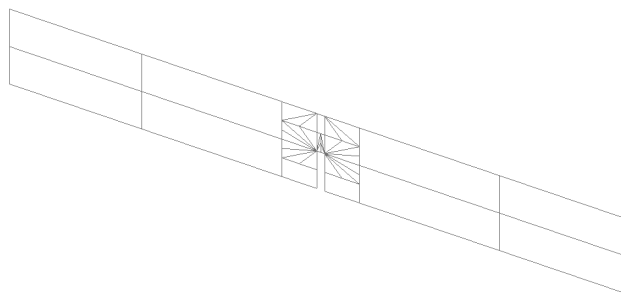
### b) Wyznaczenie powierzchni środkowej i jej modyfikacja

Rozpatrywane zagadnienie sprowadzono do problemu typu 2D. Wyznaczono w tym celu powierzchnię środkową modelu próbki badawczej. Następnie skonstruowano model powierzchniowy próbki (rys. 2). Został on odpowiednio zmodyfikowany w celu możliwie wiernego odwzorowania rzeczywistego procesu pęknięcia. W tym celu podzielono model na stosowne części (płaszczyzny).

### c) Definiowanie właściwości tworzywa

Kolejnym krokiem w procesie modelowania pęknięcia było wprowadzenie do programu właściwości badanego materiału. Zdefiniowano podstawowe parametry kompozytu użytego do badań oraz specyficzne dane materiałowe dotyczące m.in. właściwości nieliniowych. Wprowadzone dane pozwoliły na możliwie wiernie odwzorowanie zachowania się próbek badawczych w warunkach wymuszonych przez program badań.

Należy podkreślić, iż uwzględniono w tym zakresie nieliniowe właściwości badanych tworzyw i ich kompozytów.



Rys. 2. Model powierzchniowy próbki

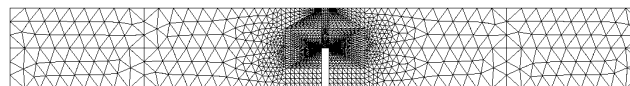
Fig. 2. Surface model of the sample

### d) Definiowanie właściwości elementu skończonego

Do modelowania procesu pęknięcia wykorzystano metodę elementów skończonych. W tym celu zdefiniowano właściwości pojedynczego elementu skończonego. Wykorzystano elementy skończone 6-węzłowe trójkątne nieliniowe. Zdaniem autorów, wybrany rodzaj elementów skończonych gwarantuje otrzymanie wiarygodnych wyników analiz numerycznych.

### e) Generowanie siatki MES

Dla wszystkich powierzchni modelu 2D wygenerowano stosowne siatki elementów skończonych (rys. 3). Korzystano z metody swobodnego (free meshing) oraz mapowanego (mapped meshing) sposobu generowania siatki MES. Efektem powyższych działań jest siatka MES dla próbki badawczej.

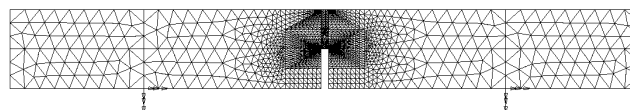


Rys. 3. Wygenerowana siatka elementów skończonych

Fig. 3. Generated mesh of FE

### f) Wprowadzanie warunków brzegowych i początkowych

W celu przeprowadzenia stosownych analiz numerycznych wprowadzono odpowiednie warunki początkowe i brzegowe. W efekcie otrzymano model obciążonej próbki badawczej, widoczny na rysunku 4.



Rys. 4. Model obciążonej próbki badawczej

Fig. 4. Model of the loaded research sample

### g) Wprowadzanie parametrów solvera

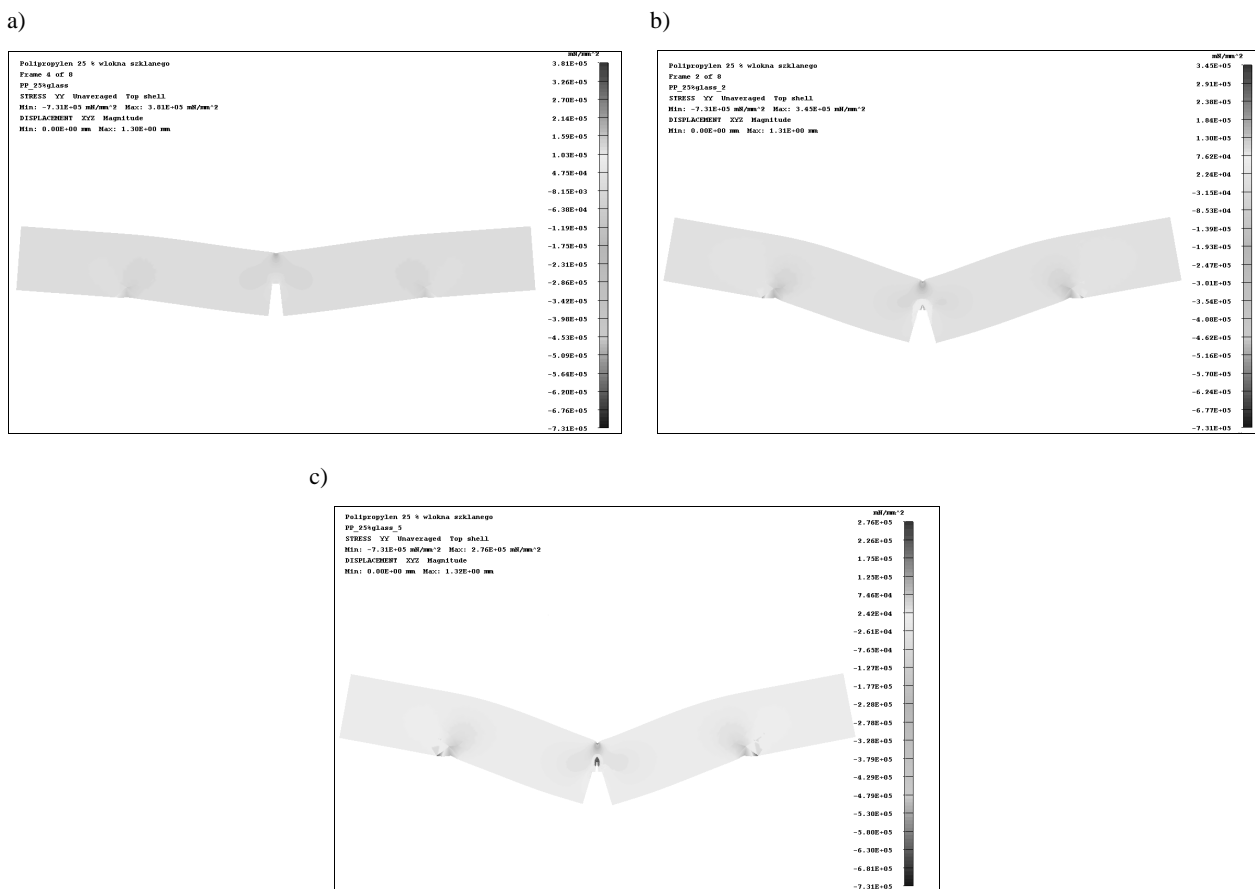
W celu uzyskania stosownych wyników obliczeń wprowadzono odpowiednie parametry solvera. Wprowadzono również stosowne ustawienia w module od-

powiedzialnym za zapis żądanych wielkości wyjściowych. W tym przypadku wymuszono zapis wartości naprężenia oraz odkształcenia w poszczególnych krokach analizy.

## WYNIKI BADAŃ

Na rysunku 5 zaprezentowano wyniki komputerowej symulacji procesu pęknięcia dla kompozytu polipropylenu z 25% zawartością włókna szklanego. Przedstawiono wyniki badań symulacyjnych procesu pęknięcia w wybranych krokach (rys. 5a - 3 krok, rys. 5b - 5 krok, rys. 5c - 9 krok symulacji procesu pęknięcia).

było się spodziewać zapoczątkowania procesu pęknięcia właśnie w tym miejscu. Miejsce to jest szczególnie narażone na pęknięcie, gdyż w miejscu karbu łączą się dwa strumienie ciekłego kompozytu polimerowego. Pęknięcie rozwija się i podąża w kierunku przyłożenia siły. W kolejnych krokach symulacji procesu pęknięcia zanotowano coraz większe wartości naprężenia wzdłuż rozwijającego się pęknięcia. Proces pęknięcia próbki z kompozytu PP z 25% zawartością włókna szklanego był również obserwowany na mikroskopie stereoskopowym. Zanotowano dość dużą zbieżność z wynikami, jakie otrzymano podczas symulacji procesu pęknięcia.



Rys. 5. Przebieg symulacji pęknięcia PP z 25% zawartością włókna szklanego (a-c)

Fig. 5. Course of the simulation of cracking PP composite with 25% content of the glass fibre: a) to c)

## WNIOSKI

Wstępna analiza stanu naprężenia pozwoliła przewidzieć, gdzie zacznie się inicjacja procesu pęknięcia. Naprężenia są rozłożone symetrycznie po obu stronach naroża karbu. Proces inicjacji pęknięcia zaczyna się w środkowej części karbu prostokątnego. Biorąc pod uwagę sposób wypełnienia gniazd formujących, można

## LITERATURA

- [1] Bochenek A., Elementy mechaniki pęknięcia, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1998.
- [2] Erdogan F., Fracture mechanics, International Journal of Solids and Structures 2000, 37, 171-183.
- [3] Neimitz A., Mechanika pęknięcia, WN PWN, Warszawa 1998.
- [4] German J., Podstawy mechaniki pęknięcia, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2001.