

Kielce, dnia 14.11.2023 r.

mgr inż. Piotr Furmańczyk

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt. „Badanie procesu pęknięcia elementów konstrukcyjnych na podstawie analizy morfologii przelomów”

Znajomość charakterystyk odporności na pęknięcie, również jak i charakterystyk wytrzymałościowych materiału, są niezbędne do przeprowadzenia analizy wytrzymałości elementów oraz oceny przydatności do zastosowania odpowiedniego gatunku stali do wykonania różnych elementów konstrukcyjnych (FITNET). Istniejące metody wyznaczania nominalnych (inżynierskich) charakterystyk wytrzymałościowych materiału pozwalają na jednoznaczne ich ustalenie. Natomiast podczas wyznaczania odporności na pęknięcie mogą wynikać pewne komplikacje, zwłaszcza kiedy testowane są stale niskostopowe i niskowęglowe o niskiej wytrzymałości. Główny problem polega na tym, że z elementów konstrukcyjnych, które wykonane są z tych gatunków stali, nie można wykonać próbek o odpowiednich rozmiarach wymaganych przez normy. Niespełnienie wymagań dotyczących geometrycznych wymiarów podczas wykonywania testów prowadzi do uzyskania wyższych wartości odporności na pęknięcie. Dlatego wciąż aktualnym jest opracowanie metod pozwalających na wyznaczenie właściwych wartości odporności na pęknięcie na badanych próbkach.

W pracy przedstawiono opracowanie dwóch metod wyznaczania odporności na pęknięcie dla stali i staliwa, w których występuje ciągły charakter rozwoju pęknięcia podkrytycznego. Badania fraktograficzne przeprowadzono na przelomach próbek z jednostronnym karbem zginanych trójpunktowo (SENB), na których zostały wyznaczone odporności na pęknięcie – krytyczne wartości całki $J - J_{IC}$. Próbkę były wykonane ze stali różnych gatunków: S355JR, Hardox-400 i 42CrMo4 oraz staliwa G17CrMo5-5 w dwóch wariantach wykonania tzn. modyfikowane i niemodyfikowane metalami ziem rzadkich. Testowane materiały posiadają różne poziomy wytrzymałości. Do przeprowadzenia badań fraktograficznych stosowano różne poziomy próbek badanych w różnych temperaturach: od +20 °C do -120 °C. Celem badań przelomów próbek wykonanych z różnych materiałów i testowanych w różnych temperaturach była fraktograficzna analiza budowy powierzchni przelomów oraz na podstawie tych badań wyznaczenie odporności na pęknięcie materiału.

Jedną z przedstawionych metod opiera się o model rozwarcia wierzchołka pęknięcia, a mianowicie o znajomość szerokości strefy stępienia (SZW), rozmiar której jest powiązany zależnościami z charakterystykami odporności na pęknięcie – rozwarciem wierzchołka pęknięcia i wartością całki J . Próby realizacji tej metody podejmowano od lat i przedstawiono w wielu artykułach i normach (rozdział 1.4.1). W niniejszej pracy zaproponowano pewne modyfikacje w wyznaczeniu szerokości strefy stępienia (rozdział 6.2). Zaproponowano by wyznaczać ją z pomiaru całego pola SZW zarejestrowanego na zdjęciach wykonanych za pomocą mikroskopu elektronowego, a nie poprzez dyskretne pomiary, jak było to dotychczas. Również zaproponowano system pozwalający na jednoznaczny sposób wykonywania zdjęć przelomów próbek oraz przeprowadzenia pomiarów. Rezultaty odporności na pęknięcie uzyskane na podstawie pomiarów SZW porównano z danymi krytycznych wartości całki J wyznaczonych wg procedur ASTM. Pokazano, że wraz ze wzrostem temperatury zwiększa się różnica pomiędzy rezultatami uzyskanymi wg tych metod. Powodem różnic są nieco inne założenia przy wyznaczeniu odporności na pęknięcie. Na podstawie pomiaru SZW wyznaczana jest odporność na pęknięcie w momencie inicjacji pęknięcia podkrytycznego, natomiast w przypadku metody ASTM wyznacza się wartość dla momentu, w którym jest przyrost pęknięcia podkrytycznego 0.2 mm.

Druga metoda bazuje na założeniu, że w procesie ciągłego rozwoju pęknięcia podkrytycznego tworzy się charakterystyczny relief powierzchni przełomu (Rozdział 1.4.2, 8 i 9), który można opisać za pomocą parametrów mikrochropowości. W celu analizy powierzchni przełomu wykonano jej obraz 3D za pomocą profilometru Talysurf CCI, oraz następnie wygenerowano profile reliefu, z których wyznaczono parametry chropowości. Profile generowano na odcinkach od 0.1 do 0.5 mm w przypadku całkowicie ciągłego wzrostu pęknięcia podkrytycznego. Jeśli w próbce występował ograniczony ciągły przyrost pęknięcia podkrytycznego, to długość odcinka do generowania profilu ustalano równą długości tego przyrostu. W pracy zaproponowano trzy wielkości określenia mikrochropowości, które można wykorzystać w tym celu. Wyznaczono również względny udział powierzchni cząstek wtrąceń, które są inicjatorami procesu nukleacji pustek. Na podstawie tych danych obliczono wartości odporności na pękanie. Porównanie tych wartości z danymi odporności na pękanie wyznaczonymi wg metody ASTM wykazało dobrą zgodność rezultatów.