

**Bogdan Szturomski**

**WYTYCZNE  
DO TENSOMETRYCZNYCH POMIARÓW  
ROZCIĄGANIA PRÓBKI ALUMINIOWEJ  
PODDANEJ JEDNOSTRONNEMU  
ODDZIAŁYWANIU CZYNNIKA KOROZYJNEGO  
NA PODSTAWIE SYMULACJI MES**

**STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono wyniki symulacji MES stanu naprężenia i odkształcenia w próbkach aluminiowych z jednostronnym ubytkiem powstałym na skutek oddziaływania korozji elektrochemicznej, które poddano jednoczesnemu obciążeniu rozciągającemu. Zamieszczono wyniki symulacji numerycznej stanu naprężenia i odkształcenia dla próbki z wżerem kulistym i walcowym. Na podstawie otrzymanych wyników sformułowano wytyczne do pomiarów tensometrycznych w trakcie próby rozciągania próbki z jednoczesnym oddziaływaniem jednostronnej korozji elektrochemicznej.

**WSTĘP**

Celem pracy jest ocena możliwości tensometrycznych pomiarów odkształceń w trakcie próby rozciągania próbki aluminiowej poddanej jednoczesnemu oddziaływaniu jednostronnej korozji elektrochemicznej na czołowej powierzchni próbki na podstawie symulacji numerycznej MES. W próbce poddanej stałemu obciążeniu na skutek oddziaływania korozji elektrochemicznej następuje jednostronny ubytek materiału, a co za tym idzie zmiana geometrii w czasie – niesymetrycznie względem osi obojętnej, w wyniku czego przechodzi ona ze stanu czystego rozciągania w stan obciążenia złożonego z przeważającym udziałem zginania [2]. W miejscach ubytku powstaje koncentracja naprężeń. W trakcie próby rozciągania z oddziaływaniem korozji elektrochemicznej równoczesny pomiar ubytku (geometrii) jest kłopotliwy, związany z przerywaniem pomiarów, gdyż czynnik korozyjny

znajduje się w zamkniętym pojemniku doklejonym do próbki, co również ogranicza rozmieszczenie tensometrów. Można je umieścić na powierzchniach niepoddanych oddziaływaniu czynnika korozyjnego, czyli niezmiennych geometrii. Najdogodniejszym miejscem do naklejenia tensometru jest powierzchnia przeciwległa do ubytku, jednak ekstremalne wartości odkształceń i naprężeń wystąpią w obszarze wżeru, gdzie dokonanie pomiarów tensometrycznych jest praktycznie niemożliwe. Symulacja numeryczna ma na celu wyznaczenie rozkładu stanu naprężenia i odkształcenia w próbce z ubytkiem korozyjnym i wskazanie miejsc pomiarów odkształceń i zależności między wynikami w tych miejscach. Określenie stanu naprężenia w próbce tylko na podstawie pomiarów tensometrycznych może okazać się nie dość niedokładne i wówczas symulacja numeryczna będzie niezbędna do wyznaczenia stanu naprężenia w próbce w oparciu o otrzymane wyniki z badań tensometrycznych.

Do obliczeń stanu naprężenia i odkształcenia wykorzystano program MSC Marc rozwiązujący zadania metodą elementów skończonych MES [3].

### OPIS PRÓBY ROZCIĄGANIA

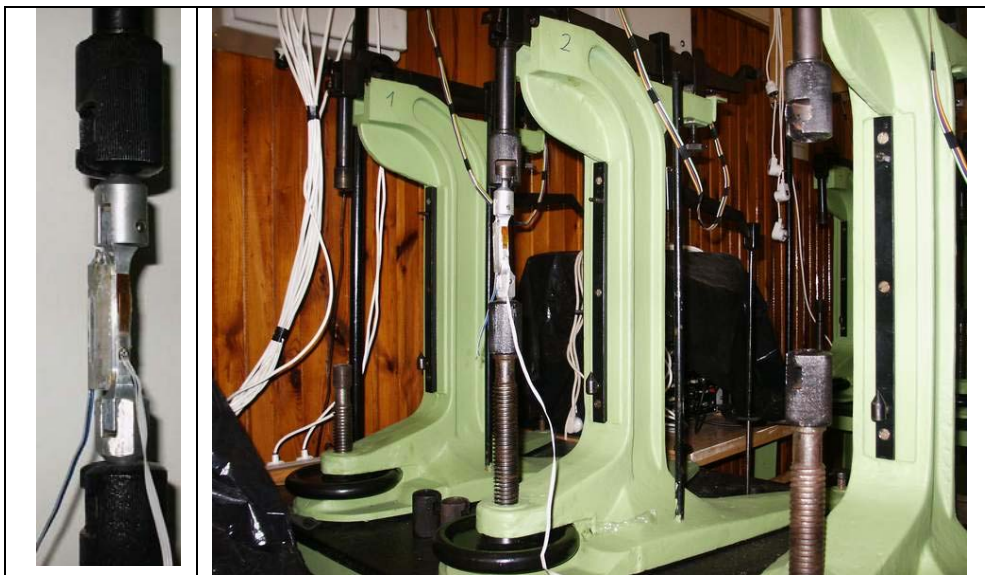
Celem próby rozciągania jest określenie odporności stopu aluminium-magnez AlMg5 na działanie czynnika korozyjnego przy jednoczesnym stałym obciążeniu wywołującym stan naprężenia odpowiadający 0,5 i 0,8 granicy plastyczności. Własności materiałowe badanego stopu są następujące [4]:

|                       |                                   |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Moduł Younga          | $E = 66,9 \cdot 10^9 \text{ Pa}$  |
| Liczba Poissona       | $\nu = 0,33$                      |
| Granica plastyczności | $R_e = 360 \cdot 10^6 \text{ Pa}$ |
| Gęstość               | $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$      |



Fot. 1. Próbką o przekroju prostokątnym ze stopu aluminium-magnez AlMg5 o wymiarach 3×10 mm wycięta z arkusza blachy i poddana obróbce skrawaniem

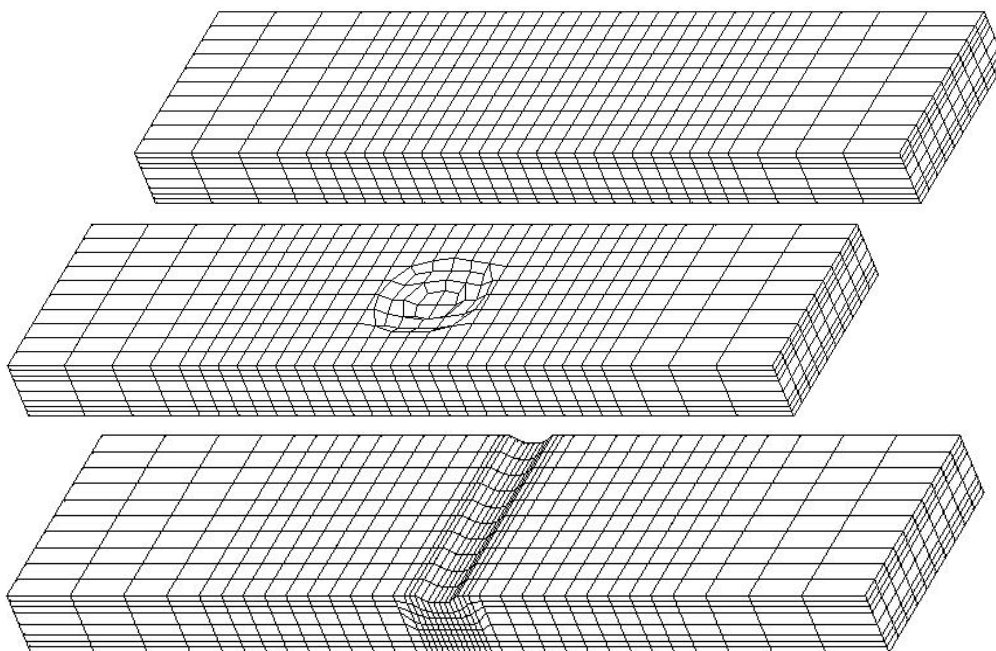
Do próbki elastycznie doklefony jest pojemnik z substancją aktywną, przez którą przepływa stały prąd o zadanym potencjale. Po przeciwległej stronie zbiornika naklefony jest tensometr rejestrujący stan odkształcenia w próbce. Tak przygotowana próbka zamontowana jest na maszynie wytrzymałościowej (naprężarce) i poddana stałemu długotrwałemu obciążeniu (fot. 2.). Na skutek działania czynnika korozyjnego i przepływającego przez niego prądu stałego w próbce powstaje ubytek korozyjny. W trakcie próby rozciągania wymagany jest monitoring rozwoju wżeru, którego obserwację ogranicza doklefony zbiornik. Z tego powodu zdecydowano się na pomiar tensometryczny, zakładając, że na tej podstawie będzie możliwe okreśnie rozwoju wżeru i stanu naprężenia panującego w jego obszarze.



Fot. 2. Stanowisko do próby długotrwałego rozciągania z zamontowaną próbką ze stopu aluminium-magnez

## SYMULACJA STANU NAPRĘŻENIA I ODKSZTAŁCENIA MES

Symulacje stanu naprężenia i odkształcenia w części roboczej (środkowej) próbki przeprowadzono dla trzech geometrii dyskretnych odwzorowanych w przestrzeni 4780 bryłowymi elementami ośmiowęzłowymi [4] – pierwszej bez wżeru, drugiej z wżerem kulistym o głębokości 0,6 mm i trzeciej z wżerem walcowym prostopadłym do osi próbki o różnych głębokościach wżeru (rys. 1.).



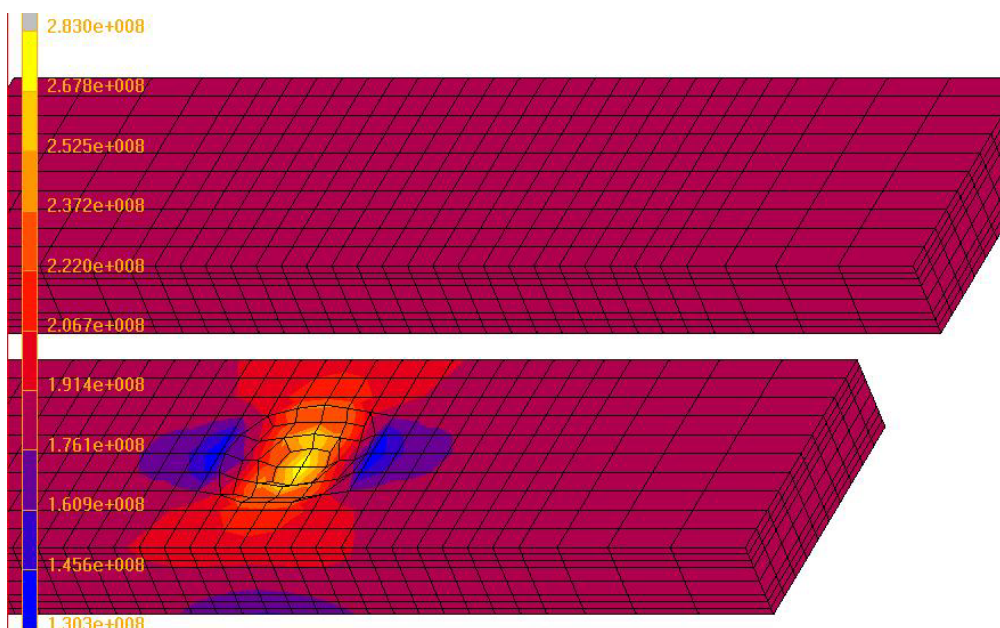
Rys. 1. Geometria dyskretna próbek poddanych rozważaniom

Przyjęto następujące warunki brzegowe: na prawych końcach próbek odebrano w węzłach przemieszczenia wzdłuż osi próbek, na lewych końcach powierzchni próbek obciążono ciśnieniem normalnym 180 MPa. Stałe materiałowe przyjęto jak wyżej. Dla tak przygotowanego zadania przeprowadzono obliczenia stanu naprężenia i odkształcenia.

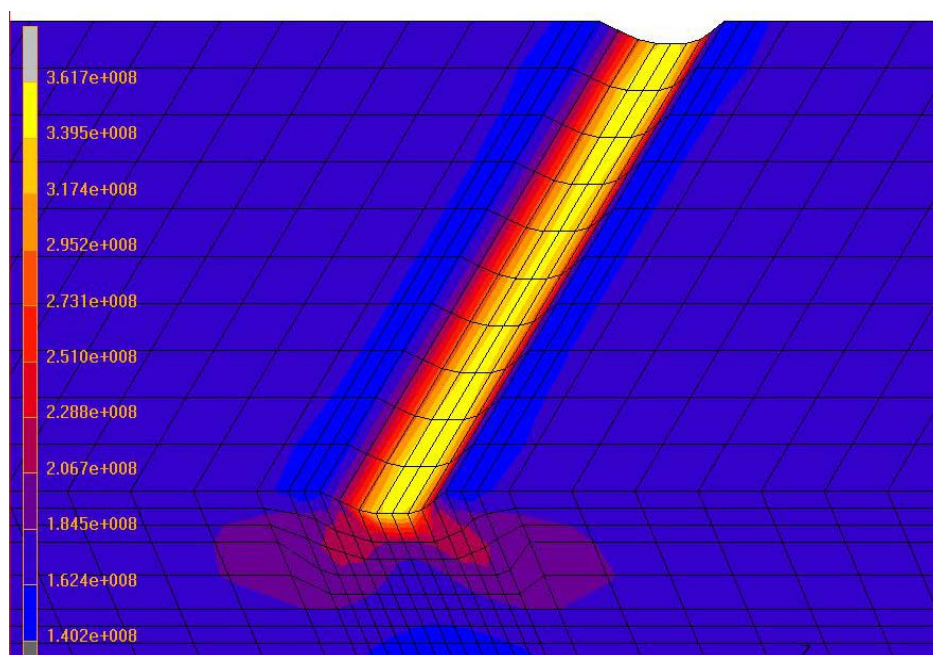
Dla próbki bez wżeru naprężenia normalne wzdłuż jej osi są stałe i równe wartości zadanego ciśnienia. Naprężenia normalne i styczne w pozostałych kierunkach są równe zero, co świadczy o prawidłowo przyjętych warunkach brzegowych (rys. 2.) i prawidłowo zamodelowanej próbce rozciągania.

W próbce z wżerem kulistym występuje stan naprężenia złożonego z przeważającym udziałem zginania. Największe naprężenia zredukowane (Hubera) wynoszą 283 MPa i ich koncentracja umiejscowiona jest na dnie wżeru (rys. 2.).

W próbce z wżerem walcowym również występuje stan naprężenia złożonego z przeważającym udziałem zginania. Dla takiego kształtu wżeru naprężenia zredukowane (Hubera) przekraczające granice plastyczności wynoszą 360 MPa, przy głębokości wżeru 0,4 mm. Ich koncentracja umiejscowiona jest na dnie wżeru (rys. 3.).

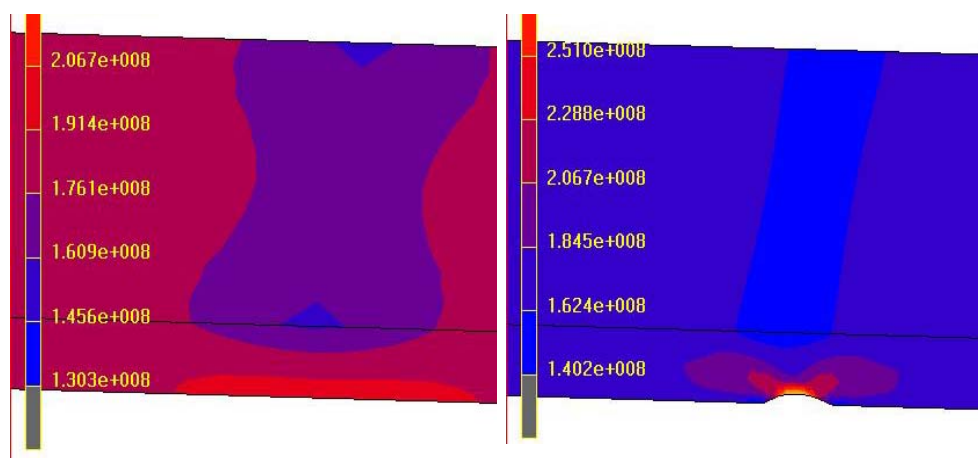


Rys. 2. Stan naprężenia zredukowanego (Hubera) w próbce z ubytkiem kulistym na tle próbki bez ubytku



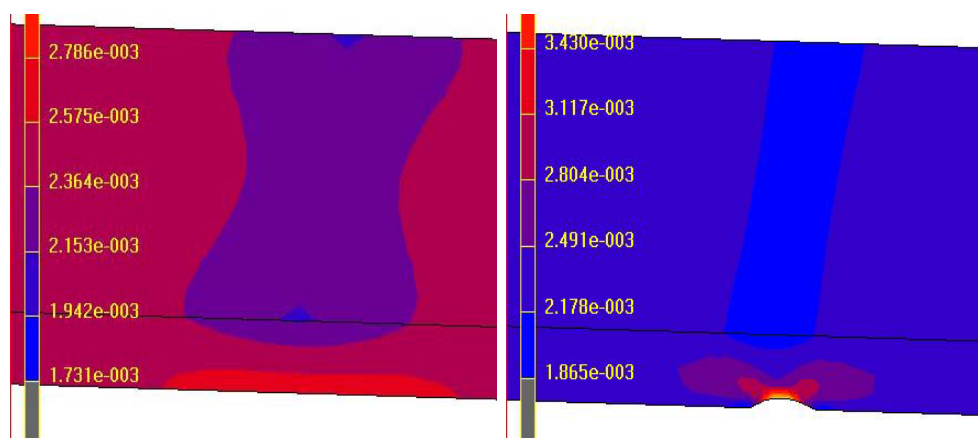
Rys. 3. Stan naprężenia zredukowanego (Hubera) w próbce z ubytkiem walcowym

Po przeciwległej stronie wżeru, gdzie można umieścić tensometr w trakcie próby rozciągania, następuje spadek naprężeń w stosunku do stanu bez wżeru (rys. 4.).



Rys. 4. Stan naprężenia zredukowanego (Hubera) w próbce z ubytkiem kulistym i walcowym po stronie przeciwległej do ubytku

Stan odkształcenia w badanych próbkach swoim charakterem jest zbliżony do stanu naprężenia. Po stronie przeciwległej wżeru w trakcie próby rozciągania wraz z pojawieniem się wżeru następuje zmniejszenie odkształceń w stosunku do stanu bez wżeru (rys. 5.).



Rys. 5. Stan odkształcenia wzdłużnego w próbce z ubytkiem kulistym i walcowym po stronie przeciwległej do ubytku

## WNIOSKI

Ze względu na pomiary stanu odkształcenia za pomocą tensometrów w trakcie próby rozciągania powyższy rozkład odkształceń jest niekorzystny. Przeciwną powierzchnia do wżeru jest najdogodniejszym miejscem przyklejenia tensometru, natomiast zmiany stanu odkształcenia w tym miejscu są rzędu dziesięciu procent w stosunku do ekstremalnych wartości występujących w obszarze wżeru. Wraz z powstawaniem ubytku korozyjnego próbka przechodzi ze stanu rozciągania do stanu złożonego z udziałem zginania. Powierzchnia ta ulega wydłużeniu od rozciągania i ściskaniu od zginania. Ekstremalne zmiany stanu naprężenia i odkształcenia, bez względu na kształt wżeru, będą występowały na dnie wżeru, gdzie pomiar tensometryczny w trakcie próby jest niemożliwy. Pomiar tensometryczny próbki po przeciwległej stronie wżeru nie da informacji ilościowych ani o ekstremalnych stanach w okolicach wżeru, ani o rozmiarach i kształcie wżeru. Niemniej jednak, tensometr wraz z rozrastaniem się wżeru będzie odnotowywał spadek naprężeń. W celu określenia stanu naprężenia w próbce z wżerem proponuje się wykorzystanie symulacji numerycznej. Rzeczywisty wżer może rozwijać się losowo, przyjmując dowolne kształty. Odwzorowanie rzeczywistej geometrii wżeru nie stwarza większego kłopotu, a znając odczyty z tensometru dla danej geometrii wżeru, łatwo jest zweryfikować otrzymane wyniki z symulacji numerycznej.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Ashby M. F., Jones D. R. H., *Materiały inżynierskie*, t. I, II, WNT, Warszawa 1995.
- [2] Dyląg Z., Jakubowicz A., Orłoś Z., *Wytrzymałość materiałów*, t. I, II, WNT, Warszawa 1996.
- [3] Kasprzyk Z., Rakowski G., *Metoda elementów skończonych w mechanice konstrukcji*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, wyd. 1, Warszawa 1994.
- [4] MSC PATRAN, *Modeling for Design Analysis*, MSC Software Corporation, Santa Anna 2000.
- [5] Orman M., Golian A., *Korozja aluminium i jego stopów*, Wyd. „Śląsk”, Katowice.

## **ABSTRACT**

The paper presents the results of MES simulation of stress and strain in aluminum samples with unilateral decrement caused by electrochemical corrosion which were subject to simultaneous tension load. It contains the results of numerical simulation of stress and strain for a sample with a spherical pinhole. The results obtained were used to formulate guidelines for tensometric measurements during a sample tension test with simultaneous action of unilateral electromechanical corrosion.

Recenzent dr hab. inż. Zbigniew Powierża, prof. nadzw. AM w Gdyni