

Ocena bezpieczeństwa eksploatacji spawanego rusztu prasy mimośrodowej

Estimation of exploitation safety of welded grate of eccentric press

PIOTR DANIELCZYK
JACEK STADNICKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.8-9.66>

Przeanalizowano wytrzymałość zmęczeniową spoin korpusu prasy do tłoczenia blach karoseryjnych. Przygotowano modele MES korpusu zawierające połączenia spawane blach. Symulacja z uwzględnieniem uszkodzeń części spoin wykazała niedostateczną sztywność rusztu prasy, co w konsekwencji spowodowało złamanie zmęczeniowe wału mimośrodowego prasy.

SŁOWA KLUCZOWE: wytrzymałość zmęczeniowa, ruszt prasy, symulacja MES

The fatigue strength of welds of the press body for pressing car body sheets were analysed. The FEM models of the body were prepared taking into account welded sheet metal connections. Simulation, which took into account the damage of some welds, showed insufficient stiffness of the press grate, which in consequence caused a fatigue fracture of the eccentric press shaft.

KEYWORDS: fatigue strength, press grate, FEM simulation

Wprowadzenie

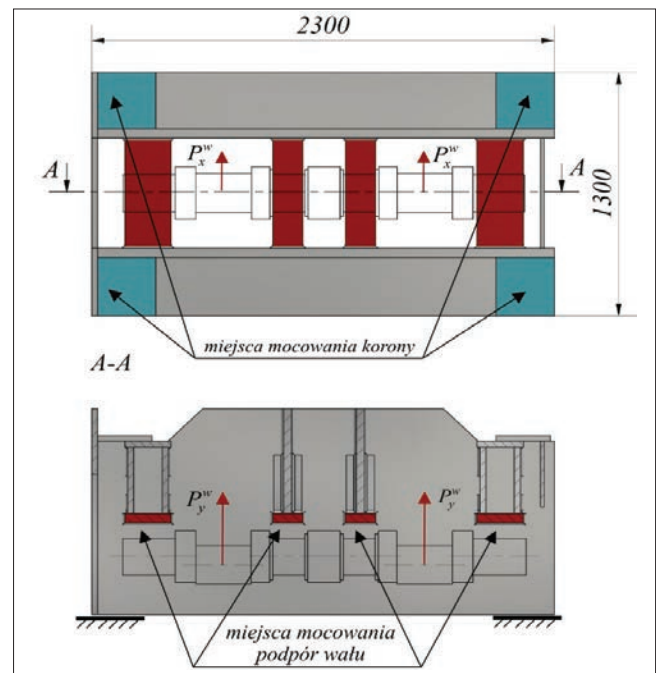
W korpusach i obudowach współczesnych maszyn stosuje się konstrukcje spawane z blach stalowych. W porównaniu z używanymi dawniej konstrukcjami odlewany z żeliwa szarego są one tańsze i lżejsze, jednak ich zdolność do tłumienia drgań i wytrzymałość zmęczeniowa przy obciążeniach wysokocyklowych są mniejsze.

Przedmiotem analizy wysokocyklowej wytrzymałości zmęczeniowej była korona prasy mimośrodowej do tłoczenia blach karoseryjnych, która uległa awarii. Koronę prasy w formie rusztu o skrzynkowej konstrukcji spawanej z zamocowanymi oprawami czterech łożysk ślizgowych podpierających wał mimośrodowy prasy wykonano z blach stalowych o grubości od 10 do 50 mm.

Na rys. 1 pokazano prasę, a na rys. 2 zamieszczono poglądowo w rzucie z dołu ruszt korony prasy, na którym zaznaczono: miejsca zamocowania opraw łożysk wału mimośrodowego, miejsca, w których korona prasy wspiera się na słupach, oraz schematycznie – wał prasy.



Rys. 1. Analizowana prasa



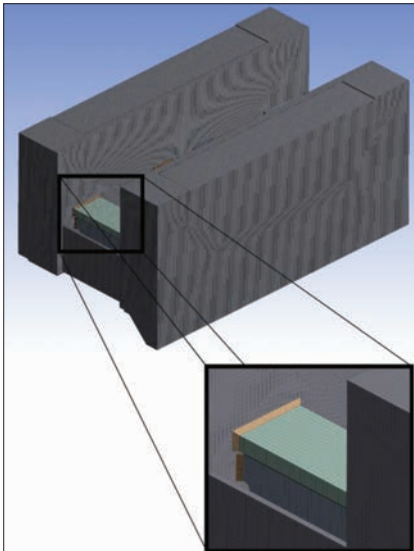
Rys. 2. Schemat konstrukcji rusztu korony prasy

Podczas eksploatacji prasy prowadzonej zgodnie z warunkami technicznymi określonymi przez producenta doszło do awarii spowodowanej złamaniem zmęczeniowym wału mimośrodowego. W trakcie ustalania przyczyn awarii poddano również oględzinom ruszt korony prasy i stwierdzono, że część spoin rusztu po jednej stronie jest pęknięta. Pojawiło się pytanie: co było pierwotną przyczyną awarii? Czy złamanie wału spowodowało pęknięcie części spoin rusztu, czy odwrotnie, osłabiony pęknięciami ruszt spowodował złamanie zmęczeniowe wału? Aby to wyjaśnić, przeanalizowano wytrzymałość zmęczeniową wału i rusztu korony prasy z wykorzystaniem modeli MES i programu ANSYS Workbench.

Model MES i ocena wytrzymałości zmęczeniowej rusztu korony prasy

Model obliczeniowy korony prasy opracowano z wykorzystaniem metody elementów skończonych i programu ANSYS Workbench. Zaimportowany ze środowiska CAD model geometryczny zdyskredytowano z użyciem elementów skończonych 3D typu *Solid186* oraz *Solid187*, z zachowaniem regularnego rozmieszczenia węzłów siatki elementów skończonych (rys. 3). Przyjęto, że podparcie korony prasy jest sztywne, a obciążenia działające w miejscach mocowania podpór wału pochodzą od reakcji wyznaczonych podczas odrębnej analizy przeprowadzonej

* Dr inż. Piotr Danielczyk, pdanielczyk@ath.bielsko.pl, <https://orcid.org/0000-0002-7622-3150> – Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała, Polska
Prof. dr hab. inż. Jacek Stadnicki, jstadnicki@ath.bielsko.pl, <https://orcid.org/0000-0002-3297-3291> – Akademia Techniczno-Humanistyczna, Bielsko-Biała, Polska



Rys. 3. Model MES korony prasy

dla wału. Analizę wału mimośrodowego prasy opisano w artykule [1].

Model MES korony składał się z 1 336 553 elementów skończonych połączonych w 290 427 węzłach. W modelu obliczeniowym uwzględniono, że część spoin rusztu korony prasy była pęknięta.

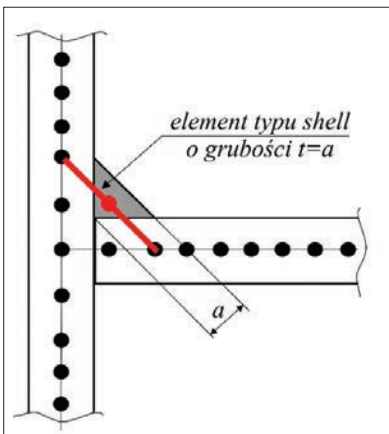
Połączenia spawane pachwinowe w metodzie elementów skończonych można zamodelować za pomocą modelu powierzchniowego i bryłowego.

Model powierzchniowy

Ten sposób modelowania wymaga utworzenia modeli powierzchniowych spawanych blach oraz modeli powierzchniowych spoin łączących blachy. Ideę takiego sposobu modelowania połączenia pokazano na rys. 4. Spoinę pachwinową zastępuje się elementem powierzchniowym typu *shell* o zastępczej grubości t . Przy czym wykorzystuje się dwa podejścia.

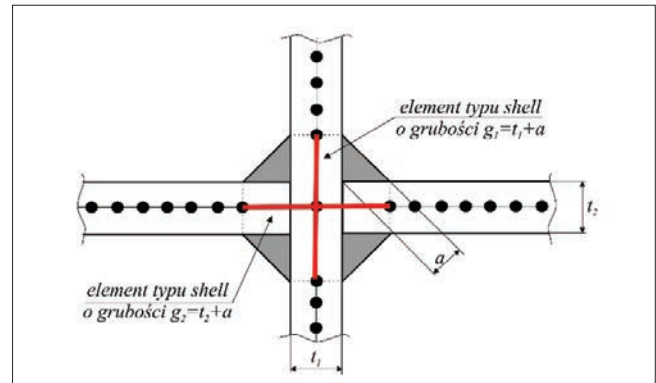
W pierwszym podejściu modelowaną spoinę tworzą dwa rzędy elementów skończonych typu *shell*, którym przypisuje się grubość odpowiadającą wymiarowi spoiny a . Rozmieszczenie węzłów elementów powierzchniowych modelujących spawane blachy powinno być takie, aby powierzchnia modelu spoiny była równoległa do lica rzeczywistej spoiny [2]. Takie podejście dobrze się sprawdza przy modelowaniu połączeń blach o zbliżonej grubości.

Drugie podejście [2, 4] polega na zastąpieniu części spawanych blach w obrębie połączenia elementami powierzchniowymi o grubościach zastępczych g , będących sumą grubości blachy t i wymiaru spoiny a .



Rys. 4. Modelowanie spoiny elementem zastępczym

Rozmieszczenia węzłów, na których rozpina się elementy powierzchniowe modelujące spoinę, pokazano na rys. 5. W zbliżony sposób zastępuje się spoiny także elementami sztywnymi, co opisano w artykule [3]. Warto dodać, że modele powierzchniowe są efektywniejsze numerycznie od opisanych dalej modeli bryłowych.



Rys. 5. Modelowanie spoiny elementem o zastępczej grubości

Model bryłowy

Ten sposób modelowania jest szeroko stosowany ze względu na łatwość tworzenia modelu MES połączenia, który bazuje na modelu geometrycznym 3D importowanym do programu MES z programu CAD. W obliczeniach realizowanych za pomocą takich modeli można dokładnie odwzorować przekrój i kształt lica spoiny, głębokość przetopu, a także grubość spawanych blach, która może znacznie się różnić. Po przeprowadzeniu obliczeń uzyskuje się dokładny rozkład naprężenia w spoinie i łączonych blachach. Specjalistyczne programy do symulowania spawania pozwalają także wyznaczyć rozkład faz i temperatury w przetopionym materiale oraz odkształcenia spawalnicze.

Modele bryłowe są mniej efektywne numerycznie, dlatego aby poprawić ich efektywność, w modelowaniu połączeń spawanych wykorzystuje się technikę tworzenia modeli pomocniczych (*submodeling*), w których z użyciem zagęszczonych siatek węzłów odwzorowuje się dokładnie fragmenty obejmujące połączenie spawane.

Ponieważ celem analizy była ocena wytrzymałości zmęczeniowej całego rusztu korony prasy, a blachy, z których jest pospawany, mają bardzo różne grubości, do modelowania połączeń spawanych zastosowano model bryłowy.

Połączenia elementów skończonych typu bryłowego modelujących blachy i spoiny zamodelowano elementami kontaktowymi typu Bonded. Zapewniają one równość sił i przemieszczeń węzłowych w miejscu połączenia.

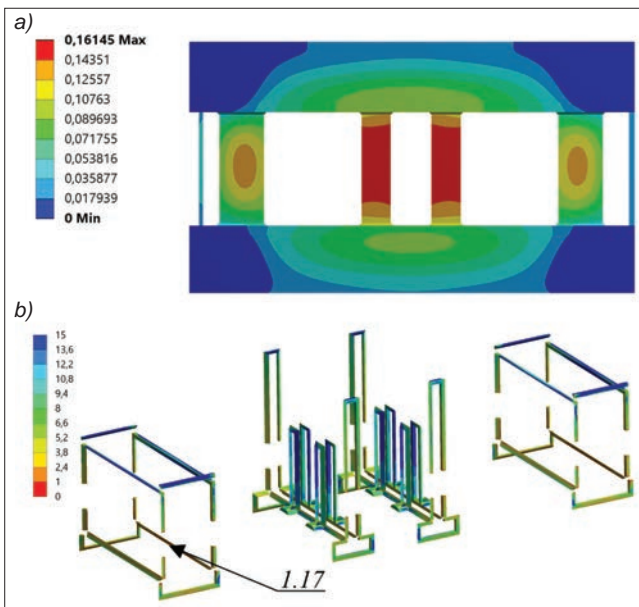
Do modelu wprowadzono krzywą Wöhlera (tzw. krzywą S-N) dla stali S235JR, z której wykonano koronę prasy. Obciążeniem rusztu korony prasy były reakcje w podporach łożysk wału mimośrodowego, pochodzące z procesu technologicznego, o wartościach: $P_x^w = 5,69$ kN i $P_y^w = 998$ kN, które rozłożono równomiernie na węzły modelu MES w miejscach mocowania podpór wału (por. rys. 2). Obciążenie miało charakter cyklu odzerowo tętniącego o amplitudach równych wartościom reakcji. Szczegółowy opis wyznaczenia reakcji w podporach wału mimośrodowego zamieszczono w artykule [1].

Symulacje numeryczne przeprowadzono dla dwóch przypadków: w jednym wszystkie spoiny rusztu korony prasy były nieuszkodzone, a w drugim część spoin rusztu korony prasy była uszkodzona.

Przypadek: wszystkie spoiny rusztu korony prasy są nieuszkodzone

Na rys. 6a przedstawiono przemieszczenia węzłowe, a na rys. 6b – rozkład wartości współczynnika bezpieczeństwa z uwagi na zmęczenie wysokocyklowe, obliczonego dla spoin względem granicznej wytrzymałości zmęczeniowej aproksymowanej równaniem Goodmana. Z rys. 6a widać, że składowe pionowe przemieszczeń nieznacznie przekraczały 0,16 mm. Ponieważ luz promieniowy w panewkach łożysk ślizgowych wału wynosił 0,2 mm, odkształcenia rusztu korony prasy nie wpływały istotnie na wytrzymałość zmęczeniową wału prasy.

Z rozkładu wartości współczynnika bezpieczeństwa z uwagi na zmęczenie, pokazanego na rys. 6b dla spoin w środkowej części rusztu korony prasy, wynika, że w kilku miejscach wartość współczynnika bezpieczeństwa była bliska jedności; np. w miejscu oznaczonym na rys. 6b współczynnik bezpieczeństwa był równy 1.17.



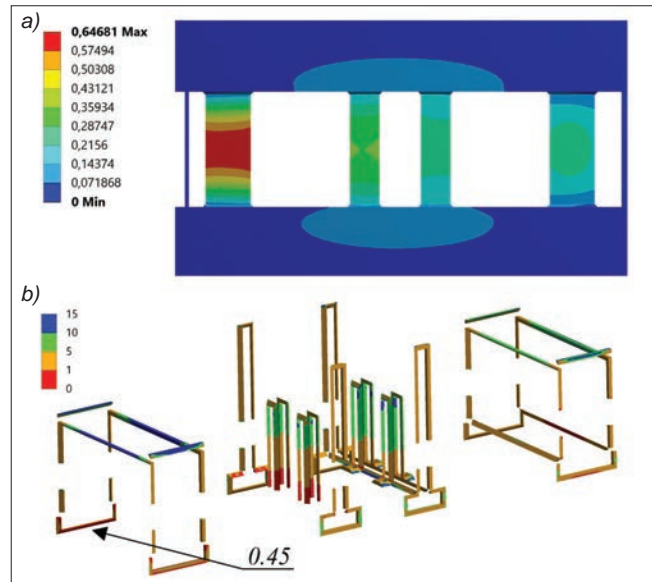
Rys. 6. Wyniki obliczeń dla modelu bez pęknięć w spoinach: a) przemieszczenia [mm], b) warstwy współczynnika bezpieczeństwa

Zważywszy na uproszczenia poczynione podczas modelowania, polegające na założeniu idealnego kształtu blach i spoin, oraz na margines błęd stałych modelu materiałowego, a przede wszystkim krzywej S-N, należy stwierdzić, że wystąpiło ryzyko przekroczenia granicznej wytrzymałości zmęczeniowej. Do takiej sytuacji doszło w rzeczywistości. Zatem przy ocenie bezpieczeństwa eksploatacji prasy można stwierdzić, że pierwotną przyczyną awarii maszyny było przekroczenie wytrzymałości zmęczeniowej połączeń spawanych rusztu korony prasy.

Przypadek: część spoin rusztu korony prasy jest uszkodzona

Z oględzin rusztu korony prasy po awarii wynikało, że niektóre spoiny były pęknięte (por. rys. 6b i 7b). W tym przypadku dokonano zmian w modelu MES rusztu polegających na usunięciu z modeli spoin elementów kontaktowych typu Bonded w miejscach pęknięć. Przeprowadzono ponowną symulację, której wyniki pokazano na rys. 7a i 7b.

Z porównania wyników symulacji pokazanych na rys. 6 i 7 widać, że wartości pionowych składowych przemieszczeń na podporach wzrastają czterokrotnie do ok. 0,64 mm,



Rys. 7. Wyniki obliczeń dla modelu z uwzględnieniem pęknięć w spoinach: a) przemieszczenia [mm], b) warstwy współczynnika bezpieczeństwa

a w znacznej części spoin wartości współczynnika bezpieczeństwa na zmęczenie są mniejsze od jedności.

Podsumowanie

Ocena bezpieczeństwa eksploatacji prasy mimośrodowej wykazała, że pierwotną przyczyną awarii maszyny było przekroczenie granicznej wytrzymałości zmęczeniowej w części połączeń spawanych rusztu korony prasy. Osłabiony pęknięciami ruszt na tyle istotnie zmniejszył swoją sztywność, że spowodował złamanie zmęczeniowe wału mimośrodowej prasy i awarię maszyny.

Na podstawie wyników przeprowadzonych symulacji wytrzymałości zmęczeniowej zaproponowano zmiany w konstrukcji tych połączeń spawanych, które uległy pęknięciom. Zmiany polegały na wstawieniu wzmocnień w postaci dodatkowego płaskownika o grubości 10 mm, równoległego do lica spoin pachwinowych.

Przeprowadzono analizę wytrzymałości zmęczeniowej rusztu korony prasy z dodatkowymi wzmocnieniami. Wynika z niej, że poprawiona konstrukcja spełnia wymagania bezpiecznej eksploatacji maszyny.

Opisany w artykule model MES wału mimośrodowej prasy pokazał, że przyczyną awarii spowodowanej złamaniem zmęczeniowym była za duża podatność rusztu korony prasy, do którego przymocowane są oprawy łożysk podpierających wał.

Poprawiony model MES, który uwzględniał podatność posadowienia opraw łożyskowych, dostarczył wyników zgodnych z rzeczywistością oraz umożliwił zdiagnozowanie pierwotnej przyczyny awarii wału, którą było pęknięcie części spoin rusztu korony prasy.

LITERATURA

- [1] Danielczyk P., Stadnicki J. „Analiza wytrzymałości zmęczeniowej wału mimośrodowej prasy”. *Mechanik*. 7 (2019): 471–473.
- [2] Niemi E., *Stress determination for Fatigue Analysis of Welded Components*, IIW doc. IIS/IIW-1221-93, The International Institute of Welding, 1995.
- [3] Fayard J., Bignonnet A., Dang Van K. “Fatigue design criterion for welded structures”. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*. 19 (1996): 723–729.
- [4] Eriksson Å., Lignell A.M., Olsson C., Spennare H., *Weld evaluation using FEM – A guide to fatigue-loaded structures*. Industrilitteratur AB, Gothenburg, Sweden, 2003.