

Prof. zw. dr inż. Jan Bródka, dr hab. inż. Mirosław Broniewicz, inż. Filip Broniewicz

Nośność połączeń spawanych węzłów ram, wykonanych z kształtowników zamkniętych o przekrojach kwadratowych lub prostokątnych i dwuteowników. Część 2

3. Węzły o dużej nośności przy zginaniu

3.1. Kształty węzłów

Węzły o dużej nośności przy zginaniu są stosowane w kilkukondygnacyjnych ramach przechyłowych (niestężonych). Zwykle są to węzły sztywne lub stosunkowo niedużej podatności. Gdy ich podatność wzrasta, wówczas wykazują niepełną nośność i są także stosowane w ramach nieprzechyłowych (stężonych).

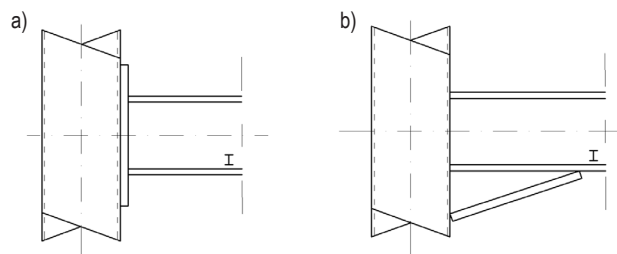
Ich kształtowanie polega na stosowaniu:

1. Połączeń spawanych w wytwórni konstrukcji stalowych i styków śrubowych, rozmieszczonych w przęsłach rygli.
2. Przepon spawanych w wytwórni i styków śrubowych lub spawanych podczas montażu.
3. Blach doczołowych, spawanych do części składowych i połączeń śrubowych.
4. Połączeń spawanych na przykładki podczas montażu.

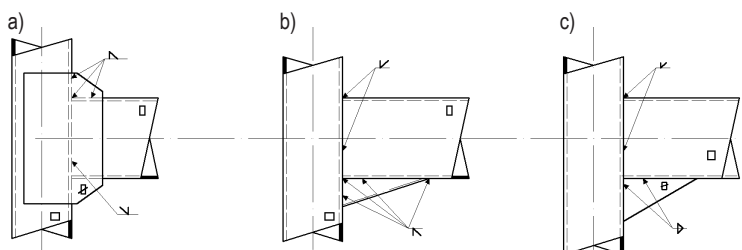
Najprostsze rozwiązanie pierwszego sposobu kształtowania pokazano na rys. 8. Aby obniżyć podatność węzłów i zwiększyć ich nośność, projektuje się blachy doczołowe, spawane zarówno do rygla, jak też do stupa (rys. 8a) lub wzmacnia rygiel za pomocą skosu z odcinka dwuteownika spawając tę końcówkę do stupa (rys. 8b).

Jeżeli kształtowniki zamknięte stosuje się zarówno na słup, jak też na rygle, to w węzłach projektuje się przykładki boczne z blach (rys. 9a) lub skosy z odcinków tychże kształtowników (rys. 9b). Projektowanie w węzle pojedynczej blachy powoduje bardzo dużą jego podatność, co uniemożliwia przeniesienie nawet niedużego momentu zginającego (rys. 9c). Powinno być zabronione.

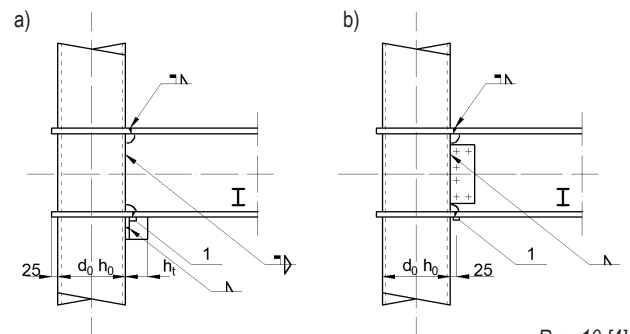
Zastosowanie przepon słupa z kształtownika zamkniętego w węzle z dwuteowym rygłem pokazano na rys. 10. Słup



Rys. 8



Rys. 9

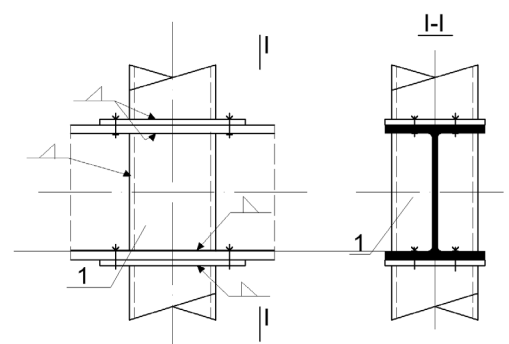


Rys. 10 [4]

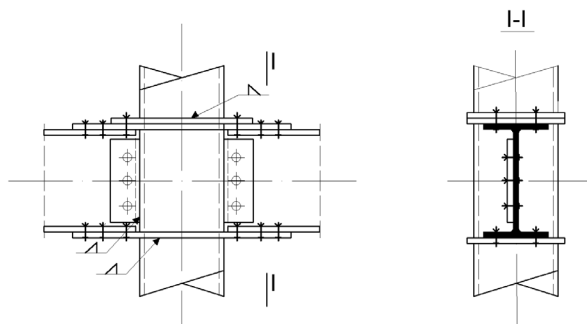
w wytwórni jest wykonywany o przewidywanej długości (zwykle dwóch kondygnacji) z odcinków kształtowników zamkniętych, łączone poprzecznymi przeponami z blach na spoiny czołowe o pełnym przetopie lub pachwinowe. Podczas montażu styki rygli są łączone z przeponą spoinami czołowymi na 1/2 V na podkładkach. Siła poprzeczna jest przekazywana ze środka rygla na ściankę stupa za pomocą stolika (rys. 10a) lub przykładki (rys. 10b). Zwykle przepona jest projektowana o przekroju dostosowanym do rodzaju przekroju słupa, zwiększonym o wymiar 2×25 mm.

Natomiast na rys. 11 pokazano węzeł [5], w którym dwuteowy rygiel jest ciągły, a słup projektowany w sposób podobny, jak przedstawiono na rys. 10. Jednak w rozpatrywanej sytuacji wkładka słupa między przeponami jest wykonana z dwóch połówek dostosowanych kształtem tak, aby przenieść docisk z dołączanych części słupa, gdyż średnik ciągłego rygla zwykle nie ma wymaganej nośności. Podczas montażu przepony są łączone śrubami ze stopkami rygla.

Z kolei na rys. 12 pokazano węzeł [5], w którym ciągłość rygla, niezbędna do przeniesienia przywęzłowych momentów zginających, jest uzyskiwana za pomocą nakładek, łączonych śrubami podczas montażu. Słup w części górnej, projektowanej o długości równej wysokości kondygnacji jest pomniejszony o wysokość rygla. Natomiast słup w części dolnej jest powiększony o wkładkę o długości równej także wysokości rygla. Przepona górna słupa dolnego jest projektowana tak, aby połączyć ją śrubami ze stopką dolną rygla. W części górnej styku projektuje się dodatkową blachę w celu uzyska-



Rys. 11 [5]



Rys. 12 [5]

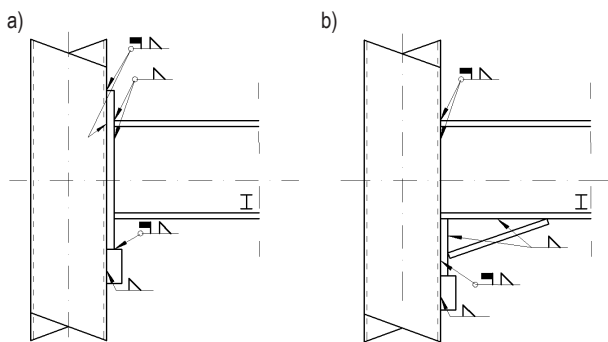
nia ciągłości w poziomie stopki górnej rygla. Siły poprzeczne są przenoszone przez przykładki z blach przyspawanych do słupa i łączone ze środnikami rygli za pomocą śrub.

Węzły ram przestrzennych, powszechnie stosowane w Japonii, opisano w [1] (patrz rys. 4.54).

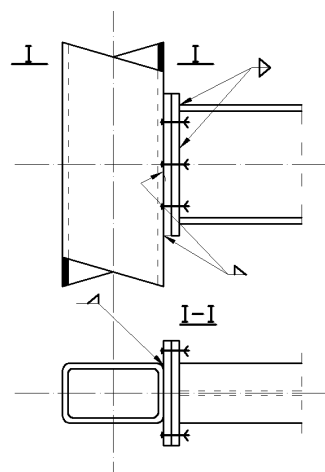
Najprostsze rozwiązanie węzła spawanego na blachę doczołową pokazano na rys. 13. Aby skrócić czas zawieszenia rygla na urządzeniu dźwigowym podczas robót spawalniczych rygiel opiera się na stoliku z grubej blachy przyspawanej do ścianki słupa w wytwórni. Ta blacha powinna mieć szerokość na tyle dużą, aby spoiny montażowe były wykonane w pobliżu zaokrąglonych naroży kształtownika słupa (rys. 13a). W takiej sytuacji projektowej podatność węzła wynika głównie z powodu zachowania się blachy doczołowej rygla. Rozwiązanie z rys. 13b) wykazuje podatność większą, gdyż siła ze stopki górnej jest przekazywana jako obciążenie poprzeczne na ściankę słupa.

Zastosowanie śrub do łączenia blach doczołowych skraca roboty montażowe (rys. 14). Pewnym niedostatkiem tego rozwiązania jest konieczność powiększenia szerokości blach doczołowych ponad wymiar słupa. Podobnie kształtuje się węzeł na blachę czołową wystającą.

Na rys. 13 pokazano węzeł na blachę czołową przyspawaną tylko do rygla, połączoną bezpośrednio ze słupem śru-



Rys. 13



Rys. 14

bami zakładanymi jednostronnie. Wtedy są stosowane śruby zwykłe w otworach przygotowanych metodą Flow-drill, śruby specjalne typu Hollo-Bolt lub Huck (te ostatnie dwóch rodzajów). Węzeł wykazuje dużą podatność, powodowaną przede wszystkim przez umieszczenie śrub w ścianie zamkniętego kształtownika.

Węzły o dużej sztywności, chronione patentami, przenoszące, plastyczne momenty przywęzłowe, łączone spoinami układanymi podczas montażu na kątownikach lub elementach o przekroju teowym, umieszczonych w poziomach stopiek dwuteowników, omówiono w [1] (patrz tam rysunki 4.52 i 4.53).

Również dużą sztywność wykazują węzły japońskie, projektowane o kształtach, omówionych w [2] (patrz tam rys. 6.14). Aby uzyskać proste połączenie spoinami pachwinowymi, blachy przepon mają końcowe odcinki dostosowane do szerokości dwuteowych rygli.

W wypadku projektowania węzłów, których przywęzłowe części rygli są spawane do słupów w wytwórniach konstrukcji stalowych, mają styki tych elementów rozmieszczone w przęstach traktów budynków halowych lub wielokondygnacyjnych.

W węzłach łączonych śrubami w trakcie montażu podczas stosowania ich w blachach doczołowych należy przewidzieć przekładki dystansowe, aby umożliwić likwidację odchyłek wykonawczych.

3.2. Ocena nośności węzłów i połączeń

W PN-EN 1993-1-8 w odniesieniu do oceny bezpieczeństwa połączeń spawanych podano następujące reguły (punkt 6.2.3 tej normy):

„W wypadku węzła belki ze słupem lub styku belki w miejscach potencjalnych przegubów plastycznych i obrotów przy dowolnym obciążeniu, spoiny powinny być zdolne do przeniesienia momentu zginającego równego co najmniej mniejszej z poniższych wartości:

- obliczeniowej nośności plastycznej przy zginaniu dołączanego elementu $M_{pl,Rcb}$
- pomnożonej przez współczynnik obliczeniowej nośności przy zginaniu węzła $M_{j,Rcb}$

gdzie:

$\alpha = 1,4$ w wypadku ram, których układ stężeń spełnia kryterium (5.1) z PN-EN 1993-1-1/5.2.1(3) w odniesieniu do przechyłu,

$\alpha = 1,7$ we wszystkich innych przypadkach.”

W wypadku połączeń węzła, pokazanego na rys. 8a), gdy szerokość blachy doczołowej nieznacznie różni się od szerokości kształtownika zamkniętego słupa, można przyjąć podczas oceny części składowych i połączeń spawanych reguły, podane w PN-EN 1993-1-8. Długość blachy czołowej należy przyjmować tak, aby w niej rozwijały się przeguby plastyczne. Ogólniejszy sposób oceny nośności węzła został ustalony badaniami Ligockiego (patrz rozdz. 4 w [1]). Pachwinowe spoiny podłużne są obciążone siłą poprzeczną V_{Ed} i momentem zginającym M_{Ed} , a występujące w nich naprężenia oblicza się według punktu 4.5.3 w [9]. Spoiny poprzeczne pomijają się podczas tych obliczeń.

Natomiast oceny nośności węzła i jego połączeń spawanych według rys. 8b) w przybliżeniu można dokonać, biorąc pod uwagę obciążenie poprzeczne, ustalone w sposób następujący:

$$F_{Ed} = M_{Ed} / (h_b + \Delta h_b - 2t_b),$$

przy czym Δh_b jest wysokością skosu w jego styku ze słupem.

Mając te wartości, inne czynności sprawdzania poszczególnych części składowych węzła i połączeń przeprowadza się w sposób, przedstawiony w pierwszej części artykułu.

Dokładniejszej oceny wpływu skosu na nośność można dokonać, uwzględniając punkty 6.2.6.3 i 6.3.2 normy [9].

W wypadku węzła z rys. 11 oceny nośności części składowych i połączeń dokonuje się, uwzględniając reguły, podane w PN-EN 1993-1-1 i PN-EN 1993-1-8, w sposób analogiczny do wskazań wcześniej przedstawionych.

Również wskazania, podane w pierwszej części artykułu, służą do obliczeń nośności węzłów, ich części składowych, połączeń śrubowych i spawanych w wypadku węzłów przedstawionych na rysunkach 10, 11 i 12.

W wypadku węzłów pokazanych na rys. 13 obliczeń ich nośności, części składowych połączeń spawanych można dokonać w sposób przedstawiony w odniesieniu do węzła z rys. 8, pomijając istnienie stolików.

Oceny nośności węzła z rys. 14, jego części składowych oraz połączeń śrubowych i spawanych przeprowadza się według reguł, podanych w PN-EN 1993-1-8. Sprawdzając naprężenia w połączeniu spawanym między blachą czołową i kształtownikiem, uwzględnia się tylko spoiny pachwinowe, ułożone wzdłuż słupa, pomijając je w złączu poprzecznym. Tę część spoin można wykonać o małej grubości tylko po to, aby styk przyłgowy chronić przed pojawieniem się korozji.

W wypadku stosowania śrub zakładanych jednostronnie (rys. 15) reguły [9] służą do oceny nośności węzła, jego części składowych i połączeń spawanych. Siły w śrubach, przenoszących siłę F_{Ed} , ustalaną przez zastąpienie momentu zginającego parą sił, sprawdza się, biorąc pod uwagę zależność $N_{1,Rd}$, podaną w odniesieniu do węzła typu T w Tabelicy 7.12 normy [9]. Uzyskuje się przy czterech śrubach:

$$F_{Ed} \leq 0,25N_{1,Rd}$$

przy czym podczas ustalania wartości $N_{1,Rd}$ należy przyjmować:

- b_1 – rozstaw śrub w kierunku poprzecznym do słupa,
- b_2 – rozstaw śrub w kierunku podłużnym słupa,
- b_0 – szerokość ścianki kształtownika zamkniętego, zastosowanego na słup.

Śruby w kierunku podłużnym powinny być rozmieszczone symetrycznie względem osi stopki rygla.

Ponadto w zależności od rodzaju zastosowanych śrub należy uwzględnić ich wpływ na postać zniszczenia złącza. Najważniejsze informacje podano w [4].

Nośność wspomnianych węzłów japońskiej konstrukcji przestrzennych, ich części i połączeń sprawdza się zgodnie z regułami normy [9], lecz dodatkowo należy brać pod uwagę ocenę nośności przepony (rys. 16), ustalając [4]:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} = 3,17(t_c/h_c)^{2/3} \cdot (t_p/h_c)^{2/3} \cdot [(t_c + h_p)/h_c]^{1/3} \cdot f_{p,u}/\gamma_{M0}$$

oraz

$$(0,5h_c + h_p)/t_p \leq 240/\sqrt{f_{yc}}$$

przy czym:

- t_p – grubość blachy przepony,
- $f_{p,u}$ – wytrzymałość stali, zastosowanej na przeponę.

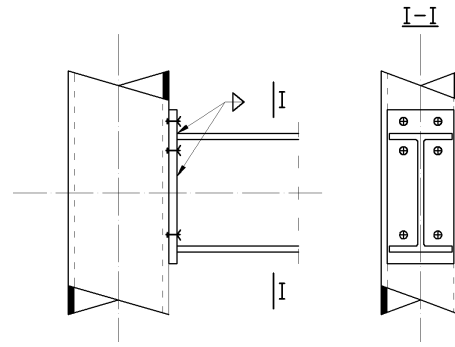
Znaczenie pozostałych symboli przyjmuje się wg rys. 16.

W wypadku potencjalnego przegubu plastycznego przywęzłowy moment zginający M_{Ed} powinien spełniać warunek:

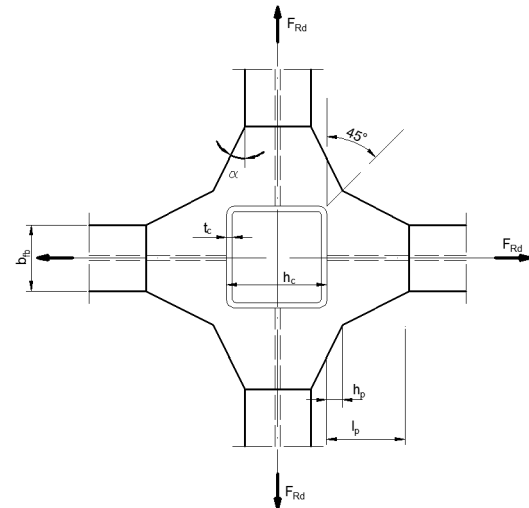
$$M_{Ed} \leq \alpha_c M_{pl,Rd} l_b / (l_b - l_p),$$

gdzie:

- $\alpha_c = 1,2$ – współczynnik przeciążenia,
- l_b – długość przęsa rygla,
- $M_{pl,Rd}$ – plastyczny moment zginający rygla.



Rys. 15



Rys. 16 [4]

Spoiny, łączące trzon słupa lub stopki dwuteowego rygla, należy układać na 1/2 V.

Siły poprzeczne z rygli na słup są przenoszone przez spoiny pachwinowe, ułożone między średnicą rygla i ścianką słupa.

Inny japoński węzeł sztywny z prostokątną przeponą o wzdłużnych wypustkach, dostosowanych do szerokości stopek rygla, stosowany w ramach płaskich, projektuje się, ustalając nośność połączeń spawanych blach poprzecznych, jak też połączenia czoła słupa z przeponą za pomocą zależności [4]:

$$F_{Ed} \leq 2b_b t_{pb} f_{b,u} + 2(3t_c + t_p) t_c f_{c,u} / \gamma_{M2}$$

przy czym nośność samych spin pachwinowych powinna wynosić:

$$F_{vwd} \geq 2b_b t_p f_{b,u} / \gamma_{M2}$$

Symbole mają znaczenie:

- b_b – szerokość prostokątnej przykładki,
- t_{pb} – grubość tej przykładki,
- $f_{b,u}$ – wytrzymałość stali, zastosowanej na przykładkę,
- $f_{c,u}$ – wytrzymałość stali, zastosowanej na słup.

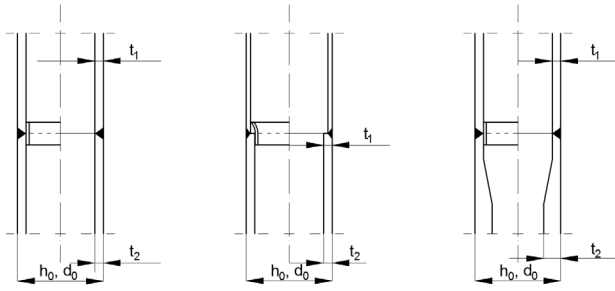
Znaczenie pozostałych symboli wskazano wcześniej.

W wypadku potencjalnego przegubu plastycznego należy sprawdzać, podobnie jak wyjaśniono uprzednio, przy czym l_p jest odstępem spoiny, łączącej przeponę z rygłem względem lica słupa [4].

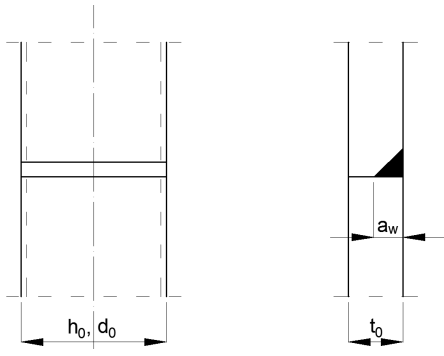
Nośność węzłów, chronionych patentami, jest zapewniana, stosując części składowe (kątowniki, teowniki) oraz spoiny, wskazane przez właściciela patentu.

4. Styki słupów

Spawane o pełnym przetopie styki doczołowe słupów, projektowane o przekrojach, rozmieszczonych na wysokości



Rys. 17



Rys. 18

kondygnacji (rys. 17) nie wymagają sprawdzenia podczas ustalania, gdyż ich bezpieczeństwo jest zapewniane podczas ustalania wymiarów konstrukcji i podczas robót spawalniczych, odpowiednio prowadzonych.

Natomiast gdy doczołowe styki słupów, podobnie rozmieszczonych, mają naprężenia w przekrojach elementów utrzymywane w stanie sprężystym, wówczas takie połączenie przy obwodowej spoinie o niepełnej grubości sprawdza

się, korzystając z metody podanej w Wytycznych Projektowania Japońskiego Instytutu Konstrukcji Stalowych [15]. W wypadku stosowania zamkniętych kształtowników o przekrojach kwadratowych lub prostokątnych obliczenia nośności połączenia na spoiny szerokobruzdowe (rys. 18) przeprowadza się według zależności:

$$(\alpha M_{Ed}/M_{w,Rd} + N_{Ed}/N_{w,Rd})^2 + (V_{Ed}/V_{w,Rd})^2 \leq 1,0,$$

jednak przy dodatkowym warunku:

$$\alpha M_{Ed} \geq 0,5W_{el}f_{yc},$$

w których:

$\alpha = 1,2$ – współczynnik przeciążenia,

$M_{w,Rd} = W_{el}f_{yc}$ – obliczeniowa nośność złącza spawanego przy zginaniu,

$N_{w,Rd} = A_{w,el}f_{yc}$ – obliczeniowa nośność złącza spawanego przy ściskaniu,

$V_{w,Rd} = A_{w,v,d}f_{yc}/\sqrt{3}$ – obliczeniowa nośność złącza spawanego przy ścinaniu,

f_{yc} – granica plastyczności stali słupa,

W_{el} – wskaźnik wytrzymałości przekroju słupa,

$W_{w,el}$ – wskaźnik wytrzymałości przekroju układu spoin szerokobruzdowych,

$A_{w,el}$ – pole przekroju układu spoin szerokobruzdowych,

$A_{w,v,el}$ – pole przekroju układu spoin szerokobruzdowych przy ścinaniu.

Wartości pól przekrojów układów spoin szerokobruzdowych i ich wskaźników wytrzymałości można obliczać wzorami podanymi dla takich wskaźników geometrycznych, odnoszących się do kształtowników zamkniętych w [12] i [14].

Styki spawane, rozmieszczone w poziomie rygli, przedstawiono, omawiając rysunki 10 do 12.