

Streszczenie

Badanie mechanizmów procesu pękania kruchego przy dużych odkształceniach plastycznych

Celem niniejszej pracy było wykorzystanie automatów komórkowych do jakościowej i ilościowej analizy procesu pękania łupliwego. Po wstępnych badaniach okazało się, że taka analiza jest możliwa. Postawiono więc tezę, że analiza ilościowa wykorzystująca automat komórkowy pozwoli na oszacowanie zarówno poziomu krytycznych naprężeń jak i minimalnej wielkości obszaru, w którym naprężenia muszą być większe od krytycznych aby doszło do pękania łupliwego. Aby udowodnić słuszność powyższej tezy przeprowadzono obszerny program doświadczalny, badania mikroskopowe oraz numeryczne na próbkach ze stali Hardox-400. Analizy te pozwoliły na opracowanie algorytmu oraz programu do wizualizacji procesu pękania za pomocą metody automatów komórkowych.

Badania doświadczalne obejmowały próby jednoosiowego rozciągania, dla określenia charakterystyki materiału w obszarze małych i dużych odkształceń, a także próby trójpunktowego zginania. Przeprowadzone badania na próbkach trójpunktowo zginanych z wygenerowaną szczeliną zmęczeniową pozwoliły na uzyskanie numerycznego obrazu pól mechanicznych przed frontem szczeliny w momencie krytycznym. Dzięki temu wyznaczono rozkład naprężeń i porównano je z poziomem naprężeń krytycznych.

Naprężenia krytyczne dla temperatur, w których prowadzono badania, oszacowano zakładając, że wielkość obszaru, w którym naprężenia rozciągające są większe od krytycznych jest cechą materiału. Założenie to wynikało z obserwacji, że proces pękania zaczyna się od zniszczenia dużych wtrąceń i wydzielen. Rozkład i ilość tych inicjatorów zniszczenia jest cechą materiału.

Cząstki drugiej fazy powodują lokalną nieciągłość pola odkształceń oraz koncentrację naprężeń. Wykorzystując tę wiedzę przeprowadzono dokładną analizę zachowania wtrąceń opartą o badania doświadczalne (próby jednoosiowego rozciągania), obserwacje mikroskopowe oraz obliczenia numeryczne. Wykazano wpływ kształtu wtrąceń i poziomu więzów geometrycznych na proces nukleacji pustek i mikropęknięć. Oszacowano wartości naprężeń krytycznych dla siarczków manganu oraz azotków tytanu, które najczęściej obserwowano w badanej stali. Obserwacje mikroskopowe wykazały związek pomiędzy poziomem odkształceń, a ilością zniszczonych wtrąceń. Analiza ta pozwoliła na ustalenie parametrów niezbędnych w budowie modelu numerycznego oraz do weryfikacji rezultatów obliczeń numerycznych.

Na podstawie obserwacji zachowania materiału opracowano algorytm działania automatu komórkowego, który w oparciu o zmodyfikowane kryterium RKR, posłużył do wizualizacji procesu pękania łupliwego. Wykorzystywane zmodyfikowane kryterium RKR zakłada, że jeśli naprężenia rozwierające pęknięcie przekroczą poziom krytyczny na odpowiednio dużej powierzchni, wówczas można spodziewać się pękania łupliwego.

Stworzony program zakładał obecność wtrąceń w materiale, które przy odpowiednio wysokim poziomie naprężeń zapoczątkowały proces pękania, dlatego przyjęto 3 stany komórki: martwa (pęknięte ziarno), osłabiona (zawierające duże wtrącenie) oraz żywa (niepęknięte ziarno, niezawierające wtrącenia). Na mapę automatu komórkowego naniesiono

rozkład naprężeń rozwierających wyznaczonych numerycznie. Proces pękania komórek (przejście do stanu "martwa") rozpoczynał się w osłabionych komórkach obciążonych naprężeniami większymi niż krytyczne. O dalszych krokach algorytmu decydowały reguły przejścia. Założono stochastyczną orientację płaszczyzn łupliwości w zakresie $\pm 45^\circ$. Algorytm uwzględnia koncentrację naprężeń na skutek obecności mikropęknięć. Określono również wpływ procesów dynamicznych na rozwój pękania łupliwego wprowadzając współczynnik ζ .

Stosując metodę automatów komórkowych oszacowano wartości naprężeń krytycznych w zakresie temperatur -80°C do $+20^\circ\text{C}$ i porównano z wynikami uzyskanymi podczas doświadczeń.

Pozytywny wynik przeprowadzonego porównania potwierdza słuszność postawionej tezy, że wielkość krytycznego obszaru jest cechą materiału zależną wyłącznie od mikrostruktury.