



Dariusz Kwiatkowski*, Jacek Nabiałek, Adam Gnatowski

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

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

Otrzymano (Received) 28.02.2008

WIZUALIZACJA PROCESU PĘKANIA PRÓBKİ SENB WYKONANEJ Z KOMPOZYTU POLIPROPYLENU Z 25% ZAWARTOŚCIĄ TALKU

Prezentowano wyniki wizualizacji komputerowych procesu pęknięcia próbki do badań odporności na pęknięcie. Autorzy podjęli próbę modelowania komputerowego procesu pęknięcia w oparciu o pakiet oprogramowania inżynierskiego ADINA v. 8.3. Do symulacji zastosowano próbkę typu SENB o kształcie prostopadłościenną belki z karbem prostokątnym w środkowej jej części. Próbkę poddano działaniu trójpunktowego zginania. Materiał, z którego wykonano próbkę, to kompozyt na osnowie polipropylenu z 25% zawartością talku. Rozpatrywane zagadnienie sprowadzono do problemu typu 2D. W tym celu wyznaczono powierzchnię środkową modelu próbki badawczej oraz skonstruowano model powierzchniowy próbki. W modelu numerycznym zastosowano od 1500 do 3000 ośmiowęzłowych elementów skończonych w płaskim stanie odkształcenia, co dawało do 8000 węzłów dla całej struktury. W obszarze, gdzie spodziewane jest pęknięcie, zagęszczono siatkę elementów skończonych. Zginana próbka była w kontakcie z podporami wymuszającymi zginanie. Podpory modelowano jako ciała idealnie sztywne. Do podpór dolnych przyłożono obciążenie w postaci przemieszczenia, podpory te miały możliwość ruchu wzdłuż osi Z, natomiast trzpień górny był nieruchomy. Zadane warunki przemieszczenia ruchomych dolnych podpór umożliwiały uzyskanie strzałki ugięcia $f = 10$ mm na przestrzeni 200 kroków czasowych. Wyniki symulacji procesu pęknięcia przedstawiono 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 VISUALIZATION OF CRACKING PROCESS OF SENB SAMPLE MADE OF PP COMPOSITE WITH 25% CONTENT OF TALC

In this work the results of computer simulation of cracking the sample for crack resistance tests have been presented. Authors made an attempt of computer modeling of the cracking process on pack of engineering software ADINA v. 8.3. For simulation the sample type SENB was used with shape of prismatic beam with rectangular nick in its central part. 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 talc. The considered problem has been reduced to the problem type 2D. For that purpose the middle surface of tested sample has been determined and surface model has been designed. In numerical model from 1500 up to 3000 octa-nodal complete elements in flat state of deformation, what gave up to 8000 nodes for whole structure. In the area, where some crack is expected, the net of complete elements was compacted. The bended sample was in contact with supports forced the bending. The supports have been modeled as rigid body. To bottom support imposed a load in form of displacement, the supports had a possibility of movement along Z axis, but the top mandrel was immovable. The given condition of displacement of the movable bottom supports enabled of obtaining the deflection $f = 10$ mm in the space of 200 temporal steps. The results of simulation of the cracking process were presented in graphical form. In results of the carried out computer simulations obtained very wide research material, which was subjected to detailed analysis for the purpose of its proper interpretation.

Keywords: composites, crack mechanics, computers simulation

WSTĘP

Modelowanie komputerowe jest szczególną odmianą modelowania numerycznego. Posiada ono bardzo dużo zalet, m.in. pozwala na przeanalizowanie zagadnienia pod różnym kątem, poprzez stosowanie różnych parametrów i założeń. Wadą modelowania komputero-

wego jest konieczność stosowania przybliżeń. Pojawia się bowiem niebezpieczeństwo przeoczenia lub nieuwzględnienia pewnych cech materiałowych czy zjawisk fizycznych. Jednak stosowanie modelowania komputerowego wraz z weryfikacją doświadczalną daje obecnie

największą pewność rozwiązywania skomplikowanych problemów technologicznych.

Podział oprogramowania do modelowania komputerowego:

- a) ze względu na rodzaj wykonywanych zadań
 - preprocesory i postprocesory
 - kody liczące
 - systemy zintegrowane
- b) ze względu na dostępność na rynku
 - komercyjne
 - public domain/shareware/freeware
- c) ze względu na zastosowania
 - ogólnego przeznaczenia
 - specjalistyczne/specjalizowane

W niniejszej pracy wykorzystano specjalistyczne oprogramowanie inżynierskie ADINA. Posługując się w tej pracy programem ADINA, który wykorzystuje metodę elementów skończonych, wykonano wizualizację procesu pęknięcia prostokątnych próbek typu SENB. W ADINIE analizowany ośrodek ciągły, taki jak bryła, płyn czy gaz, jest reprezentowany przez zbiór zdefiniowanych przez projektanta elementów określonej geometrii, zwanych elementami skończonymi. Elementy połączone są ze sobą w punktach, zwanych węzłami lub punktami węzłowymi. Węzły leżą zwykle na granicach elementów, tam gdzie sąsiadnie elementy łączą się ze sobą. ADINA umożliwia uzyskanie przybliżonych rozwiązań dla bardzo szerokiego wachlarza problemów napotykanym w praktyce inżynierskiej. Umożliwia poznanie zjawiska fizycznego, jakim jest proces pęknięcia [1-5].

METODYKA BADAŃ

Wizualizację procesu pęknięcia przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu oprogramowania inżynierskiego ADINA. Pakiet ten umożliwia przeprowadzenie obliczeń numerycznych opartych na metodzie elementów

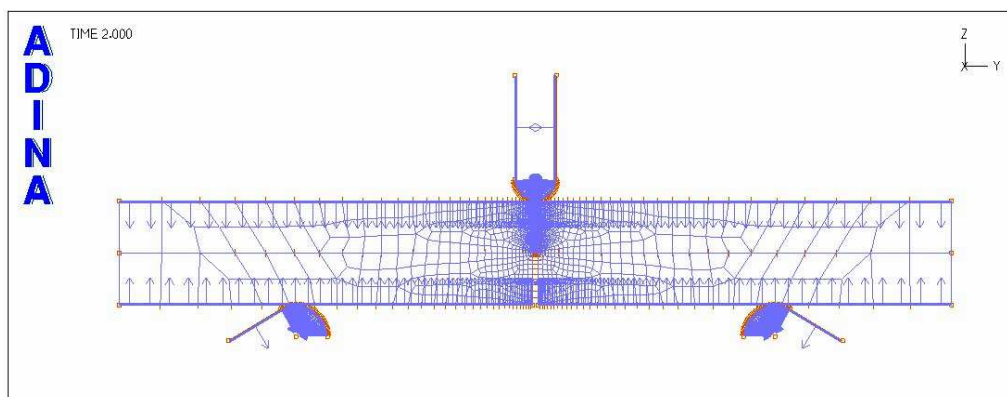
skończonych. Pierwszym krokiem, od którego rozpoczyna się pracę nad skonstruowaniem modelu do przeprowadzania na nim wizualizacji, jest określenie parametrów kartezjańskich (*Degrees of Freedom*), czyli ustalenie stopni swobody. Następnym etapem jest zdefiniowanie geometrii modelu obliczeniowego, w którym kolejno wykonuje się:

- wpisanie charakterystycznych punktów współrzędnych
- oznaczenie linii pomiędzy tymi punktami
- oznaczenie powierzchni pomiędzy zamkniętymi liniami
- oznaczenie objętości w ramach danych powierzchni

Rozpatrywane zagadnienie sprowadzono do problemu typu 2D. W tym celu wyznaczono powierzchnię środkową modelu próbki badawczej oraz skonstruowano model powierzchniowy próbki. W modelu numerycznym zastosowano od 1500 do 3000 ośmiowęzłowych elementów skończonych w płaskim stanie odkształcenia, co dawało do 8000 węzłów dla całej struktury. W obszarze, gdzie spodziewane jest plastyczne pęknięcie, zagęszczono siatkę elementów skończonych. Zginana próbka była w kontakcie z podporami wymuszającymi zginanie. Podpory modelowano jako ciała idealnie sztywne. Na powierzchni podpory i próbki w miejscu spodziewanego kontaktu wygenerowano elementy kontaktowe, dla których przyjęto idealne warunki tarcia, dla których współczynnik tarcia wynosi $\mu = 0$ (rys. 1).

Do podpór dolnych przyłożono obciążenie w postaci przemieszczenia, podpory te miały możliwość ruchu wzdłuż osi Z, natomiast trzpień górny był nieruchomy. Zadane warunki przemieszczenia ruchomych dolnych podpór umożliwiały uzyskanie strzałki ugięcia $f = 10$ mm na przestrzeni 200 kroków czasowych.

Kolejnym krokiem w procesie wizualizacji pęknięcia było wprowadzenie danych dotyczących badanego materiału. Zdefiniowano podstawowe parametry kompozytu użytego do badań oraz specyficzne dane materiałowe dotyczące m.in. właściwości nieliniowych.



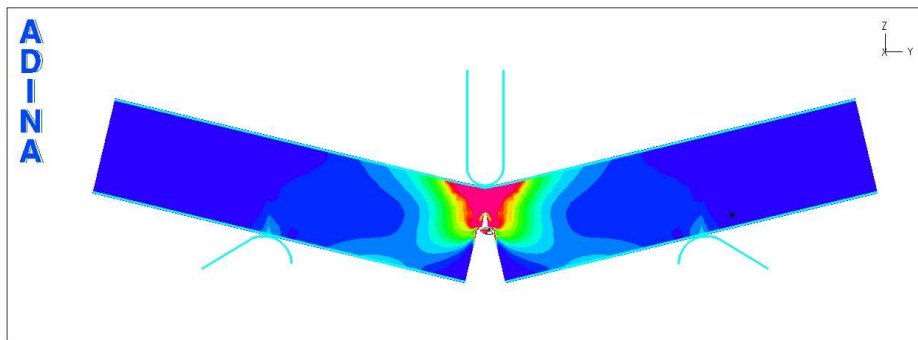
Rys. 1. Model 2D próbki z wygenerowaną siatką MES

Fig. 1. 2D model of the sample with the generated mesh of FE

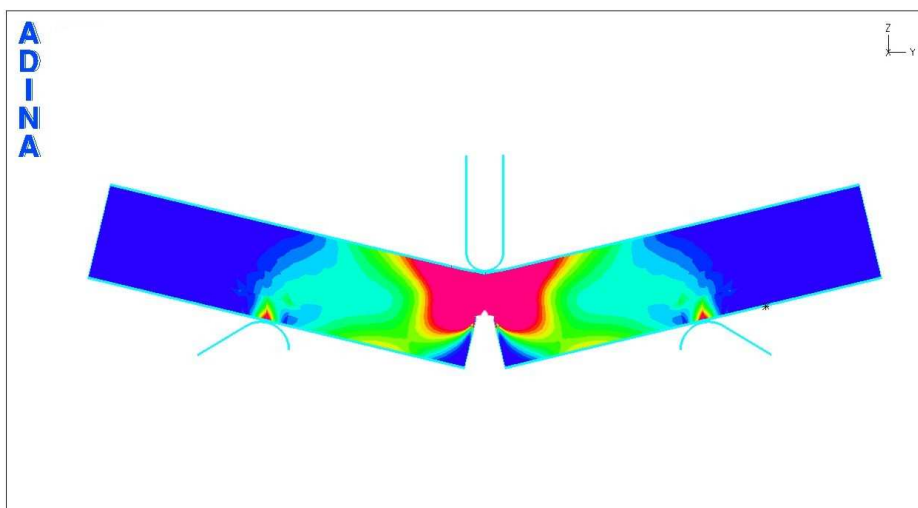
WYNIKI BADAŃ

Na rysunku 2 przedstawiono rozkład naprężeń podczas trójpunktowego zginania kompozytu polipropylenu z 25% zawartością talku. Zaprezentowano wyniki badań w 200 kroku czasowym symulacji. Na rysunku 3 przedstawiono natomiast rozkład naprężeń w 200 kroku czasowym symulacji procesu pęknięcia dla PP. Dopiero w 200 kroku czasowym symulacji pojawiło się pęknię-

cie w próbce SENB wykonanej z PP. W tym samym kroku czasowym kompozyt PP z 25% zawartością talku wykazuje już znaczne pęknięcie. Działanie wzmacniające talku sprowadza się jedynie do ograniczenia odkształcenia osnowy polipropylenowej. Zwiększenie ilości talku w osnowie z PP wywołuje zwiększenie naprężeń wewnętrznych poprzez nakładanie się pól naprężeń pochodzących od poszczególnych płytek talku.

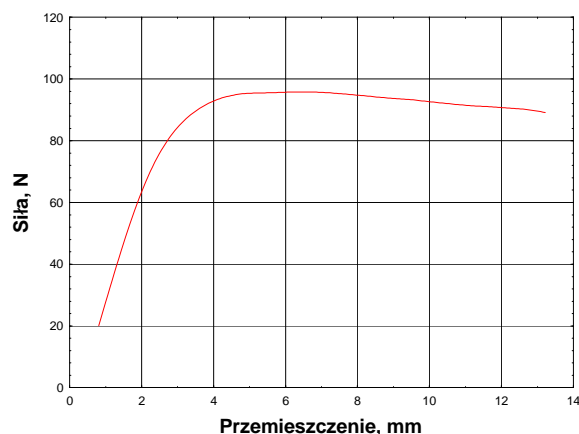


Rys. 2. Rozkład naprężeń podczas zginania trójpunktowego próbki SENB z kompozytu PP z 25% zawartością talku
Fig. 2. Decomposition of stress during of three - point bending SENB sample of PP composite with 25% content of the talc

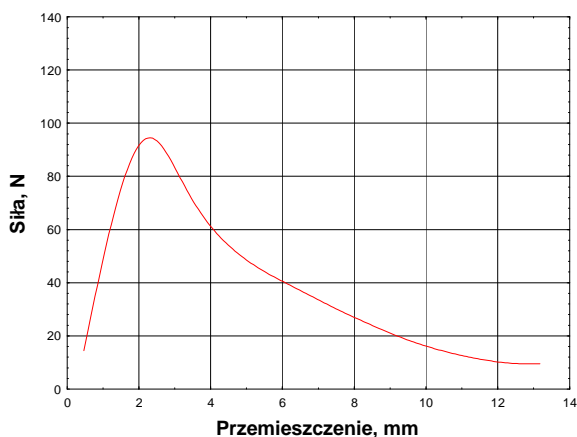


Rys. 3. Rozkład naprężeń podczas zginania trójpunktowego próbki SENB z PP
Fig. 3. Decomposition of stress during of three - point bending SENB of PP

W celu uzyskania dodatkowych informacji dotyczących procesu pęknięcia PP i jego kompozytu z talkiem wykonano badania trójpunktowego zginania na maszynie wytrzymałościowej. Na rysunku 4 przedstawiono zależność siły w funkcji przemieszczenia dla PP. Na rysunku tym można zauważyć, iż w miarę zwiększania ugięcia próbki rośnie wartość siły. Dzieje się tak aż próbka osiągnie ugięcie 5 mm, wtedy próbka z PP wykazuje maksymalną wartość siły 95 N. Po osiągnięciu maksymalnej siły dalsze zwiększanie ugięcia nie powoduje zwiększenia wartości siły, lecz jej powolne zmniejszanie się. Przy ugięciu próbki 5 mm pojawia się pęknięcie dla PP. Na rysunku 5 przedstawiono zależność siły w funkcji przemieszczenia dla PP z 25% zawartością talku.



Rys. 4. Zależność siły od przemieszczenia dla PP
Fig. 4. Relationship between force and displacement of PP



Rys. 5. Zależność siły od przemieszczenia dla kompozytu PP z 25% zawartością talku

Fig. 5. Relationship between force and displacement of PP composite with 25% content of the talc

Na rysunku tym można zauważyć, iż w miarę zwiększania ugięcia próbki rośnie wartość siły. Maksymalna wartość siły występuje przy ugięciu 2,4 mm i wynosi 85 N. Po przekroczeniu ugięcia 2,4 mm następuje spadek wartości siły. Przy ugięciu próbki 2,4 mm pojawia się pęknięcie dla kompozytu PP z talkiem.

WNIOSKI

Przeprowadzone badania wizualizacyjne ukazują przebieg pęknięcia kompozytu PP z 25% zawartością talku. Proces inicjacji pęknięcia zaczyna się w środkowej części karbu prostokątnego. Biorąc pod uwagę symetryczność próbki oraz sposób wypełnienia gniazd for-

mujących próbkę SENB, można było się spodziewać zapoczątkowania procesu pęknięcia właśnie w tym miejscu. Miejsce to jest szczególnie narażone na pęknięcie, gdyż:

- w okolicach karbu występuje koncentracja naprężeń,
- w pobliżu karbu łączą się dwa strumienie ciekłego kompozytu polimerowego.

Pęknięcie rozwija się i podąża w kierunku nieruchomego trzpienia. W kolejnych krokach czasowych symulacji procesu pęknięcia zanotowano coraz większe wartości naprężenia wzdłuż rozwijającego się pęknięcia. Naprężenia są rozłożone symetrycznie po obu stronach karbu prostokątnego. Podobny rozkład występuje podczas analizy odkształceń. W miejscu rozwijającego się pęknięcia występują odkształcenia plastyczne. Próbkę SENB wykonane z kompozytu PP z 25% zawartością talku znacznie wcześniej pękają. Przy ugięciu próbki 2,4 mm pojawia się pęknięcie dla kompozytu PP z talkiem. Próbkę SENB wykonana z PP pęka przy ugięciu 5 mm. Badania eksperymentalne potwierdzają wyniki symulacji komputerowej procesu pęknięcia.

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] Anderson T.L., Fracture mechanics, Fundamentals and applications, CRC Press, 1995.
- [5] www.adina.com