

Zastosowanie numerycznej metody wykorzystującej punkty aktywne w obliczeniach naprężeń spawalniczych

PAWEŁ LONKWIC, SZYMON MOLSKI *

W artykule przedstawiono wykorzystanie metody elementów skończonych (MES) do modelowania numerycznego części typu wspornik wykonanego spawaniem. Opisano możliwość wykorzystania punktów aktywnych naprężeń do optymalizacji obliczeń, w wyniku czego zmniejszeniu ulegają obliczone wartości naprężeń maksymalnych, skumulowanych w niewielkich obszarach modelowanego elementu, a tym samym uzyskanie bardziej równomiernego ich rozkładu.

Wstęp

Rozwijanie metod numerycznych w procesie modelowania zarówno części maszyn jak i procesów montażowych znalazło swoje zastosowanie nie tylko w modelowaniu połączeń rozłącznych, ale również w modelowaniu połączeń nierozłącznych do jakich zaliczamy spawanie. Modelowanie połączeń spawanych jest realizowane na różnych płaszczyznach. W publikacji [8] opisano zastosowanie modułu do modelowania spoin w systemie Catia oraz wskazano prawidłową ścieżkę realizacji procesu modelowania. W rezultacie takiego podejścia na etapie wirtualnego prototypowania istnieje możliwość wyeliminowania błędów związanych z wirtualnym montażem, a tym samym ze ścieżkami współpracy jednego, spawanego elementu z innym, które w dalszym procesie mogą być łączone za pomocą metod rozłącznych. W publikacji [4] przedstawiono zastosowanie metody elementów skończonych do modelowania procesów spawania w zakresie bezpieczeństwa konstrukcji jak również w zakresie przemian strukturalnych zachodzących w spawanym materiale. W publikacji internetowej [7] Autor opisuje możliwości

wykorzystania oprogramowania SOLIDWORKS Simulation w zakresie sprawdzania istniejących spoin, ale również w zakresie optymalizacji rozmiaru spoin w modelach numerycznych części maszyn. W pracy [6] opisano modelowanie metod spawania w zastosowaniu do analizy naprężeń cieplnych generowanych w elementach cienkościennych typu cylinder. W pracy [1] opisano zastosowanie innego systemu komputerowego – Abaqus, do modelowania połączenia spawanego wykonanego ze stali nierdzewnej. Otrzymane wyniki poddano analizie w zakresie minimalnych i maksymalnych wartości naprężeń oraz temperatur w obszarze spawanym. Odmienne ujęcie procesu modelowania numerycznego połączeń spawanych przedstawiono w publikacji [3]. W rozważaniach posłużono się optymalizacją parametrów technologicznych spawania wpływających na wymianę ciepła w procesie spawania w celu zapewnienia ogólnej przydatności typowych połączeń spawanych wykorzystywanych przy produkcji stojanów turbin wiatrowych. Na drodze symulacji numerycznej porównywano strefy wpływu ciepła na wartość naprężeń według hipotezy Hubera–von Misesa w obszarze spawanym. W publikacji [5] opisano badania zarówno rozkładu temperatury jak i odkształceń oraz naprężeń szczątkowych w płytach stalowych powstałych w wyniku realizacji różnych sekwencji spawania. Proces spawania łukiem wolframowym jednorzębowym był symulowany przez trójwymiarowe nieliniowe ujęcie termoelastyczno–plastyczne. Autorzy zaobserwowali, że rozkład naprężeń szczątkowych

* Dr inż. Paweł Lonkwic, plonkwic@gmail.pl, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie, Centrum Studiów Inżynierskich, dr inż. Szymon Molski, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Katedra Transportu Linowego



zmienia się w zależności od kierunku spawania. Stwierdzono, że sekwencja spawania wpływa nie tylko na odkształcenia spawalnicze, ale również na naprężenia szczątkowe głównie w dolnej warstwie płyt.

Z przytoczonej wyżej syntezy informacji literaturowych wynika, że w modelowaniu numerycznym procesów nierozłącznych wykorzystuje się różne ujęcie zagadnienia. Na podkreślenie zasługuje fakt, że wykorzystanie metod numerycznych dostarcza wielu informacji, dzięki którym istnieje możliwość zarówno optymalizacji konstrukcji jak również ograniczanie kosztów wytwarzania.

Modelowanie połączeń spawanych

W niniejszym artykule opisano wykorzystanie punktów aktywnych naprężeń do eliminacji tzw. koncentratorów naprężeń, powstałych w wyniku wystąpienia niedoskonałości siatki podczas modelowania numerycznego detalu typu wspornik.

W tym celu zamodelowano element jako połączenie teowe dwóch płaskowników stanowiących spawany wspornik o wymiarach pokazanych na rysunku 1.

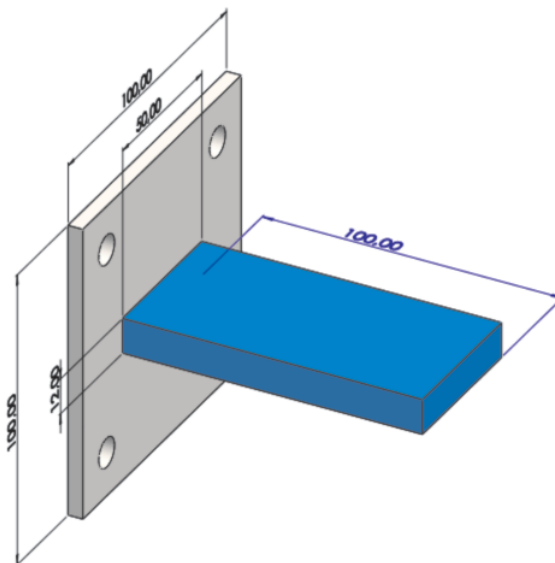
W celu zamodelowania połączenia spawanego, na podstawie wykonanego modelu numerycznego wspornika wykonano model numeryczny połączenia pachwinowego, co zostało pokazane na rysunku 2.

Do modelu płaskownika zostało przypisane tworzywo konstrukcyjne: stal S275, będąca w bazie oprogramowania. Dla tego tworzywa zostały przyjęte następujące wartości cech fizyko-mechanicznych:

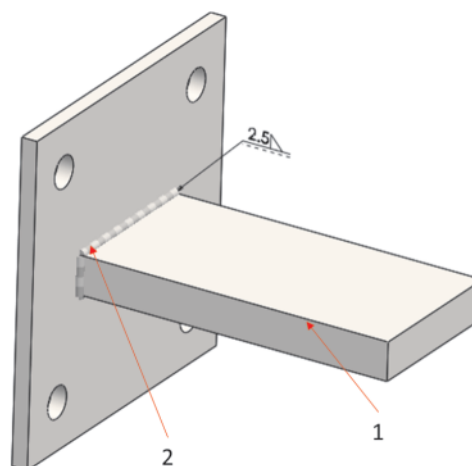
- współczynnik sprężystości: 210000 N/mm^2
- współczynnik Poissona: 0,28
- masa właściwa: 7800 kg/m^3
- wytrzymałość na rozciąganie: 450 MPa
- granica plastyczności: 275 MPa

W celu obliczenia wartości naprężeń maksymalnych we wsporniku założono, że będzie on utwierdzony do ściany za pomocą 4 śrub M 10 oraz, że będzie on obciążony obciążeniem o wartości 350 N przyłożonym w najbardziej niekorzystnym miejscu. Schemat utwierdzenia wspornika wraz z obciążeniem pokazany został na rysunku 3.

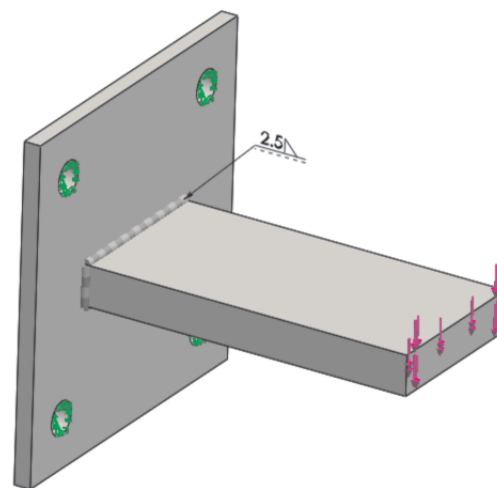
Tak przyjęty model poddany został dyskretyzacji z użyciem siatki o wartości rozmiaru elementu 2 mm oraz z tolerancją 0,1 mm. Ponieważ, wspornik jest obciążony w najbardziej niekorzystnym miejscu, należy przyjąć, że najbardziej wyciężonym miejscem będzie miejsce położenia spawu. W związku z tym, na krawędziach styku płaskownika z marką mocującą wspornik do ściany zostało zastosowane sterowanie siatką, tzn. na krawędziach i w najbliższym ich otoczeniu siatka została zagęszczona w sposób kontrolowany. Sterowanie siatką zostało zdefiniowane para-



Rys. 1. Model numeryczny spawanego wspornika

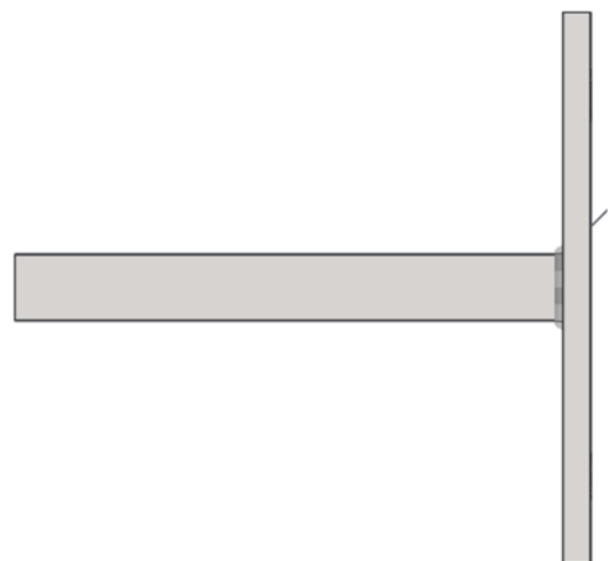
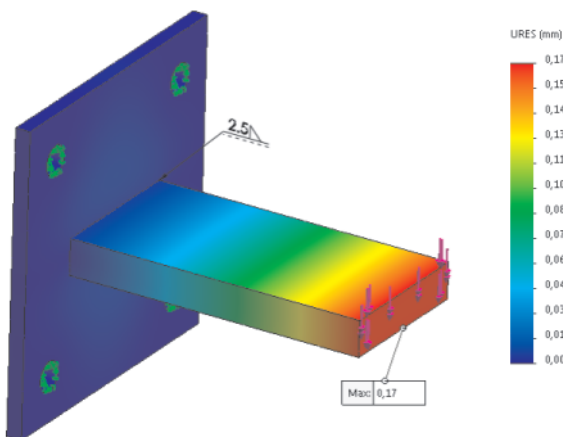
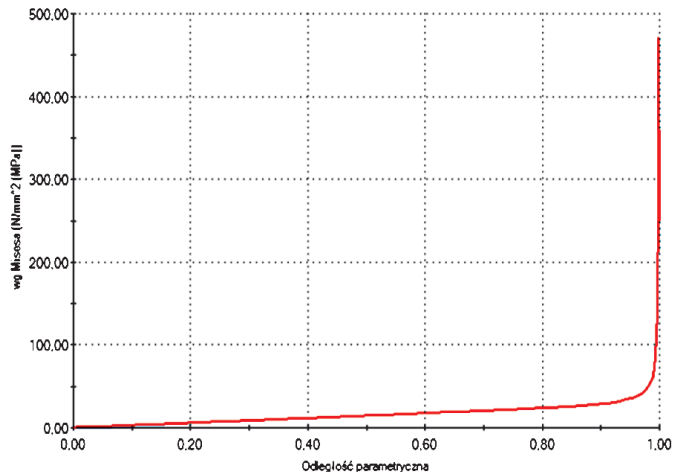
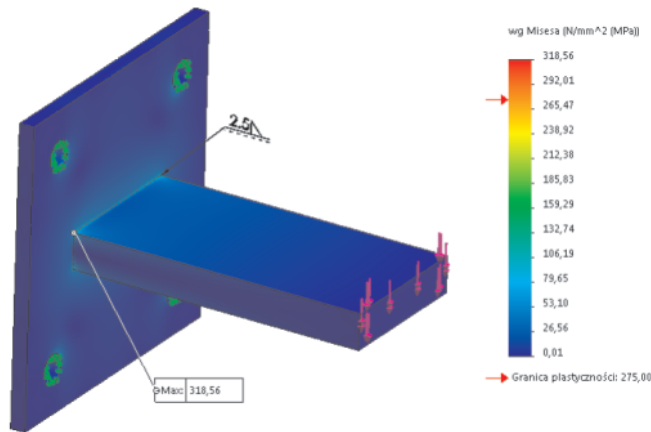


Rys. 2. Model numeryczny połączenia doczołowego: 1 – płaskownik, 2 – miejsce położenia spoiny pachwinowej



Rys. 3. Model numeryczny wspornika z pokazanym utwierdzeniem oraz obciążeniem

Wartość naprężeń maksymalnych



Rys. 4. Wyniki obliczeń numerycznych wspornika: a) wartość naprężeń maksymalnych, b) wartość przemieszczeń maksymalnych

Rys. 5. Rozkład naprężeń we wsporniku

metrem o wartości 0,75 mm. Obliczenia numeryczne maksymalnych naprężeń zostały wykonane z wykorzystaniem hipotezy Hubera von Misesa, a otrzymane wyniki obliczeń wartości maksymalnych naprężeń oraz przemieszczeń pokazane zostały na rysunku 4a oraz 4b.

Analiza otrzymanych wyników obliczeń na drodze numerycznej pokazuje, że największa koncentracja naprężeń występuje w obszarze rozciąganej warstwy wspornika w miejscu występowania spoiny i przyjmuje wartość 318 MPa co znacznie przewyższa wartość przyjętej granicy plastyczności, która w tym przypadku wynosi 275 MPa. Wartość maksymalnych przemieszczeń skoncentrowana jest na końcu wspornika i wynosi 0,17 mm.

Analiza otrzymanych wyników pokazuje również, że największe wartości naprężeń występują tylko w wybranych obszarach połączenia, co może występować na skutek m.in. niejednorodności siatki modelu dykretnego wspornika. Rozkład naprężeń maksymalnych wzdłuż krawędzi wspornika można również zobrazować za pomocą wykresu – rysunek 5.

Tak przygotowane dane mogą posłużyć do analizy prawdziwości otrzymanych na drodze modelowania numerycznego wyników oraz do podjęcia próby wyeliminowania

koncentracji naprężeń występujących na bardzo małych powierzchniach modelowanego elementu.

Punkty osobliwe i punkty aktywne naprężeń

Wiarygodność otrzymanych wyników na drodze obliczeń numerycznych wydaje się często sporna, zwłaszcza w przypadkach kiedy za pomocą obliczeń numerycznych obliczana jest prosta konstrukcja, a otrzymane wyniki znacząco większe od orientacyjnych wartości jakie podpowiada intuicja inżynierska.

Punkty osobliwe naprężeń są to takie punkty, w których niedoskonałość odtworzenia modelu fizycznego za pomocą modelu numerycznego powoduje, że obliczone naprężenia dążą teoretycznie do nieskończoności, a w rzeczywistości przyjmują duże wartości. Punkty aktywne naprężeń są to punkty, w których wartości obliczonych naprężeń zmieniają się znacząco do pozostałych wartości i są skumulowane na granicy dwóch elementów modelu bądź dwóch płaszczyzn. Na takiej linii może być kilka punktów aktywnych, tworząc w ten sposób nieregularny rozkład naprężeń oraz wartości,

które w tych punktach są dużo większe niż wartość maksymalna, obliczona w pozostałej objętości elementu [2].

W opisanym wyżej przykładzie widać, że koncentracja naprężeń maksymalnych skumulowana jest w obszarach naroży, co pokazano na rysunku 6.

Oprogramowanie SOLIDWORKS Simulation umożliwia konstruktorowi analizę takich miejsc oraz ewentualną ich eliminację na podstawie otrzymanych wcześniej wyników obliczeń numerycznych, a co się z tym wiąże – otrzymanie optymalnego rozkładu naprężeń w modelowanym elemencie.

Na rysunku 7 pokazano rozkład naprężeń maksymalnych po wyeliminowaniu miejscowych koncentracji naprężeń z zastosowaniem punktów aktywnych.

Rozkład naprężeń maksymalnych pokazany na rysunku 7 jest bardziej jednorodny, a naprężenia maksymalne osiągają wartość 232 MPa i są mniejsze od granicy plastyczności dla przyjętego materiału, która wynosi w przedstawionym przykładzie 275 MPa.

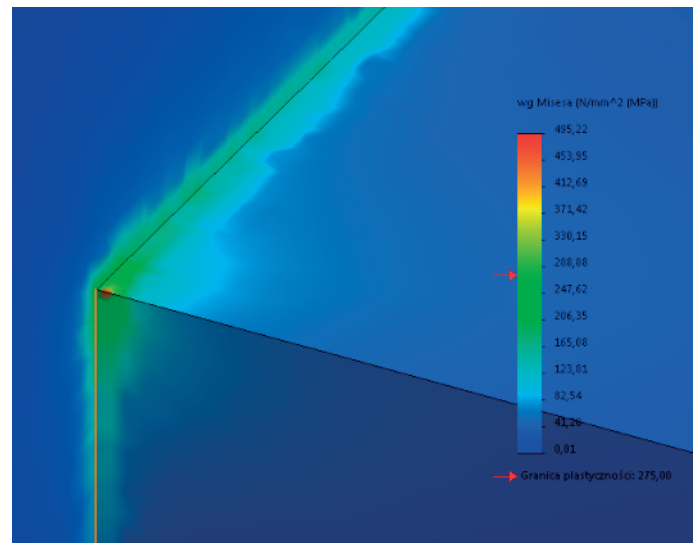
Wnioski

Na przedstawionym prostym przykładzie, zobrazowano krótką analizę części typu wspornik w aspekcie rozkładu naprężeń maksymalnych z wykorzystaniem metody elementów skończonych, co pozwala na sformułowanie poniższych spostrzeżeń i wniosków:

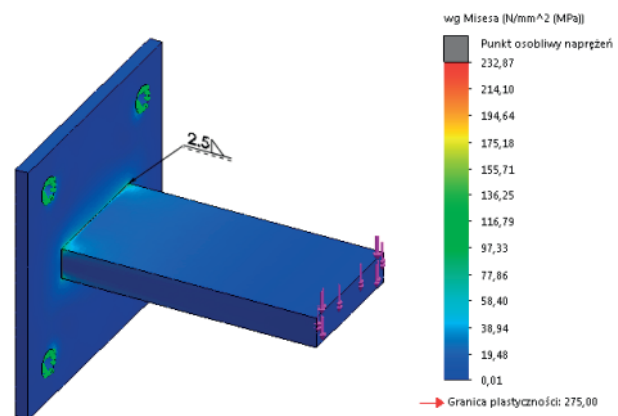
- niedoskonałość odtworzenia modelu fizycznego za pomocą modelu numerycznego powoduje, że obliczone naprężenia w niewielkich obszarach mogą być znacząco większe od naprężeń jakie w rzeczywistości występują w analizowanym modelu,
- wykorzystując analizę punktów aktywnych zmniejszono wartość obliczeniowych naprężeń maksymalnych z 318 do 232 MPa, uzyskano także bardziej jednorodny rozkład naprężeń w modelu,
- wykorzystanie metod numerycznych do optymalizacji konstrukcji znacząco przyczynia się do poprawy kryterium ekonomiczności oraz bezpieczeństwa.

Literatura

1. Chaitanya K., Balram Y., Vemanaboina H.: *Simulation of Welding for Dissimilar Metals using Abaqus*. National Conference on Recent Trends & Innovations in Mechanical Engineering. ISSN on-line 2321-0613. 2016.
2. Helpdesk programu SOLIDWORKS Simulation.
3. Kollár D., Kövesdi B., Gergely L.: *Weld process model for simulating metal active gas welding*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03302-3>.
4. Pikuła J.: *Analizy numeryczne konstrukcji spawanych*. Instytut Spawalnictwa. Polskie Spawalnicze Centrum Doskonałości. Gliwice.



Rys. 6. Rozmieszczenie miejscowych koncentracji naprężeń



Rys. 7. Rozkład naprężeń maksymalnych we wsporniku z zastosowaniem aktywnych punktów naprężeń.

5. Qiao Chen B. Q., Soares G.: Effect of welding sequence on the residual stress distribution in a stiffened plate. Proceedings of the ASME 2016 35th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, South Korea 2016.
6. Singh H., Kumar S., Singh N., Amandeep K.: *Thermal Stress Analysis in Butt Welded Thick Wall Cylinder*. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) 3 (10), 2014
7. Szulta P.: Obliczanie rozmiaru spoin w SOLIDWORKS Simulation. <https://solidmania.com/obliczanie-rozmiaru-spoin-solidworks-simulation/>, stan na dzień 10.05.2019
8. Tagowski M., Zaborski A.: *Komputerowo wspomagane projektowanie spoin w systemie Catia*. XIX Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji. Mechanik 7/2015. ■