

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Zdolność do obrotu śrubowych węzłów doczołowych konstrukcji stalowych

mgr inż. Krzysztof Ostrowski

Słowa kluczowe: zdolność do obrotu, plan eksperymentu numerycznego, analiza parametryczna, walidacja hierarchiczna modeli MES

Celem pracy było opracowanie metodologii wyznaczania zdolności do obrotu wybranych węzłów doczołowych konstrukcji stalowych przy zastosowaniu Metody Elementów Skończonych.

W pracy zastosowano wieloetapową walidację hierarchiczną modeli MES. Proces dostrajania przeprowadzono w zakresie charakterystyk materiałowych materiału oraz kalibracji modelu numerycznego. Walidację modeli MES użytych w analizie, dokonano w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych. Kalibrację charakterystyk materiałowych wykonano na bazie cech pomierzonych.

Walidację hierarchiczną modeli MES zdefiniowano w następujących 4 etapach:

I Etap – badanie materiału próbek stalowych oraz materiału śrub,

II Etap - rozciąganie śruby w układzie śruba – podkładka – nakrętka,

III Etap - rozciąganie króćców teowych,

IV Etap - model połączenia belki do słupa obciążonego momentem zginającym badany w układzie ramy portalowej.

W celu ilościowej oceny osiągalnej zdolności do obrotu zastosowano teorię planowania eksperymentów do symulacji komputerowej analizowanych węzłów. Wykonano plan eksperymentu numerycznego, oparty na 5-ciu czynnikach zmiennych, zbudowany na 27 punktach konstrukcyjnych. Zastosowano plan Hartleya PS/DS-P:Ha₅, o trójwartościowym podziale czynników zmiennych (-1, 0, 1). Dokonano analizy wpływu poszczególnych składników na zdolność do obrotu węzła. Model statystyczny osiągalnego kąta obrotu ϕ_u , oparto na funkcji wielomianu potęgowego.

Zaproponowano alternatywną formę oceny osiągalnej zdolności do obrotu w postaci reprezentacji graficznej powierzchni odpowiedzi kąta obrotu węzła, wyznaczonej na podstawie symulacji numerycznej.

Na podstawie analizy parametrycznej stwierdzono, że czynnikiem najbardziej wpływającym na osiągnięcie maksymalnej wartości momentu M_u jest wysokość przekroju belki h_b . Drugim czynnikiem odpowiedzialnym za wartość momentu zginającego jest grubość blachy czołowej t_p . W przypadkach, w których występuje 2 i 3 model zniszczenia, zwiększenie wartości parametru c_{g1} , może doprowadzić do kilkukrotnego zwiększenia osiągalnego kąta obrotu węzła ϕ_u , przy niewielkim, kilkunastoprocentowym spadku momentu M_u .

W pracy podano własną definicję zdolności do obrotu węzła. Zaproponowana w pracy definicja zdolności do obrotu węzła, zbudowana na kontrolowanym rozkładzie siły w śrubie górnego szeregu, pozwala na precyzyjne wyznaczenie bezpiecznych wartości kąta obrotu węzła oraz wnioski dotyczące kształtowania i obliczania węzłów skierowane do praktyki projektowej.

Dissertation Summary

Rotation capacity of beam-to-column end-plate bolted joints

MSc Krzysztof Ostrowski

Key words: rotation capacity, design of experiment, parametric analysis, hierarchical validation of FEM models

The aim of the study was to develop a methodology for determining the rotation capacity of selected end-plate joints of steel structures with the use of the Finite Element Method.

In this paper, multi-stage hierarchical validation of FEM models was used. The adjustment process was carried out in terms of material characteristics and calibration of the numerical model. The validation of FEM models used in the analysis was based on the results of laboratory tests. Calibration of material characteristics was performed on the basis of measured features.

The hierarchical validation of FEM models was defined in the following 4 stages:

Stage I - testing of steel specimen material and bolt material,

Stage II - tensioning of the bolt in the bolt-washer-nut configuration,

Stage III - T-stub tensioning,

Stage IV - beam to moment resisting column connection model tested in a portal frame arrangement.

In order to quantify the achievable rotation capacity, experiment planning theory for computer simulation of the analyzed joints was applied. The numerical experiment plan based on 5 variable factors, built on 27 structural points was carried out. The Hartley plan PS/DS-P:Ha₅ was used, with a trivalent division of the variable factors (-1, 0, 1). The analysis of the effect of the individual components on the rotation capacity of the joint was performed. A statistical model of the achievable rotation angle ϕ_u was based on a power polynomial function.

An alternative form of assessment of the achievable rotation capacity was proposed in the form of a graphical representation of the response surface of the rotation angle of the joint, determined on the basis of numerical simulation.

On the basis of the parametric analysis, it was found that the factor most influencing the achievement of the maximum value of the moment M_u is the height of the beam section h_b . The second factor responsible for the value of the bending moment is the thickness of the end plate t_p . In cases where failure models 2 and 3 occur, increasing the value of the parameter c_{g1} , can lead to a several times increase in the achievable rotation angle of the joint ϕ_u , with a small decrease in the moment M_u of several percent.

In the paper, the own definition of the joint rotation capacity is given. The definition of the rotation capacity of the joint proposed in the paper, built on the controlled force distribution in the bolt of the top row, allows for determination of the safe values of the joint rotation angle and conclusions on the formation and calculation of joints, directed to the design practice.