

XVII Konferencja Naukowo-Techniczna

TKI2024

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

15–18 października 2024

Modyfikacja geometrii zakładkowych spoin laserowych poddanych obciążeniom dynamicznym

Adrian Michoński¹, Jerzy Czmochowski¹

¹Katedra Konstrukcji Badań Maszyn i Pojazdów, Politechnika Wrocławska
email: adrian.michonski@pwr.edu.pl, jerzy.czmochowski@pwr.edu.pl

STRESZCZENIE: W badaniach dotyczących modyfikacji geometrii zakładkowych spoin laserowych, zaproponowano metodologię opartą na sumarycznej mapie obciążenia. Wykorzystano algorytm w języku Python, który dla każdego elementu obliczał maksymalną wartość funkcji z kroków czasowych. Następnie wybierano maksymalną wartość spośród wszystkich testów, tworząc model z mapą obciążenia. Wybrane funkcje obejmowały siły wzdłużne i poprzeczne na belkach spoin, naprężenia oraz odkształcenia na elementach powłokowych. Pozwoliło to na identyfikację obszarów, które mogą być zredukowane bez wpływu na zachowanie struktury. Po zredukowaniu długości spoin, siły na pozostałych spoinach nieznacznie wzrosły. Wnioski obejmują możliwość lokalizacji miejsc bez obciążenia, oszczędność czasu produkcji poprzez redukcję długości spoin oraz potencjał wykorzystania metody do optymalizacji struktury stalowej.

SŁOWA KLUCZOWE: obliczenia numeryczne, spoina laserowa, struktura stalowa, Python, Pam-Crash

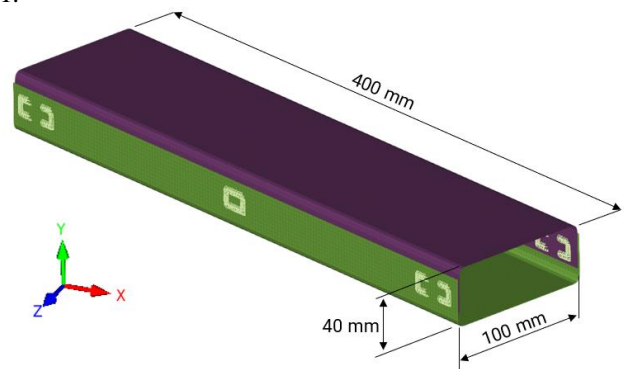
1. Wstęp

Optymalizacja struktury jest aktualnie szeroko badany obszarem, który ma na celu wyznaczenie geometrii elementów o takich samych właściwościach wytrzymałościowych, przy równoczesnej redukcji ich masy, co jest szczególnie widoczne w branży lotniczej oraz kosmicznej, gdzie za pomocą optymalizacji topologicznej opracowywane są geometrie możliwe do wytworzenia głównie za pomocą technologii przyrostowych. Obecnie na rynku dostępny jest szeroki wybór programów, pozwalających na szybkie przeprowadzenie tego rodzaju optymalizacji, które z uwagi na sposób działania oraz wykorzystywanie w elementach działających w zakresie sprężystym, jest możliwe do przeprowadzenia, tylko dla struktur poddawanych obciążeniom statycznym [1]. Prowadzone są także badania nad optymalizacją konstrukcji poddawanych obciążeniom uplastyczniającym je, jednak jest to zdecydowanie węższy obszar [2]. W tej pracy postanowiono sprawdzić możliwość modyfikacji struktury, niezależnie obciążanej kilkoma różnymi obciążeniami uplastyczniającymi różne jej fragmenty. Sytuacja taka w rzeczywistych warunkach zachodzi w elementach bezpieczeństwa, których zadaniem jest rozpraszanie energii. Kolejnym założeniem był brak konieczności użycia technologii addytywnych do wytworzenia struktury, z uwagi na jej główne wykorzystanie do wytwarzania małych serii produktów.

2. Symulacje numeryczne

Badania zostały przeprowadzone na strukturze składającej się z dwóch nachodzących na siebie ceowników, połączonych ze sobą spoinami laserowymi w sześciu miejscach. Profile o grubości 1,5 mm zostały przygotowane ze stali HC460LA z sprężysto-plastycznym

modelem materiałowym, a średnia wielkość powłokowych elementów skończonych to 2,5 mm. Spoiny laserowe zostały zamodelowane za pomocą elementów typu PLINK [3]. Wygląd oraz wymiary modelu przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Model obliczeniowy struktury

Kolejnym krokiem było zdefiniowanie testów, jakim zostanie poddana struktura. W celach badawczych wybrano siedem różnych testów, którymi niezależnie obciążano strukturę i które powodowały różne stany naprężeń oraz deformacji elementów. Były to symulacje:

- rozciągania górnego profilu względem dolnego wzdłuż osi X,
- odrywania górnego profilu od dolnego wzdłuż osi Y,
- 3-punktowego zginania profilu w kierunku osi Y,
- skręcania profilu w osi X,
- ściskania profilu w osi X,
- zginania profilu w osi Y,
- zginania profilu w osi Z.

Wszystkie obciążenia zostały zadane w czasie 100 ms, co odpowiada czasowi trwania m.in. zderzeń samochodowych [4]. Wszystkie obliczenia zostały

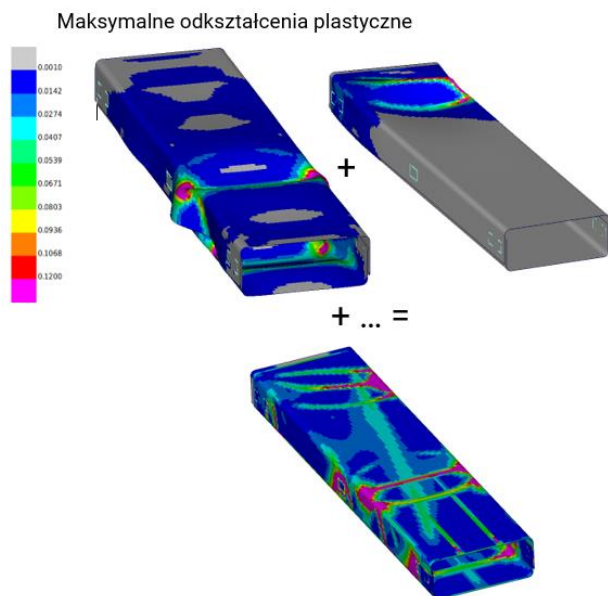
przeprowadzone w oprogramowaniu Pam-Crash, jako symulacje explicit.

3. Wyniki symulacji i ich analiza

W celu konstrukcji poddawanej 7 różnym typom testów, zaproponowana została metodologia, polegająca na opracowaniu sumarycznej mapy obciążenia struktury, wynikającą z całej gamy obciążenia. Stworzenie mapy obciążenia zostało przeprowadzone za pomocą algorytmu w języku Python, który dla każdego elementu, sprawdzał maksymalną wartość funkcji spośród wszystkich kroków czasowych, a następnie przyporządkowywał ją do tego elementu. Następnie algorytm wykonywany był ponownie, tylko zamiast maksimum z kroków czasowych, wybierana była maksymalna wartość spośród wszystkich testów. Tym samym otrzymany został model, w którym każdy z elementów ma maksymalną wartość funkcji ze wszystkich kroków czasowych, we wszystkich symulacjach. Poprzez wykonanie programu na wszystkich dostępnych funkcjach, otrzymano model z mapą obciążenia dla wykonanych symulacji. Wybrane funkcje, dla których stworzona została mapa obciążenia to:

- siły wzdłużne na belkach tworzących spoiny
- siły poprzeczne na belkach tworzących spoiny
- naprężenia na elementach powłokowych
- maksymalne odkształcenia na elementach powłokowych
- odkształcenia w środkowym punkcie całkowania elementów powłokowych.

Wynik działania funkcji wraz z odkształceniami dla osiowego ściskania oraz zginania przedstawiono na rysunku 2.



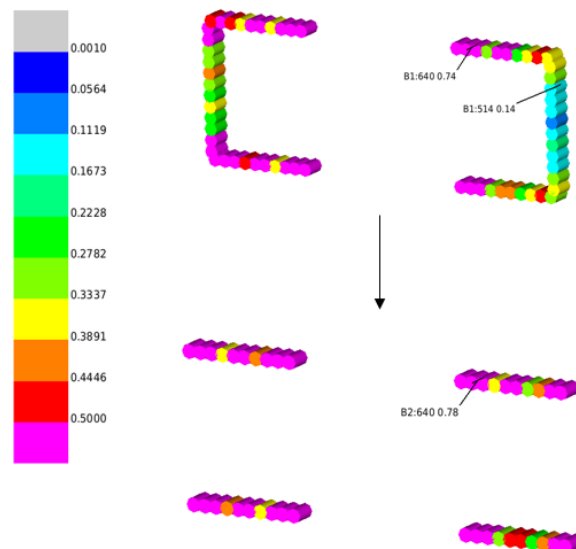
Rys. 2. Odształcenia w wybranych symulacjach oraz wynik działania funkcji mapującej

Analogiczna mapa powstała dla elementów formujących spoiny laserowe, dzięki czemu możliwe było określenie, które miejsca spoin nie przenoszą lub przenoszą niewielkie obciążenia w stosunku do pozostałych. Pozwoliło to na wyznaczenie obszarów spoiny, które mogą zostać zredukowane i nie powinny wpłynąć na obciążenie pozostałych spoin oraz zachowanie struktury.

Model, po zredukowaniu długości spoin został ponownie przeliczony dla wszystkich przypadków

obciążenia oraz wygenerowana została nowa mapa. Działania te dla jednej spoiny zaprezentowano na rys. 3. Możemy na nim zobaczyć, że boczne obszary spoin przenosiły kilkukrotnie mniejsze obciążenie niż skrajne obszary (0,74 kN ÷ 0,14 kN) i że po ich usunięciu siły na pozostałym obszarze nieznacznie wzrosły (do 0,78 kN)

Siły tnące w elementach tworzących spoinę [kN]



Rys. 3. Modyfikacja kształtu spoiny laserowej

Tym samym zredukowana została długość wykorzystanych spoin z 305 mm do 227 mm (25%)

4. Podsumowanie

Po przeprowadzeniu badań, można wyciągnąć następujące wnioski, odnośnie poprawy geometrii struktur poddawanych niezależnym obciążeniom dynamicznym za pomocą mapy obciążenia:

- 1) Utworzenie mapy obciążenia, pozwala na szybkie zlokalizowanie miejsc, które nie przenoszą obciążenia.
- 2) Możliwa jest redukcja ścieżki zakładkowych spoin laserowych, co przy praktycznym wykorzystaniu przekłada się na oszczędność czasu produkcji danego detalu.
- 3) Przy dalszych badaniach, możliwe jest wykorzystanie tej metody do optymalizacji struktury stalowej.

Literatura

- [1] Bendsoe M. P., Sigmund O. *Topology optimization. Theory, methods, and applications*, 2nd ed. Springer, 2003
- [2] Kyeong-Bim K., Tae-Hyun K., Eun-Ho L., *Effect of formulation method for plastic deformation rate on topology optimization considering elastic-plastic behavior*, European Journal of Mechanics, Vol. 106, July-August 2024.
- [3] Michoński A., Czmochoński J., *Wpływ sposobu modelowania zakładkowych spoin laserowych w środowisku Pam-Crash na rozkład naprężenia*, Computer Aided Engineering. Nauka i przemysł, 2022, s. 115-122
- [4] Christiansen J., Bastien Ch., *Nonlinear optimization of vehicle safety structures*, Butterworth-Heinemann 2016