

mgr inż. Mateusz Parzonka*
dr hab. inż. Eugeniusz Hotała, prof. PWR*

Badania statycznej nośności ścinanych spoin pachwinowych w złączach widełkowych

Static tests of the shear of fillet welds in fork type joints

Streszczenie. Przedmiotem analizy jest nośność ścinanych spoin pachwinowych poddanych obciążeniom statycznym. Dyskutowane są zagadnienia, dotyczące realnej nośności ścinanych spoin pachwinowych w odniesieniu do warunków ich wykonania i technologii spawania. Zaprezentowano wybrane wyniki badań doświadczalnych spoin pachwinowych, występujących dość często w węzłach kratownic stalowych. Zwrócono uwagę na znaczne zapasy nośności realnych spoin pachwinowych w stosunku do nośności, wynikającej z przepisów normy [1].

Słowa kluczowe: połączenia spawane, nośność spoiny, badania doświadczalne.

Abstract. The resistance of fillet welds being under shear caused by static loads in analysed. The real resistance of fillet welds in discussed in association with their performance and welding technology. Few selected results of experimental investigations of fillet welds occurring usually in steel truss nodes were presented. The special attention was paid to the significant resistance reserves of the real filled welds in comparison with those obtained from standards [1].

Keywords: welded joints, resistance of welds, experimental investigations.

Spoiny pachwinowe stosowane są dość powszechnie w połączeniach stalowych elementów kratownic, w których pręty wykratowania obciążone są z reguły osiowo, a spoiny jedynie ścinane. Jeśli zastosowane są tzw. widełkowe połączenia prętów w węzłach, to unika się mimośrodków obciążenia tych połączeń, a wyznaczenie nośności spoin pachwinowych wg przepisów normowych [1] jest proste. Rzeczywista nośność takich spoin jest jednak często znacznie większa od normowej [1], gdyż na jej wartość wpływa m.in. wytrzymałość drutu spawalniczego i zastosowana technologia spawania [2, 3]. Wyniki własnych badań doświadczalnych nośności spoin pachwinowych w połączeniach widełkowych wskazują, że możliwa jest korekta przekształconego normowego wzoru (1), wykorzystywanego do oceny nośności spoin. Konieczne są jednak dalsze badania eksperymentalne, aby właściwie uwzględnić wpływ różnych parametrów na tę nośność.

Czynniki wpływające na nośność spoin pachwinowych

W projektowaniu wykorzystuje się na ogół proste algorytmy obliczeniowe i proste formuły normowe [1] do bezpiecznej oceny nośności połączeń spawanych. Rzeczywiste zachowanie się spoin podczas obciążania oraz forma zniszczenia [4] odbiega często

od założeń normowych. W fazie projektowania połączeń spawanych należałoby uwzględnić wiele czynników, w tym metody i technologię spawania [5, 6], gdyż mają one realny wpływ na nośność spoin. Tymczasem stosowane formuły normowe nie uwzględniają tych zagadnień.

W sprawdzaniu warunku nośności spoin pachwinowych wg [1] korzysta się z metody kierunkowej (wektorowej) bądź metody uproszczonej. W przypadku występowania wyłącznie obciążenia działającego równoległe do osi podłużnej układu spoin o jednakowej długości, sprawdzenie nośności wg metody kierunkowej sprowadza się do weryfikacji warunku, który po przekształceniach przyjmuje postać:

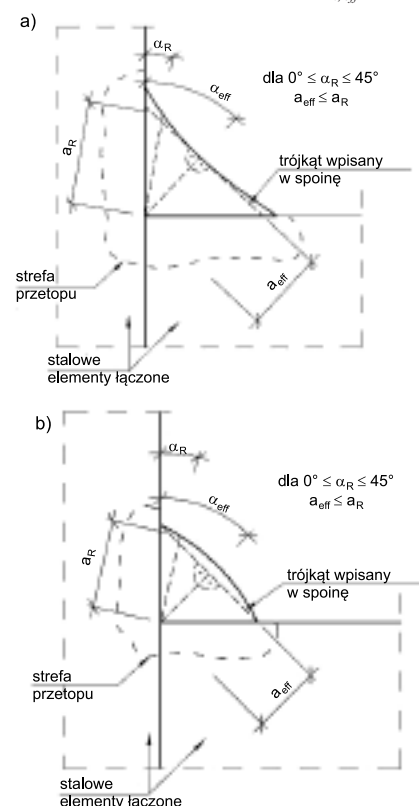
$$N_i \leq \frac{f_u \cdot \sum_{i=1,2,\dots,n} (l_{i,eff} \cdot f \cdot a_{i,eff})}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} \quad (1)$$

gdzie:

N_i – rozciągająca siła podłużna w spoinie;
 f_u – nominalna wytrzymałość na rozciąganie stali słabszej z łączonych części;
 β_w – odpowiedni współczynnik korelacji w zakresie 0,8 – 1,0;
 γ_{M2} – częściowy współczynnik bezpieczeństwa, którego zalecana wartość wynosi 1,25;
 $l_{i,eff}$ – efektywna długość i -tej spoiny;
 $a_{i,eff}$ – efektywna grubość i -tej spoiny.

Efektywna grubość spoiny $a_{i,eff}$ wyznaczana jest jako wysokość trójkąta wpisane go w przekrój poprzeczny spoiny (rysunek 1), a zatem płaszczyzna ścicia spoiny nachylona jest pod kątem α_{eff} do krawędzi jednego z łączonych elementów. Jak już zauważono w [4], formuła ta nie uwzględnia

realnie występujących przypadków, gdy płaszczyzna zniszczenia nachylona jest pod innym kątem α_R , a wynikająca z tego grubość zniszczonej spoiny $a_{i,R}$ nie pokrywa się z grubością efektywną spoiny $a_{i,eff}$ (rys-



Rys. 1. Przekrój poprzeczny spoiny pachwinowej: a) z licem wklęsłym; b) z licem wypukłym

* Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

dla $-5^{\circ}\text{C} \leq TW \leq 0^{\circ}\text{C}$, aż do 0,79 dla $TW \leq -5^{\circ}\text{C}$ i $0^{\circ}\text{C} \leq TW \leq 5^{\circ}\text{C}$. Jak już wspomniano, badano również analogiczne złącza ze stali S235JR ($f_u = 360$ MPa), wykonywane w temperaturze otoczenia $TW > 0^{\circ}\text{C}$. Uzyskana z badań eksperymentalnych średnia wartość współczynnika korelacji $\beta_{w,R}$ tych złączy wyniosła 0,47, podczas gdy w przypadku stali normowej $\beta_w = 0,8$.

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonej serii badań doświadczalnych nośności ścinanych złączy spawanych w połączeniach widełkowych wskazują na istotny wpływ wytrzymałości zastosowanego drutu spawalniczego na rzeczywistą nośność spoin pachwinowych. Badane złącza spawane elementów ze stali S355JR, z zastosowaniem drutu spawalniczego G4Si1, wykazały znacznie większą nośność rzeczywistą przy ich ścinaniu w stosunku do nośności, obliczonej na podstawie normy [1]. Uzyskany wzrost nośności wyniósł 14–22% dla stali S355J2, a dla stali S235JR był jeszcze większy. Wynikali

on z dużej wytrzymałości drutu spawalniczego na rozciąganie, znacznie większej niż podawana w specyfikacji dostawcy. Badania potwierdziły zjawisko wyraźnie większej nośności materiału spoiny w płaszczyźnie ścięcia w stosunku do wytrzymałości materiału łączonych elementów. Fakt ten jest częściowo uwzględniany w normowych zasadach [1] wyznaczania nośności spoin pachwinowych przez współczynnik korelacji β_w , którego wartość wynosi 0,8–1,0 w zależności od gatunku stali. Wyniki badań wskazują, że wartość tego współczynnika w przypadku stali S355 może być znacznie mniejsza niż normowa 0,9 (rysunek 4), co skutkuje znacznym zwiększeniem nośności ścinanej spoiny pachwinowej (rysunek 3). Celowe jest więc prowadzenie dalszych badań eksperymentalnych, których wyniki pozwoliłyby na urealnienie wartości współczynnika korelacji β_w i uzależnienie jej od wytrzymałości zastosowanego drutu spawalniczego oraz technologii i warunków spawania, które mają wpływ na strukturę materiału spoiny.

Literatura

- [1] PN-EN 1993-1-8: 2006. Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-8: Projektowanie węzłów.
- [2] Khurshid M., Barsoum Z. i Mumtaz N. A.: Ultimate strength and failure modes for fillet welds in high strength steels. *Materials and Design*, 40, 2012, 36–42.
- [3] Koshiishi F.: Welding materials: an overview. *Welding International*, 24 (9), 2010, 706–713.
- [4] Picón R., Canas J.: On strength criteria of fillet welds. *International Journal of Mechanical Sciences* (51), 2009, 609–618.
- [5] Hicks J.: *Welded design – theory and practice*. Cambridge: Abington Publishing, Cambridge, 2000.
- [6] Leitner M., Fössl T., Stoschka M. i Eichseder W.: Evaluation of fillet weld properties and fatigue behaviour in dependence of welding parameters. *Archives of Civil & Mechanical Engineering*, 11 (3), 2011, 651–660.
- [7] Bijlaard F.: Eurocode 3, a basis for further development in joint design. *Journal of Constructional Steel Research*, 62, 2006, 1060–1067.
- [8] Sedlacek G., Stangenberg H.: Design philosophy of Eurocodes – background information. *Journal of Constructional Steel Research* (54), 2000, 173–190.
- [9] PN-EN 10025-2: 2007. Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych – Część 2: Warunki techniczne dostawy stali konstrukcyjnych niestopowych.

prof. dr hab. inż. Kazimierz Rykaluk*
dr hab. inż. Eugeniusz Hotała, prof. PWR**

Inicjowanie pęknięć zmęczeniowych w blachownicowych belkach podsuwnicowych

Initiation of fatigue cracks in plated crane beams

Streszczenie. Cykliczne obciążenie użytkowe belek podsuwnicowych, w kierunku pionowym i poziomym, ma rolę dominującą w obciążeniu ogólnym. Przy nieuniknionym narażeniu górnej strefy przekroju belki na skręcanie już po kilku latach eksploatacji mogą pojawić się podłużne pęknięcia środnika pod pasem górnym. Taki typ karbu nie jest sklasyfikowany w normach europejskich. W artykule podano warunki wystarczającej wytrzymałości środnika na inicjowanie pęknięć zmęczeniowych niskocyklowych.

Słowa kluczowe: belka podsuwnicowa, obciążenie cykliczne, pęknięcie zmęczeniowe.

Abstract. The cyclic working load of crane beams in vertical and horizontal direction constitutes a dominant role in the total load. For an inevitable exposure to torsion of the upper portion of the cross-section, after few years of operation, the longitudinal cracks of the web adjacent to the upper flange might appear. This type of notch is not classified in the European standards. The conditions of required strength of the web due to low-cycle fatigue crack initiations are given herein.

Keywords: runway beam, cyclic load, fatigue cracking.

Z obserwacji eksploatowanych torów podsuwnicowych wynika, że już po 6 ÷ 10 latach pojawiają się uszkodzenia stalowych belek podsuwnicowych oraz belek jezdnych przonośników rewersyjnych węgla [1]. Najliczniejsze

uszkodzenia (ok. 80%) występują w zamocowaniu szyn do belek. Następne miejsca zajmują takie uszkodzenia, jak: przesunięcia osi belki od stanu początkowego (ok. 70%); mocowania belek głównych i belek hamownych do słupów (ok. 50%); pęknięcia zmęczeniowe belek w górnej (ściskanej) strefie środnika i w spoinach pasowych (ok. 30%); pęknięcia w tężnikach hamownych (ok. 25%);

nadmierne przesunięcia szyn względem środnika (ok. 20%).

W świetle normowej klasyfikacji oddziaływań zmęczeniowych dźwignic [2, 3], największemu uszkodzeniu ulegają belki pod suwnice odlewnicze, kleszczowe i wsadowe, a więc belki klasy $S_6 + S_9$. Główne czynniki wywołujące uszkodzenia to: dynamiczne oddziaływania ruchomych nacisków kół suwnic o dużej wartości; cykliczność oddziały-

* Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji

** Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego