

Nośność połączeń spawanych ram, wykonanych z rur i dwuteowników

1. Wiadomości ogólne

W obecnym artykule omówiono zagadnienia oceny nośności węzłów i połączeń spawanych w zakresie podobnym do przedstawienia dokonanego w [2]. W związku z tym nie powtórzono kwestii ogólnych, jak też informacji o wyrobach i gatunkach stali, odsyłając Czytelnika do tej publikacji.

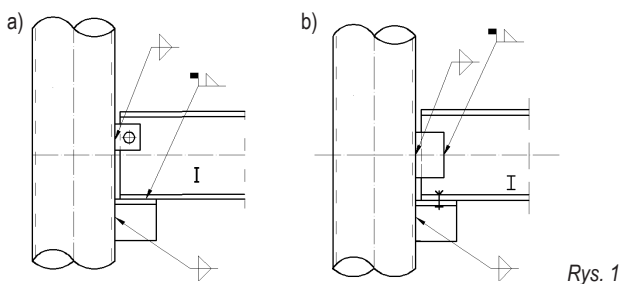
Zastosowanie rur okrągłych na słupy ram powoduje znaczne zmniejszenie liczby konstrukcyjnych rozwiązań węzłów w stosunku do liczby wariantów wtedy, kiedy projektuje się słupy z zamkniętych kształtowników kwadratowych lub prostokątnych. Jednak mimo takiego ograniczenia, są zalecane rozwiązania o kształtach, których nie wskazano w [2]. Reguły projektowania i obliczania z uwzględnieniem PN-EN 1993-1-1 oraz PN-EN 1993-1-8 szczegółowo omówiono w [1] do [9].

2. Kształty konstrukcyjne węzłów

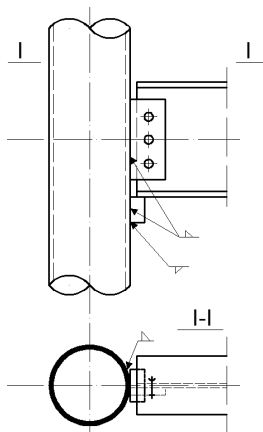
Węzły, obciążone głównie reakcją rygla przy występowaniu małego momentu zginającego, można uznawać za technicznie przegubowe.

Ze względu na prostotę spawania podczas montażu kształtuje się je przy zastosowaniu stolików (rys. 1). Jednak kiedy unika się na budowie spawania, wtedy projektuje się połączenia śrubowe na przykładki zazwyczaj jednostronne (rys. 2). Pewnym niedostatkim takich przykładek jest ich odginanie się podczas niezbyt starannego przewozu z wytwórni na plac budowy.

Aby nie wyokrąglać stolików w stykach z walcową powierzchnią słupów, ich szerokości powinny być nieduże. Jednak mimo tego spoiny do ich mocowania trzeba układać o kształcie rozlanym.

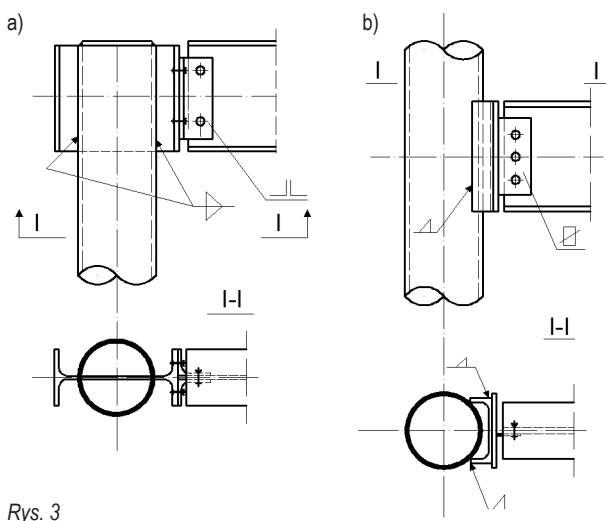


Rys. 1

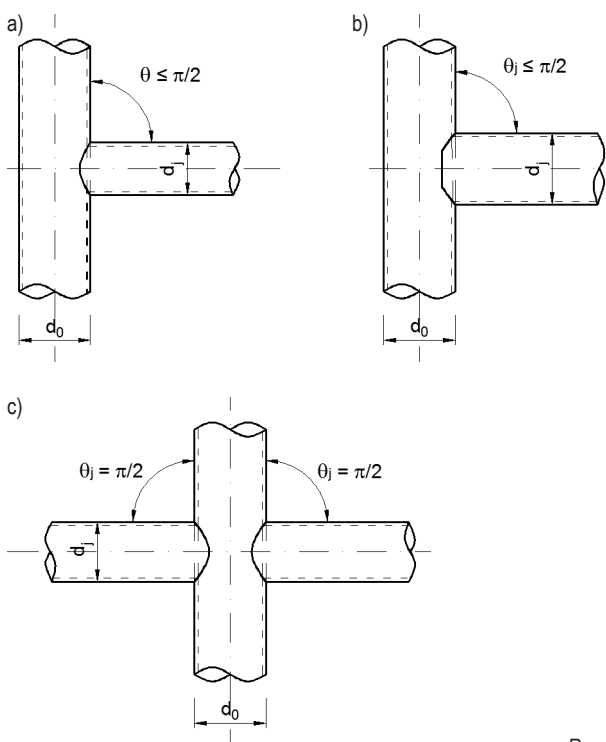


Rys. 2

Zwiększoną sztywność (nieco mniejszą podatność) wykazują technicznie przegubowe połączenia węzłów, pokazanych na rys. 3. Jako elementy łącznikowe stosuje się dwuteowniki (rys. 3a), umieszczone w szczelinach rur lub ceowniki (rys. 3b). Zwykle śruby są w nich mocowane za pośrednictwem zdwojonych kątowników nierównoramiennych. Jest pożądanym stosowanie ceowników o szerokich stopkach, aby łatwo umieszczać śruby zakładane z obu stron. Jednak asortyment takich wyrobów jest



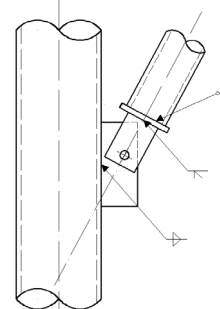
Rys. 3



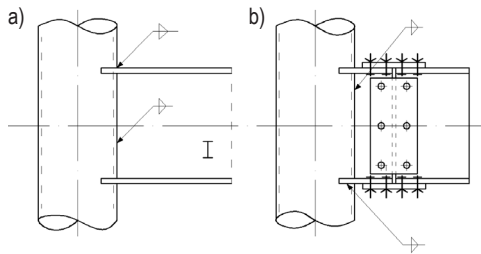
Rys. 4

nieduży. Przy ich braku stosuje się zwykłe ceowniki i wtedy śruby są zakładane jednostronnie. Jeżeli średnica jest zbyt cienka, to należy go wzmocnić grubą blachą spawaną na całym obwodzie do tego kształtownika.

Na rys. 4 pokazano węzły z rur okrągłych, z których wykonuje się słupy, jak też rygle. Podatność takich połączeń jest mniejsza niż w wypadku ich projektowania z zamkniętych kształtowników o przekrojach kwadratowych lub prostokątnych. Ramy z rur są stosowane stosunkowo rzadko ze względu na cylindryczny



Rys. 5



Rys. 6

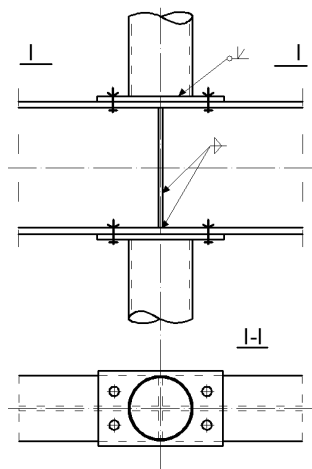
kształt rygli i konieczność projektowania montażowych styków w przęsłach, które są łączone śrubami na blachy czołowe.

Natomiast na rys. 5 przedstawiono węzeł, w którym słup i zastrzał są projektowane z rur okrągłych. Zastrzał jest zakończony blachą czołową i zdwojonymi przykładkami, nachodzącymi na grubą blachę przyspawaną do słupa.

Węzły o zmniejszonej podatności są stosowane również raczej rzadko. Przykłady pokazano na rys. 6. Węzeł całkowicie spawany (rys. 6a) ma styki śrubowe wykonane w przęsłach rygli w miejscach o niewielkich momentach zginających. Jeżeli momenty przywęzłowe nie osiągają dużych wartości, to styki śrubowe można projektować w pobliżu słupów (rys. 6b). Mankamentem takiego kształtowania jest konieczność wyokrąglenia blach węzła, aby dostosować je do średnicy rury słupa, boczne nasuwanie rygla między blachy węzłowe podczas montażu i stosowanie przekładek, aby likwidować odchyłki wykonawcze i ułatwiać montaż.

Węzły ram przestrzennych, powszechnie stosowane w Japonii, opisano w [1] (patrz rys. 4-55).

Gdy dwuteowy rygiel jest ciągły w styku ze słupem rurowym, a siła podłużna w nim ma wartość umiarkowaną, wówczas



Rys. 7

jest on dzielony na elementy wysyłkowe o długościach pomniejszonych o wysokość rygla. W takiej sytuacji projektowej, aby przenieść docisk słupa wystarczy średnik rygla usztywnić żebrem z płaskowników (rys. 7).

Jeżeli siły podłużne w słupach są większych wartości, to węzły projektuje się według rozwiązań podobnych do przedstawionych w [2] na rysunkach 13 i 14, zastępując rurą kształtownik zamknięty.

3. Styki słupów

Spawane styki słupów kształtuje się w sposób przedstawiony w [2] (patrz rysunki 16, 17, 11, 12). Wprawdzie w Japońskich Wytocznych [7] nie podano wskazań w wypadku stosowania niepełnych spoin czołowych styku, rozmieszczonego na wysokości kondygnacji, ze względu na to, że w wypadku kołowych przekrojów, przeznaczonych do ich ukosowania i spawania jest trudno oczekiwać uzyskania wysokiej dokładności ich przygotowania. Wskutek tego wyniki doświadczalne takich styków różniły się w dość dużych granicach [6]. Jednak późniejsze badania pozwoliły adoptować wyniki powtórzone w [2] także do stosowania słupów z rur okrągłych, gdy elementy były przygotowane do spawania za pomocą cięcia i ukosowania brzegów na urządzeniach sterowanych programem komputerowym. Jednak warto przyjmować grubość czołowej spoiny niepełnej z pewnym nadmiarem.

4. Ocena nośności węzłów i połączeń

Ocenę nośności węzłów, pokazanych na rys. 1, można w wypadku ich stolików przeprowadzać według wskazań podanych w [2] w odniesieniu do rys. 1. Przykładki z blach i ich połączenia mają charakter konstrukcyjny, gdyż siły podłużne w ryglach są na ogół niewielkich wartości. Ich projektowanie wynika z ułatwienia robót montażowych.

Natomiast w wypadku połączenia węzła, pokazanego na rys. 2, należy oceny połączenia dokonać zgodnie z regułami, podanymi w Tabelcy 7.3 PN-EN 1993-1-8, posługując się danymi w odniesieniu do $N_{1,Rd}$ oraz $M_{ip,1,Rd}$. Ten węzeł jest sztywniejszy niż przy zastosowaniu na słup zamkniętego kształtownika o przekroju kwadratowym. Wartości naprężeń składowych ustala się:

$$\tau_v = 0,5V_{Ed}/(h_1 a_w) \quad \text{oraz} \quad \tau_M = 0,5V_{Ed} e_2 / W_{w,1} \leq M_{ip,1,Rd} / W_{w,1},$$

przy czym:

h_1 – wysokość przykładki,

$W_{w,1}$ – wskaźnik wytrzymałości jednej spoiny pachwinowej, łączącej przykładkę ze słupem,

e_2 – odstęp osi śrub od brzegu słupa.

Nośność połączenia spawanego sprawdza się, jak następuje:

$$\tau_{max} = (\tau_v^2 + \tau_M^2)^{0,5} \leq f_{vwd}.$$

Przebiecie ścianki słupa sprawdza się zgodnie z regułami PN-EN 1993-1-8 (Tabelca 7.3), uwzględniając dodatkowo $\Delta M_{Ed} = 0,5V_{Ed} e_2$.

W wypadku węzłów, pokazanych na rys. 3, w PN-EN 1993-1-8 podano wystarczające reguły do oceny ich nośności, a także części składowych oraz połączeń spawanych i śrubowych. Poszczególne sprawdzenia przeprowadza się, korzystając z omówienia węzłów, przedstawionych w [2].

Gdy rozpatruje się węzły, pokazane na rys. 4, wówczas ich nośność ustala się, przyjmując reguły, podane w Tabelcy 7.5 PN-EN 1993-1-8, przy czym należy spełnić zależność:

$$M_{Ed} \leq M_{ip,1,Rd}.$$

Ponadto w wypadku, w którym może wystąpić przebiecie słupa sprawdza się dodatkowo regułami Tabelcy 7.3 te same normy w sposób następujący:

$$\sigma_{max} \leq 2f_y / (\sqrt{3} \gamma_{Ms}).$$

Naprężenie σ_{max} oblicza się w skrajny włóknie przekroju słupa, obciążonego siłą N_{Ed} i jego momentem zginającym M_{Ed} .

Natomiast w odniesieniu do połączeń spawanych w PN-EN 1993-1-8 nie podano reguł oceny ich nośności. Zwykle badania eksperymentalne dotyczyły elementów wykonanych na pełne spoiny czołowe. Jeżeli stosuje się spoiny pachwinowe o grubościach, których nośność odpowiada pełnym spoinom czołowym, to w takiej sytuacji projektowej również nie ma potrzeby oceny ich naprężeń. W wypadku stosowania grubości mniejszych niż maksymalne, można przybliżonej oceny nośności dokonać, posługując się wymiarami kształtownika zamkniętego o przekroju kwadratowym po dokonaniu linearyzacji rury okrągłej. Biorąc pod uwagę wskazania PN-EN 1993-1-8, ustala się:

$$h_j = 0,25\pi d_j,$$

gdzie d_j jest zewnętrzną średnicą rury rygla.

Sprawdzenie nośności połączenia przeprowadza się, biorąc pod uwagę siłę poprzecznie przyłożoną, ustaloną przez zastąpienie momentu przywęzłowego M_{Ed} parą sił. Uzyskuje się:

$$F_{Ed} = M_{Ed} / (h_j - t_j) \leq N_{1,Rd},$$

przy czym $N_{1,Rd}$ przyjmuje się w odniesieniu do węzłów wykonanych o ryglach z zamkniętymi kształtownikami kwadratowymi.

wych i słupach z rur okrągłych, podanych w Tablicy 7.4 PN-EN 1993-1-8.

Takie sprawdzenie odbywa się przy odstępnie pary sił mniejszym o około 20% od wymiaru d_j rygla, co powoduje wzrost siły, działającej poprzecznie na cylindryczną ściankę słupa. Można spodziewać się, że nie prowadzi to do przedwczesnego zniszczenia połączenia spawanego, jeżeli obliczy się:

$$\tau_M = F_{Ed}/(b_{eff}a_w) \leq f_{vwd},$$

przy czym:

$$b_{eff} = 12t_0(d_j/d_0)[f_{y0}t_0/(f_{yj}t_j)] \leq d_j,$$

a_w – grubość spoiny pachwinowej,

d_0 – średnica ścianki słupa,

t_0 – grubość ścianki słupa,

f_{y0}, f_{yj} – granica plastyczności stali, zastosowanej na słup lub rygiel.

Siła poprzeczna jest przenoszona przez spoiny, ułożone na pozostałych dwóch bokach umownego kształtownika zamkniętego. Przy takim podejściu uzyskuje się długość obliczeniową złącza mniejszą o około 20% od tejże długości, ustalonej w wypadku rozpatrywanej rury okrągłej.

Oblicza się:

$$\tau_v = 0,5V_{Ed}/(h_j - 2t_j)a_w \leq f_{vwd}.$$

Jeżeli projektuje się węzeł według rys. 4b), w którym średnice rygla i słupa są jednakowe lub prawie jednakowe, to w części połączenia spawanego powstają w pobliżu osi rygla szpice. Należy je odciąć. W takiej sytuacji projektowej w tej części układa się spoiny pachwinowe o grubości $a_w \approx 0,7t_b$ (t_b – grubość ścianki rygla). Oceny naprężeń w złączu, obciążonym siłą poprzeczną, dokonuje się przyjmując tę grubość na całej długości zlinearyzowanego wymiaru h . Ustala się:

$$\tau_v = 0,5V_{Ed}/(0,7t_b h) \leq f_{vwd}.$$

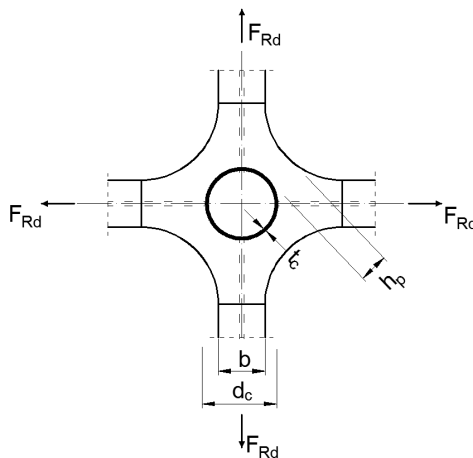
Połączenia węzła, pokazanego na rys. 5, ocenia się według procedury obliczeniowej, omówionej w [2] w odniesieniu do węzła z rys. 2a) również projektowanego z zastrzałem, uwzględniając okoliczności wynikające z kształtowania blach węzłowych rozpatrywanego obecnie rozwiązania.

W wypadku węzłów z rys. 6 w PN-EN 1993-1-8 nie podano reguł oceny połączenia spawanego w styku blachy obciążającej poprzecznie walcową powierzchnię rury. Jako bezpieczne uproszczenie oceny nośności spoin pachwinowych, łączących stopki dwuteownika ze słupem (rys. 6a) lub blachy węzłowe, umieszczone w styku śrubowym na przedłużeniu stopek rygla, można przyjąć następujące postępowanie:

- a) Przyjmuje się, że stopka rygla lub blacha węzłowa na jej przedłużeniu obciąża walcową ściankę słupa siłą, wynikającą z zastąpienia przywęzłowego momentu zginającego rygiel parą sił (por. wskazania w [2]).
- b) Siła jest przekazywana za pośrednictwem dwóch spoin pachwinowych, ułożonych w poprzek powierzchni walcowej rury.
- c) Ta siła powinna spełniać zależność, podaną w Tablicy 7.3 PN-EN 1993-1-8 w odniesieniu do blachy rozmieszczonej poprzecznie.
- d) Grubości spoin pachwinowych ustala się w sposób przedstawiony w wypadku węzła z rys. 5, opisanego w [2], lecz wówczas $N_{1,Rd}$ ustala się według Tablicy 7.3 PN-EN 1993-1-8.

Sprawdzenia innych części składowych węzła i ich połączeń śrubowych i spawanych dokonuje się, biorąc pod uwagę reguły PN-EN 1993-1-8.

Nośność węzła, pokazanego na rys. 7, jego części składowych oraz połączeń śrubowych i spawanych oblicza się zgodnie z regułami PN-EN 1993-1-1 i PN-EN 1993-1-8.



Rys. 8

Nośność wspomnianych węzłów japońskich, jak też ich części oraz połączeń śrubowych i spawanych sprawdza się zgodnie z regułami PN-EN 1993-1-8, lecz dodatkowo należy obliczać nośność przepony, ustalając zależność [6]:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} = 19,6(d_c/t_c) - 1,54(h_d/d_c)^{0,14}(t_p/t_c)^{0,34}(0,5d_c)^2 f_{cy},$$

w której

t_p – grubość blachy przepony,

f_{cy} – granica plastyczności stali zastosowanej na przeponę.

Znaczenie pozostałych symboli należy przyjmować według rys. 8.

Wymiary przepony przyjmuje się, spełniając warunki, odnoszące się do przywęzłowego momentu zginającego wskazane w wypadku węzła z rys. 18 (patrz [2]).

Wymiary przepony ustala się, spełniając warunki:

$$14 \leq d_c/t_c \leq 36, \quad 0,05 \leq h_d/t_c \leq 0,14, \quad 0,75 \leq t_p/t_c \leq 2,0 \quad \text{oraz}$$

$\alpha \leq 30^\circ$ wtedy, kiedy wyokrąglenie przepony między ryglami stosuje się w sposób przedstawiony na rys. 18 w [2].

Piśmiennictwo

- [1] Bródka J.: Konstrukcje stalowe z kształtowników zamkniętych. Tom 1. PWT. Rzeszów 2016.
- [2] Bródka J., Broniewicz M., Broniewicz F.: Nośność połączeń spawanych ram, wykonanych z kształtowników zamkniętych o przekrojach kwadratowych lub prostokątnych i dwuteowników. Konstrukcje Stalowe. Nr 2(145)2017.
- [3] Bródka J., Kozłowski A., Ligocki I., Łaguna J., Ślęczka L.: Projektowanie i obliczanie połączeń i węzłów konstrukcji stalowych. Tom 1. PWT. Rzeszów 2013.
- [4] Dutta D., Wardenier J., Yeomans N., Sakae. K., Bucak Ö., Packer J.A.: Design Guide for Fabrication, Assambly and Erection of Hollow Section Structures. TÜV-Verlag. GmbH. Köln 1998.
- [5] Joints in steel constructions: Simple joints to Eurocode 3. The Steel Construction Institute and British Constructional Steelwork Association. Publication P358. Ascot 2011.
- [6] Kurobane Y., Packer J.A., Wardenier J., Yeomans N.: Design Guide for Strucral Hollow Section Column Connections. TÜV-Verlag Rheinland GmbH. Köln 2004.
- [7] Recommendations for the Design and Fabrication of Tubular Structures in Steel. Architectural Institute of Japan. Tokyo 1990.
- [8] Static desgn procedure for welded hollow section joints. Recommendations. 3rd Edition. Internatonal Institute of Welding. Commission XV IIW. Doc. XV-1129-09.
- [9] Wardenier J., Packer J.A., Zhao X.-L., van der Vegte G.J.: Structural Design – Hollow Sections in Structural Applications. John Wiley and Sons Ltd. New York 2001.