

KONSTRUKCJE CIENKO CIENNE - POŁ CZENIA

ZASADY OGÓLNE

Ogólne zasady podane w PN-EN 1993-1-8, rozdział 8.2 i 8.3, odnoszą się do elementów o grubości cianki nie większej niż 4 mm. Przy projektowaniu połacie elementów o grubości rdzenia $t_{cor} \leq 4 \text{ mm}$ stosuje się reguły zawarte w PN-EN 1993-1-3. W przypadku łaczenia elementów o małej grubości, choć stosuje się podobne połaczenia jak elementów grubszych, to jednak ze względu na możliwość miejscowej utraty stateczności, natomiast czynniki χ w większości ustalane na podstawie badań eksperymentalnych.

Styki i połaczenia ciskanych elementów cienkościenne wymiaruje się na pełnym nośnym przekroju. W przypadku wymiarowania połacie „na obciążenie” – oprócz siły osiowej i momentów zginających należy uwzględnić dodatkowy moment zginający ΔM_{Ed} wynikający z efektów drugiego rzędu.

Jeżeli nie przeprowadza się dokładnej analizy II rzędu, przyjmuje się, że dodatkowy moment działa w płaszczyźnie nie większej smukłości elementu, a jego wartość wyraża się wzorem:

$$\Delta M_{Ed} = N_{Ed} \left(\frac{1}{\chi} - 1 \right) \frac{W_{eff}}{A_{eff}} \sin \frac{\pi a}{l}$$

gdzie: A_{eff}, W_{eff} – pole i wskaźnik wytrzymałości przekroju współpracującego względem rozpatrywanej osi,

a – odległość styku lub połaczenia do najbliższego punktu przegięcia,

l – długość wybojeniowa elementu względem rozpatrywanej osi,

χ – współczynnik wybojeniowy przy wybojeniu względem rozpatrywanej osi,

N_{Ed} – obliczeniowa siła podłużna w elemencie.

Należy również uwzględnić dodatkową wartość siły poprzecznej:

$$\Delta V_{Ed} = \frac{\pi N_{Ed}}{l} \left(\frac{1}{\chi} - 1 \right) \frac{W_{eff}}{A_{eff}}$$

gdzie oznaczenia przyjęto jak poprzednio.

Połaczenia należy tak kształtować, aby siły wewnętrzne były przekazywane na efektywne części przekroju. Jeżeli rozwiązanie konstrukcyjne nie pozwala jednoznacznie określić linii działania siły podłużnej, to w obliczeniach połacie i elementów należy uwzględnić odpowiednie mimośrodowe i dodatkowe momenty zginające.

POŁACZENIA NA ŁACZNIKI MECHANICZNE

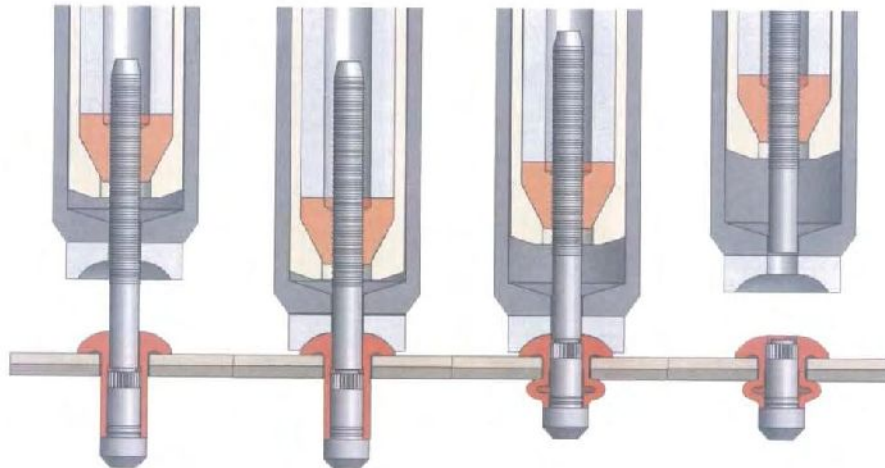
Ze względu na możliwość utraty stateczności miejscowej pomiędzy łącznikami, połaczenia na łączniki mechaniczne powinny być zwarte. Rozmieszczenie łączników powinno zapewniać łatwy montaż i konserwację. Do łaczenia cienkościenne kształtowników profilowanych na zimno wykorzystuje się nitki jednostronne, wkręty samogwintujące, gwoździe wstrzeliwane i rury.

Rozkład sił na poszczególne łączniki można przyjmować jako równomierny, o ile łączniki wykazują odpowiednią ciągłość i zniszczenie łączników nie następuje przez ich przecięcie.

Jeżeli nośność łącznika na wyrywanie $F_{o,Rd}$ jest mniejsza niż przeciwnieżyłowa $F_{p,Rd}$, to zdolność połaczenia do odkształceń powinna być wyznaczona eksperymentalnie.

W połaczeniach zakładkowych, w których odległość osiowa L_j między skrajnymi łącznikami, mierzona w kierunku działania obciążenia jest większa niż 15d, obliczeniową nośność na ścinanie wszystkich łączników $F_{v,Rd}$, redukuje się współczynnikiem α_{Lj} .

➤ Połączenia na nitach jednostronnych



Projektując połączenia na nitach jednostronnych zakłada się, że różnica między średnicą otworu, a średnicą nitu nie przekracza 0,1 mm. Przy obliczeniu siły poprzecznej, należy wziąć pod uwagę nacisk nitów do blachy obliczany ze wzoru:

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u d t / \gamma_{M2} \quad \text{ale} \quad F_{b,Rd} \leq f_u e_1 t / (1,2 \gamma_{M2})$$

gdzie: d - średnica nitu,

t - grubość cieńszej z łączonych blach,

f_u - wytrzymałość na rozciąganie materiału łączonej części lub blachy,

e_1 - odległość osi łącznika od brzości łączonej części w kierunku obciążenia,

γ_{M2} - częściowy współczynnik bezpieczeństwa o zalecanej wartości $\gamma_{M2} = 1,25$,

α - współczynnik określany następująco:

- dla $t = t_1$ $\alpha = 3,6 \sqrt{t/d}$ ale $\alpha \leq 2,1$

- dla $t_1 \geq 2,5t$ $\alpha = 2,1$

- dla $t < t_1 < 2,5t$ wartość α należy interpolować.

t_1 - grubość grubszej z łączonych blach. Przyjmuje się, że cieńsza blacha jest pod głowicą nitu.

Nitach jednostronnych na ogół nie powinny być stosowane do przenoszenia siły rozciągającej równoległej do ich osi. Gdy mamy do czynienia z siłą rozciągającą w nitach jednostronnych ich nośność na rozciąganie $F_{t,Rd}$, oraz na przecięcie przez blachę $F_{p,Rd}$ wyznacza się eksperymentalnie, przy czym $F_{t,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$.

➤ Połączenia na wkręty samogwintujące



Przy obciążeniu sił poprzecznych, nośność ze względu na docisk wkrętów samogwintujących do blachy oblicza się ze wzoru:

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u d t / \gamma_{M2}$$

gdzie: d - średnica nominalna wkręta samogwintującego ciego,

t - grubość cieńszej z łączonych blach,

f_u - wytrzymałość na rozciąganie materiału łączonej części lub blachy,

γ_{M2} - częściowy współczynnik bezpieczeństwa o zalecanej wartości $\gamma_{M2} = 1,25$,

α - współczynnik określany następująco:

- dla $t = t_1$ $\alpha = 3,2\sqrt{t/d}$ ale $\alpha \leq 2,1$

- dla $t_1 \geq 2,5t$ i $t < 1mm$ $\alpha = 3,2\sqrt{t/d}$ ale $\alpha \leq 2,1$

- dla $t_1 \geq 2,5t$ i $t \geq 1mm$ $\alpha = 2,1$

- dla $t < t_1 < 2,5t$ wartość α należy interpolować.

t_1 - grubość grubszej z łączonych blach. Przyjmuje się, że cieńsza blacha jest podłebem wkręta.

Gdy mamy do czynienia z siłami rozciągającymi równoległymi do osi wkręta samogwintującego ciego, jego nośność ze względu na przecięnię cieńszą przez blachę oblicza się ze wzorów:

$$F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2} \quad \text{- przy obciążeniach statycznych}$$

$$F_{p,Rd} = 0,5 d_w t f_u / \gamma_{M2} \quad \text{- przy obciążeniach wiatrem lub kombinacjach obciążenia z udziałem wiatru}$$

gdzie: d_w - średnica podkładki lub łba łącznika,

t , f_u i γ_{M2} - jak poprzednio.

Gdy podłeb wkręta jest stosowana podkładka, powinna mieć ona wystarczającą sztywność, aby nie uległa widocznym deformacjom ani przecięnięciu przez łeb łącznika.

Nośność na wyrywanie łącznika z blachy oblicza się ze wzorów:

$$F_{o,Rd} = \begin{cases} 0,45 d t_{sup} f_{u,sup} / \gamma_{M2} & \text{gdyn } t_{sup}/s < 1 \\ 0,65 d t_{sup} f_{u,sup} / \gamma_{M2} & \text{gdyn } t_{sup}/s \geq 1 \end{cases}$$

gdzie: t_{sup} - grubość elementu w którym jest osadzony łącznik,

$f_{u,sup}$ - wytrzymałość na rozciąganie materiału blachy w której jest osadzony łącznik,

s - skok gwintu wkręta samogwintującego ciego,

d , γ_{M2} - częściowy współczynnik bezpieczeństwa o zalecanej wartości $\gamma_{M2} = 1,25$.

Nośność na rozciąganie wkrętów samogwintujących $F_{t,Rd}$ wyznacza się eksperymentalnie, przy czym ze względu na wymagania dotyczące odkształceń powinny być spełnione warunki: $F_{t,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$, oraz $F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$.

Średnicę otworów na wkręty przyjmuje się zgodnie z zaleceniami producenta, a moment dokręcenia powinien być większy od momentu gwintującego ciego lecz nie powinien przekraczać 2/3 momentu niszczącego ciego, który powoduje zniszczenie gwintu lub części cieńszą wkręta.

➤ Poł czenia na gwo dzie wstrzeliwane



Przy obci eniu sił poprzecz n , no no ze wzgl du na docisk gwo dzie wstrzeliwanych do blachy oblicza si ze wzoru:

$$F_{b,Rd} = 3,2 f_u dt / \gamma_{M2}$$

gdzie: d , t , f_u i γ_{M2} - jak poprzednio



Gdy mamy do czynienia z sił rozci gaj c równoległ do osi gwo dzia wstrzeliwanego, jego no no ze wzgl du na przeci gni cie łba przez blach oblicza si ze wzorów:

$$F_{p,Rd} = d_w t f_u / \gamma_{M2} \quad \text{-przy obci eniach statycznych,}$$

$$F_{p,Rd} = 0,5 d_w t f_u / \gamma_{M2} \quad \text{-przy obci eniach wiatrem lub kombinacjach obci e z udziałem wiatru}$$

gdzie: d_w - rednica podkładki lub łba ł cznika,

t , f_u i γ_{M2} - jak poprzednio.

W-5. Konstrukcje cienko cienne - poł czenia

No no na wyrywanie $F_{o,Rd}$ i no no na rozciąganie gwoździ wstrzeliwanych $F_{t,Rd}$ wyznacza się eksperymentalnie, przy czym ze względu na wymagania do odkształceń powinny być spełnione warunki: $F_{o,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$, oraz $F_{t,Rd} \geq F_{o,Rd}$.

➤ **Nośność przekroju netto i ł czników na ścinanie**

W połączeniach z zastosowaniem nitów jednostronnych, wkrętów samogwintujących i gwoździ wstrzeliwanych należy dodatkowo sprawdzić nośność przekroju osłabionego otworami pod ł czniki ze względu na rozzerwanie. Nośność przekroju netto obliczamy ze wzoru:

$$F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2}$$

gdzie: A_{net} - pole przekroju netto blachy osłabionej otworami na ł czniki,

f_u i γ_{M2} - jak poprzednio

Nośność na ścinanie ł cznika $F_{v,Rd}$ wyznacza się eksperymentalnie, przy czym ze względu na wymagania do odkształceń powinny być spełnione warunki:

$$F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{b,Rd} / (n_f \beta_{Lf}), \text{ oraz } F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd} \text{ dla nitów jednostronnych}$$

$$F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{b,Rd}, \text{ oraz } \sum F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd} \text{ dla wkrętów samogwintujących}$$

$$F_{v,Rd} \geq 1,5 \sum F_{b,Rd}, \text{ oraz } \sum F_{v,Rd} \geq 1,5 F_{n,Rd} \text{ dla gwoździ wstrzeliwanych}$$

gdzie: n_f - liczba ł czników w jednym połączeniu,

β_{Lf} - współczynnik redukcyjny dla zł czy długich według PN-EN 1993-1-8/3.8.

➤ **Połączenia na rury**



W-5. Konstrukcje cienkościenne - połączenia

Przy obciążeniu sił poprzecznych, nośność ze względu na docisk rur do blachy oblicza się ze wzoru:

$$F_{b,Rd} = 2,5\alpha_b k_t f_u d t / \gamma_{M2}$$

gdzie: d - średnica nominalna trzpienia rury,
 α_b - współczynnik: $\alpha_b = \min(1,0; e_1 / 3d)$

k_t - współczynnik przyjmowany następująco:

$$\begin{aligned} & \text{- dla } 0,75\text{mm} \leq t \leq 1,25\text{mm} & k_t &= (0,8t + 1,5) / 2,5 \\ & \text{- dla } t > 1,25\text{mm} & k_t &= 1 \end{aligned}$$

t , f_u i γ_{M2} jak poprzednio.

Nośność ze względu na ścinanie rur oblicza się ze wzoru:

$$F_{v,Rd} = \begin{cases} 0,6 f_{ub} A_s / \gamma_{M2} & \text{dla rur klas 4.6, 5.6 i 8.8} \\ 0,5 f_{ub} A_s / \gamma_{M2} & \text{dla rur klas 4.8, 5.8, 6.8 i 10.9} \end{cases}$$

gdzie: f_{ub} - wytrzymałość na rozciąganie materiału rury,
 A_s - pole przekroju czynnego rdzenia rury.

Nośność przekroju netto osłabionego otworami podłużnymi obliczamy ze wzoru:

$$F_{n,Rd} = (1 + 3r(d_0 / u - 3)) A_{net} f_u / \gamma_{M2} \quad \text{lecz} \quad F_{n,Rd} \leq A_{net} f_u / \gamma_{M2}$$

gdzie: A_{net} , f_u i γ_{M2} - jak poprzednio

r - stosunek liczby rur w przekroju osłabionym do całkowitej liczby rur w pełnym przekroju,

d_0 - średnica otworu na rurze, i

$u = 2e_2$, lecz $u \leq 2p_2$ - gdzie e_2 i p_2 - odległość od krawędzi i między rurami w kierunku prostopadłym do działania siły.

Ze względu na wymagania dotyczące odkształceń powinny być spełnione warunki $F_{v,Rd} \geq 1,2 \sum F_{b,Rd}$, lub $\sum F_{v,Rd} \geq 1,2 F_{n,Rd}$.

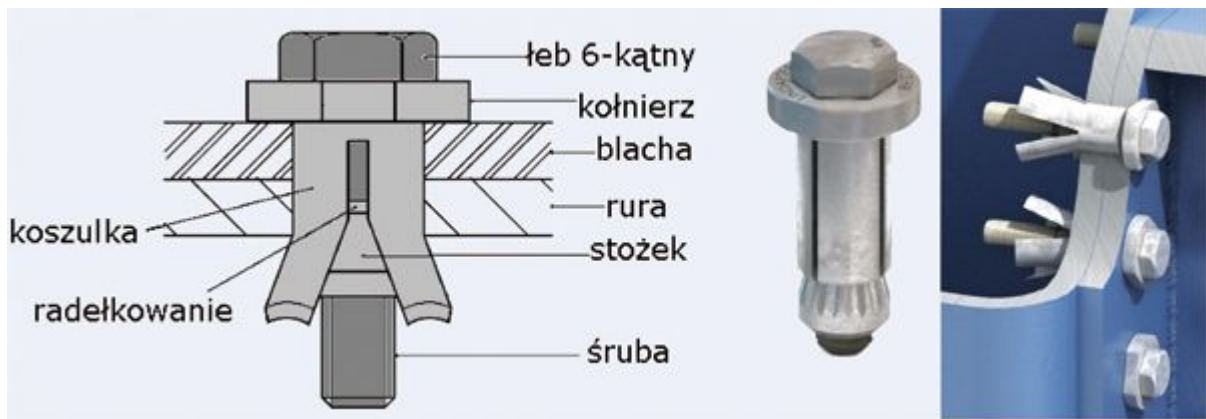
Gdy mamy do czynienia z siłami rozciągającymi równoległymi do osi rury, jej nośność ze względu na rozciąganie $F_{t,Rd}$ oblicza się ze wzoru:

$$F_{t,Rd} = 0,9 f_{ub} A_s / \gamma_{M2}$$

gdzie: f_{ub} i A_s - jak poprzednio.

Nośność na przecięcie rury przez blachę $F_{p,Rd}$ wyznacza się eksperymentalnie, z warunkiem, że $F_{t,Rd} \geq \sum F_{p,Rd}$.

Minimalna średnica rur w pełnym przekroju, do której odnoszą się powyższe warunki wynosi 6mm. W przypadku rur M12 i M14 w otworach z luzem 2mm stosuje się reguły podane w PN-EN 1993-1-8.



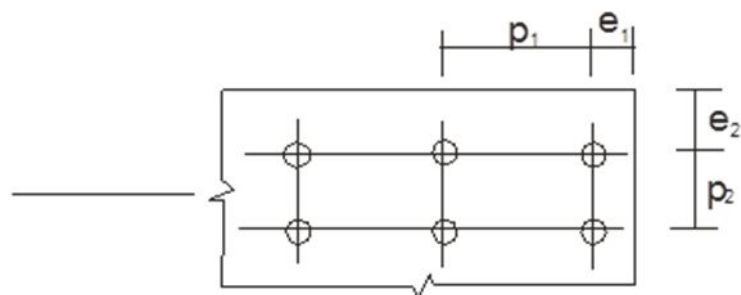
➤ Rozstaw ł czników

Zalecane rozstawy ł czników w przypadku ł czenia cienkich blach podano w tab.

Tablica. Rozstawy i odległ o ci ł czników od brzegów blachy

Odległ o ci rozstawy ł czników (rys 8-82)	Nity jednosronne	Wkr ty samogwintuj ce	Gwo dzie wstrzeliwane	ruby
Odległ o czołowa e_1	$\geq 1,5d$	$\geq 3,0d$	$\geq 4,5d$	$\geq 1,0d_0$
Odległ o boczna e_2	$\geq 1,5d$	$\geq 1,5d$	$\geq 4,5d$	$\geq 1,5d_0$
Rozstaw p_1	$\geq 3,0d$	$\geq 3,0d$	$\geq 4,5d$	$\geq 3,0d_0$
Rozstaw p_2	$\geq 3,0d$	$\geq 3,0d$	$\geq 4,5d$	$\geq 3,0d_0$
Zakres rednic ł cznika d	$2,6mm \leq d \leq 6,0mm$	$3,0mm \leq d \leq 8,0mm$	$3,7mm \leq d \leq 6,0mm$	$3,0mm \leq d \leq 8,0mm$
Grubo blachy podpieraj cej			$d = 3,7mm \quad t_{sup} \geq 4,0mm$ $d = 4,5mm \quad t_{sup} \geq 6,0mm$ $d = 5,2mm \quad t_{sup} \geq 8,0mm$	
Grubo ł czonych blach przy rozciąganiu		$0,5mm \leq t \leq 1,5mm$ i $t_1 \geq 0,9mm$	$0,5mm \leq t \leq 1,5mm$ i $t_{sup} \geq 6,0mm$	$0,75mm \leq t \leq 3mm$
Materiał ł cznika	$f_u \leq 550N/mm^2$	$f_u \leq 550N/mm^2$	$f_u \leq 550N/mm^2$	$f_u \leq 550N/mm^2$

W przypadku okre lania no no ci w sposób eksperymentalny mo na wyj poza zakresy podane w tabeli.

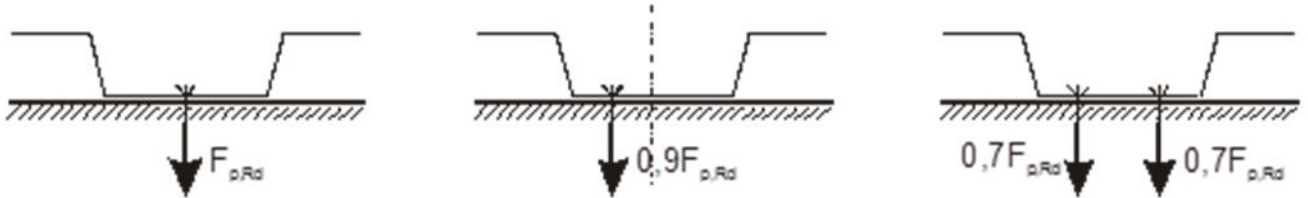


Rozstawy i odległ o ci ł czników i spoin punktowych.

Nośność łączników jednocześnie nie rozciąganych i ścinanych może być sprawdzana ze wzoru:

$$\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{p,Rd}, F_{o,Rd})} + \frac{F_{v,Ed}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} \leq 1$$

Jeżeli wkręty samogwintujące lub gwóźdźki wstrzeliwane nie są rozmieszczone w osi fałdy, to ich nośność powinna być zredukowana do wartości $0,9F_{p,Rd}$ - gdy łączniki występują w jednej linii wiartki, oraz $0,7F_{p,Rd}$ - gdy łączniki występują w dwóch liniach wiartkowych.



Zalecono również na przeciwnym od usytuowania łączników.

POŁĄCZENIA SPAWANE

Elementy cienkościenne mogą być łączone również za pomocą spawania i zgrzewania. Ze względu na niewielkie wymiary spoin, złącza takie powinny być projektowane jako zakładkowe, obciążone jedynie siłą w płaszczyźnie blachy.

Połączenia na spoiny punktowe.

Spoiny punktowe uzyskuje się w wyniku zgrzewania oporowego lub ewentualnie spawania. Można je stosować w przypadku, gdy grubość cieńszej z łączonych blachy nie przekracza 3mm, a grubszej 4mm. Przy obciążeniu siłą poprzeczną, nośność ze względu na rozzerwanie lub docisk spoiny oblicza się ze wzoru:

$$\text{gdy } t \leq t_1 \leq 2,5t \quad F_{tb,Rd} = 2,7\sqrt{t}d_s f_u / \gamma_{M2}$$

$$\text{gdy } t_1 > 2,5t \quad F_{tb,Rd} = 2,7\sqrt{t}d_s f_u / \gamma_{M2} \text{ lecz } F_{tb,Rd} \leq d_s^2 f_u / \gamma_{M2} \text{ i } F_{tb,Rd} \leq 3,1td_s f_u / \gamma_{M2}$$

gdzie: d_s - średnica spoiny,

t, t_1 - grubości cieńszej i grubszej z łączonych części,

f_u i γ_{M2} - jak poprzednio

Nośność na ścinanie spoiny jest obliczana ze wzoru:

$$F_{v,Rd} \leq \frac{\pi}{4} d_s^2 f_u / \gamma_{M2}$$

gdzie: d_s, f_u i γ_{M2} - jak poprzednio

Nośność przekroju krytycznego blach sprawdza się z warunków na rozzerwanie strefy brzegowej lub przekroju netto ze wzorów:

$$\text{nośność strefy brzegowej} \quad F_{e,Rd} \leq 1,4e_1 f_u / \gamma_{M2}$$

$$\text{nośność przekroju netto} \quad F_{n,Rd} \leq A_{net} f_u / \gamma_{M2}$$

gdzie: e_1 - odległość spoiny od krawędzi blachy w kierunku obciążenia,

A_{net} - pole przekroju netto części łączonych,

f_u i γ_{M2} - jak poprzednio

W-5. Konstrukcje cienkościenne - połączenia

Ze wzgl du na wymagan zdolno do odkształce powinny by spełnione warunki: $F_{v,Rd} \geq 1,25F_{tb,Rd}$, lub $F_{v,Rd} \geq 1,25F_{e,Rd}$ oraz $\sum F_{v,Rd} \geq 1,25F_{n,Rd}$.

Rozstawy spoin punktowych powinny spełnia warunki:

- odległo spoiny od ko ca blachy w kierunku obci enia $2d_s \leq e_1 \leq 6d_s$
- odległo spoiny od kraw dzi blachy prostopadle do obci enia $e_2 \leq 4d_s$
- odległo mi dzy spoinami w kierunku obci enia $3d_s \leq p_1 \leq 8d_s$
- odległo mi dzy spoinami w kierunku prostopadłym do obci enia $3d_s \leq p_2 \leq 6d_s$

Obliczeniowa rednica spoin punktowych jest przyjmowana w zale no ci od technologii ich wykonania ze wzorów:

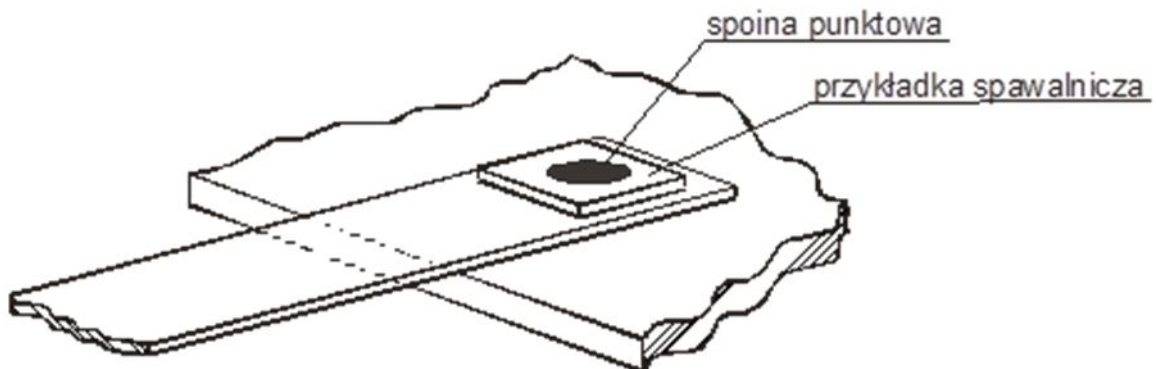
- wykonanie za pomoc zgrzewania oporowego $d_s = 0,5t + 5mm$

- wykonanie za pomoc spawania $d_s = 5\sqrt{t}$

rednica spoin powinna by potwierdzona do wiadczalnie na próbkach z wykonanym pojedynczym złączem zakładkowym.

Połączenia na spoiny punktowe spawane łukowo.

Spoiny punktowe wykonywane za pomoc spawania łukowego s przeznaczone do przenoszenia sił cinalaj cych w złączach blach o łączonej grubo nie przekraczaj cej 4mm. Podczas łączenia blach o grubo ci mniejszej ni 0,7 mm, nale y stosowa przykładk spawalnicz .



Spoina punktowa spawana łukowo z zastosowaniem przykładki spawalniczej.

Obliczeniowa nośność na cinalanie spoiny jest obliczana ze wzoru:

$$F_{w,Rd} = \frac{\pi}{4} d_s^2 \times 0,625 f_{uw} / \gamma_{M2}$$

Przy czym warto $F_{w,Rd}$, obliczona z powy szego wzoru, nie powinna przekroczy nast puj cych warto ci:

$$\text{gdy } d_p / \sum t \leq 18\sqrt{(420/f_u)} \quad F_{w,Rd} = 1,5d_p \sum t f_u / \gamma_{M2}$$

$$\text{gdy } 18\sqrt{(420/f_u)} < d_p / \sum t < 30\sqrt{(420/f_u)} \quad F_{w,Rd} = 27\sqrt{(420/f_u)} \sum t^2 f_u / \gamma_{M2}$$

$$\text{gdy } d_p / \sum t \geq 30\sqrt{(420/f_u)} \quad F_{w,Rd} = 0,9d_p \sum t f_u / \gamma_{M2}$$

No no wydlu onej spoiny punktowej:

$$F_{w,Rd} = \left[\frac{\pi}{4} d_s^2 + L_w d_s \right] \times 0,625 f_{uw} / \gamma_{M2} \quad \text{ale} \quad F_{w,Rd} \leq (0,5L_w + 1,67d_p) \sum t f_u / \gamma_{M2}$$

gdzie: f_{uw} - wytrzymało na rozci ganie spoiwa,
 d_p - efektywna rednica obwodowa spoiny punktowej,
 L_w - dlugo wydlu onej spoiny punktowej,
 t, d_s, f_u i γ_{M2} - jak poprzednio

rednica obliczeniowa spoin powinna wynosi co najmniej 10 mm i wyznacza si j ze wzoru:

$$d_s = 0,7d_w - 1,5 \sum t \quad \text{lecz} \quad d_s \geq 0,55d_w$$

gdzie: d_w - widoczna rednica spoiny,

Efektywna rednica obwodowa spoiny punktowej jest przyjmowana z warunków:

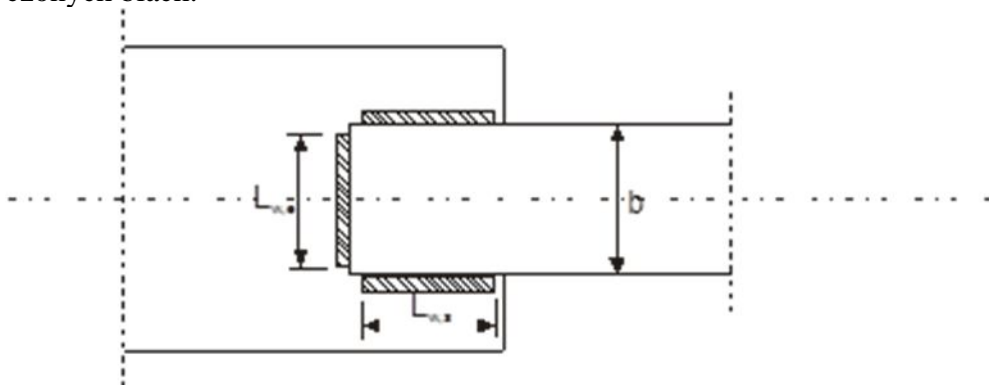
- w przypadku ł czenia pojedynczej blachy o grubo ci t, $d_p = d_w - t$
- w przypadku ł czenia wi kszej liczby blach o ł cznej grubo ci $\sum t$, $d_p = d_w - 2 \sum t$

Minimalne odległo ci osi spoin punktowych od brzegu najbli szej spoiny lub czoła ł cznej blachy wyznacza si ze wzorów:

- gdy $f_u / f_y < 1,15$ $e_1 \geq 1,8 F_{w,Sd} / (t f_u / \gamma_{M2})$
- gdy $f_u / f_y \geq 1,15$ $e_1 \geq 2,1 F_{w,Sd} / (t f_u / \gamma_{M2})$
- $e_1 \geq 1,5 d_w$
- w przypadku wydlu onej spoiny punktowej $e_1 \geq 1,0 d_w$

Poł czenia na spoiny pachwinowe.

Blachy cienkie mog by ł czone równie za pomoc spoin pachwinowych. Grubo spoin powinna by tak dobrana, aby o no no ci poł czenia decydowała no no ł czonych cz ci a nie spoin. Zazwyczaj grubo spoin przyjmuje si co najmniej równ grubo ci blachy. Efektywn dlugo spoiny pachwinowej L_w przyjmuje si jako dlugo całkowit spoiny bez odejmowania dlugo ci kraterów ko cowych. W obliczeniach nie uwzgl dnia si spoin o dlugo ci mniejszej ni o miokrotna grubo cie szej z ł czonych blach.



Obliczeniowa nośność na ścinanie spoiny jest obliczana z warunków:

- dla spoiny równoległej do kierunku obciążenia – jednej z par spoin bocznych

$$\text{- gdy } L_{w,s} \leq b \quad F_{w,Rd} = tL_{w,s} (0,9 - 0,45L_{w,s}/b) f_u / \gamma_{M2}$$

$$\text{- gdy } L_{w,s} > b \quad F_{w,Rd} = 0,45tb f_u / \gamma_{M2}$$

- dla poprzecznej spoiny pachwinowej – nośność jednej spoiny

$$\text{- gdy } L_{w,s} \leq b \quad F_{w,Rd} = tL_{w,e} (1 - 0,3L_{w,e}/b) f_u / \gamma_{M2}$$

gdzie: b – szerokość czółeczonej,

$L_{w,s}$ - efektywna długość spoiny bocznej (podłużnej),

$L_{w,e}$ - efektywna długość spoiny poprzecznej,

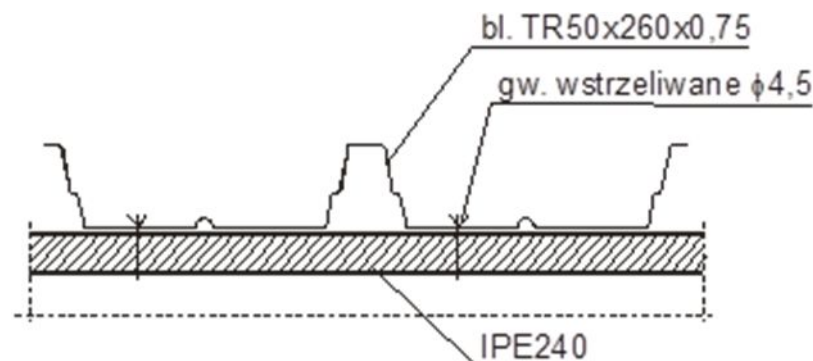
f_u i γ_{M2} - jak poprzednio

Nośność zła dla tego typu grup spoin poprzecznych i podłużnych wyznacza się jako sumę nośności poszczególnych spoin, uwzględniając realny rozkład sił na spoiny z uwzględnieniem położenia rodka ciłko ciłkady spoin.

Przykłady obliczeniowe

Przykład 1

Sprawdzenie połączenia głównego blachy fałdowej pokrycia TR 50/260 o grubości blachy netto $t=0,75\text{mm}$, do płaty wykonanej z IPE 240. Połączenie wykonano za pomocą gwóździ wstrzeliwanych o nominalnej średnicy 4,5 mm. Połączenie wykonano w każdej dolinie fałdy



Połączenie blachy pokrycia z płatą .

Dane:

stal: S275; według PN-EN 1993-1-1/tablica 3.1 dla $t \leq 40\text{mm}$

$$f_y = 275 \text{ MPa}; \quad f_u = 410 \text{ MPa},$$

belka: IPE240: $h_b = 240 \text{ mm}$, $b_{fb} = 120 \text{ mm}$, $t_{fb} = 9,8 \text{ mm}$,

blacha: $t = 0,75 \text{ mm}$, $e_1 = 60\text{mm}$,

gwóździe wstrzeliwane: $d=4,5 \text{ mm}$; $f_u=500\text{MPa}$, podkładka o, $d_w = 15 \text{ mm}$

Siła obciążająca człcznik (w odniesieniu do jednego człcznika)

- od tarczowej pracy pokrycia $F_{v,Ed} = 1,2\text{kN}$,

- od obciążenia zewnętrznego w płaszczyźnie pokrycia, $F_{v1,Ed} = 0,3\text{kN}$,

- od ssania wiatru $F_{t,Ed} = 0,9\text{kN}$,

W-5. Konstrukcje cienkościenne - połączenia

- no no ze wzgl du na docisk gwo dzi wstrzeliwanych do blachy:

$$F_{b,Rd} = 3,2 f_u dt / \gamma_{M2} = 3,2 \cdot 420 \cdot 4,5 \cdot 0,75 / 1,25 = 3629N = 3,6kN$$

- no no ze wzgl du na przeci gni cie łba przez blach :
- przy obci eniach wiatrem lub kombinacjach obci e z udziałem wiatru

$$F_{p,Rd} = 0,5 d_w t f_u / \gamma_{M2} = 0,5 \cdot 15 \cdot 0,75 \cdot 420 / 1,25 = 1890N = 1,9kN$$

- ze wzgl du na usytuowanie ł cznika redukujemy jego no no ,

$$F_{p,Rd,red} = 0,9 F_{p,Rd} = 0,9 \cdot 1,9 = 1,7kN$$

- no no przekroju osłabionego otworami pod ł czniki:

$$F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2} = 101 \cdot 420 / 1,25 = 33936N = 33,9kN$$

gdzie: $A_{net} = \left(\frac{4}{\sqrt{3}} e_1 - d \right) t = \left(\frac{4}{\sqrt{3}} 60 - 4,5 \right) \cdot 0,75 = 101mm^2$

Według tablic producenta, no no na wrywanie $F_{o,Rd}$ gwo dzi zamocowanego w blasze o grubo ci 9,8 mm wynosi $F_{o,Rd} = 15,0kN$, no no na rozci ganie $F_{t,Rd} = 4,8kN$, a na cinanie $F_{v,Rd} = 7,2kN$ (warto ci wyznaczone eksperymentalnie)

Warunki ze wzgl du na wymag an zdolno do odkształce przy sile osiowej: $F_{o,Rd} = 15kN > 1,7kN = \sum F_{p,Rd,red}$, lub $F_{t,Rd} = 4,8kN < 15kN = F_{o,Rd}$ - warunek drugi nie jest spełniony, ale wymag an odkształcalno zapewnia podatno blachy pokrycia przy przeci gniu cie łba gwo dzi.

Warunki ze wzgl du na wymag an zdolno do odkształce przy sile poprzecznej: $F_{v,Rd} = 7,2kN > 1,5 \cdot 3,6 = 5,4kN = 1,5 \sum F_{b,Rd}$, lub $\sum F_{v,Rd} = 7,2kN < 1,5 \cdot 33,9 = 50,8kN = 1,5 F_{n,Rd}$ - warunek drugi nie jest spełniony, ale wymag an odkształcalno zapewnia podatno blachy pokrycia podczas owalizacji otworów.

Sprawdzenie warunku no no ci:

$$\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{p,Rd}, F_{o,Rd})} + \frac{F_{v,Ed}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} = \frac{0,9}{1,7} + \frac{1,2 + 0,3}{3,6} = 0,95 < 1$$

Warunek no no ci jest spełniony.

Przykład 2

Sprawdzi no no poł czenia głównego blachy fałdowej pokrycia jak w przykładzie poprzednim, gdy poł czenie wykonano za pomoc wkr tów samogwintuj cych o nominalnej rednicy 6,3 mm.

Dane:

Dane dotycz ce stali, parametrów blachy i płatwi, oraz obci e jak w przykładzie P8-15.

Wkr ty samogwintuj ce: $d=6,3$ mm; $f_u=500$ MPa, podkładka o, $d_w = 15$ mm

- no no ze wzgl du na docisk wkr tów samogwintuj cych do blachy:

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u dt / \gamma_{M2} = 1,10 \cdot 420 \cdot 6,3 \cdot 0,75 / 1,25 = 1746N = 1,7kN$$

gdzie: - dla $t_1 \geq 2,5t$ i $t < 1mm$ $\alpha = 3,2\sqrt{t/d} = 3,2\sqrt{0,75/6,3} = 1,10 < 2,1$

W-5. Konstrukcje cienko cienne - poł czenia

- no no ze wzgl du na przeci gni cie łba przez blach :
- przy obci eniach wiatrem lub kombinacjach obci e z udziałem wiatru

$$F_{p,Rd} = 0,5d_w t f_u / \gamma_{M2} = 0,5 \cdot 15 \cdot 0,75 \cdot 420 / 1,25 = 1890N = 1,9kN$$

- ze wzgl du na usytuowanie ł cznika redukujemy jego no no ,

$$F_{p,Rd,red} = 0,9F_{p,Rd} = 0,9 \cdot 1,9 = 1,7kN$$

- no no na wrywanie ł cznika z blachy:

gdzy $t_{sup}/s \geq 1$

$$F_{o,Rd} = 0,65d t_{sup} f_{u,sup} / \gamma_{M2} = 0,65 \cdot 6,3 \cdot 9,8 \cdot 420 / 1,25 = 13484N = 13,5kN$$

- no no przekroju osłabionego otworami pod ł czniki:

$$F_{n,Rd} = A_{net} f_u / \gamma_{M2} = 99 \cdot 420 / 1,25 = 33264N = 33,3kN$$

gdzie: $A_{net} = \left(\frac{4}{\sqrt{3}} e_1 - d \right) t = \left(\frac{4}{\sqrt{3}} 60 - 6,3 \right) \cdot 0,75 = 99mm^2$

Według tablic producenta, no no na rozci ganie $F_{t,Rd} = 6,7kN$, a na cinanie $F_{v,Rd} = 10,1kN$ (warto ci wyznaczone eksperymentalnie)

Warunki ze wzgl du na wymagan zdolno do odkształce przy sile osiowej: $F_{t,Rd} = 6,7kN > 1,7kN = \sum F_{p,Rd,red}$, lub $F_{t,Rd} = 6,7kN < 13,5kN = F_{o,Rd}$ - warunek drugi nie jest spełniony, ale wymagan odkształcalno zapewnia podatno blachy pokrycia przy przeci gni cie łba wkr ta.

Warunki ze wzgl du na wymagan zdolno do odkształce przy sile poprzecznej: $F_{v,Rd} = 10,1kN > 1,2 \cdot 1,7 = 2,04kN = 1,2 \sum F_{b,Rd}$, lub $\sum F_{v,Rd} = 10,1kN < 1,2 \cdot 33,3 = 40,0kN = 1,2 F_{n,Rd}$ - warunek drugi nie jest spełniony, ale wymagan odkształcalno zapewnia podatno blachy pokrycia podczas owalizacji otworów.

Sprawdzenie warunku no no ci:

$$\frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{p,Rd}, F_{o,Rd})} + \frac{F_{v,Ed}}{\min(F_{b,Rd}, F_{n,Rd})} = \frac{0,9}{1,7} + \frac{1,2 + 0,3}{1,7} = 1,41 > 1$$

Pomimo zastosowania w poł czeniu wkr tów o wi kszej rednicy ni gwo dzie wstrzeliwane, warunek no no ci nie jest spełniony.

rednic otworów na wkr ty przyjmuje si zgodnie z zaleceniami producenta, a moment dokr cenia powinien by wi kszy od momentu gwintuj cego.

Przykład 3

Sprawdzi warunki no no ci poł czenia blaszki ł cznikowej o grubo ci $t = 2,0$ mm, do elementu konstrukcyjnego z blachy o grubo ci $t_1 = 10$ mm. Poł czenie wykonano za pomoc spoin pachwinowych.

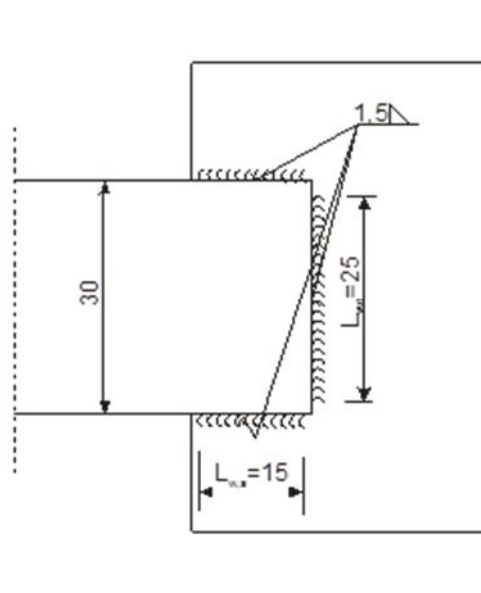
Dane:

stal: S275; wg PN-EN 1993-1-1/tablica 3.1, dla $t \leq 40mm$ $f_y = 275 MPa$; $f_u = 410 MPa$,

blaszka ł cznikowa: $t = 2,0$ mm, $b = 30mm$, blacha: $t_1 = 10,0$ mm,

spoiny: $a_w = 1,5mm$, $L_{w,s} = 15mm$, $L_{w,e} = 25mm$

W-5. Konstrukcje cienko cienne - poł czenia



Pół czenie blaszki t cznikowej z elementem.

Sprawdzenie warunków konstrukcyjnych

$$L_{w,s} = 15\text{mm} > 12\text{mm} = 8 \cdot 1,5 = 8 \cdot a_w, \quad L_{w,e} = 25\text{mm} > 12\text{mm} = 8 \cdot 1,5 = 8 \cdot a_w$$

Warunki konstrukcyjne s spełnione.

Siła obci aj ca pół czenie, wynikaj ca z no no ci blaszki na rozci ganie,

$$F_{Ed} = N_{pl,Rd} = t \cdot b \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2,0 \cdot 30,0 \cdot 275 / 1,0 = 16500\text{N} = 16,5\text{kN}$$

Przyjmujemy, e siła działa osiowo i w równomierny sposób obci a wszystkie spoiny.

No no pojedynczej spoiny podłu nej

- gdy $L_{w,s} = 15\text{mm} < 30\text{mm} = b$

$$F_{w,Rd,s} = a_w L_{w,s} (0,9 - 0,45 L_{w,s} / b) f_u / \gamma_{M2} = 1,5 \cdot 15 (0,9 - 0,45 \cdot 15 / 30) \cdot 410 / 1,25 = 4982\text{N} = 5,0\text{kN}$$

No no spoiny poprzecznej

- gdy $L_{w,s} = 15\text{mm} < 30\text{mm} = b$

$$F_{w,Rd,e} = a_w L_{w,e} (1 - 0,3 L_{w,e} / b) f_u / \gamma_{M2} = 1,5 \cdot 25 (1 - 0,3 \cdot 25 / 30) \cdot 410 / 1,25 = 9225\text{N} = 9,2\text{kN}$$

Ostateczna no no pół czenia

$$F_{w,Rd} = 2 \cdot F_{w,Rd,s} + F_{w,Rd,e} = 2 \cdot 5,0 + 9,2 = 19,2\text{kN} > 16,5\text{kN} = F_{Ed}$$

Warunek no no ci jest spełniony

POŁĄCZENIA – INFORMACJE DODATKOWE

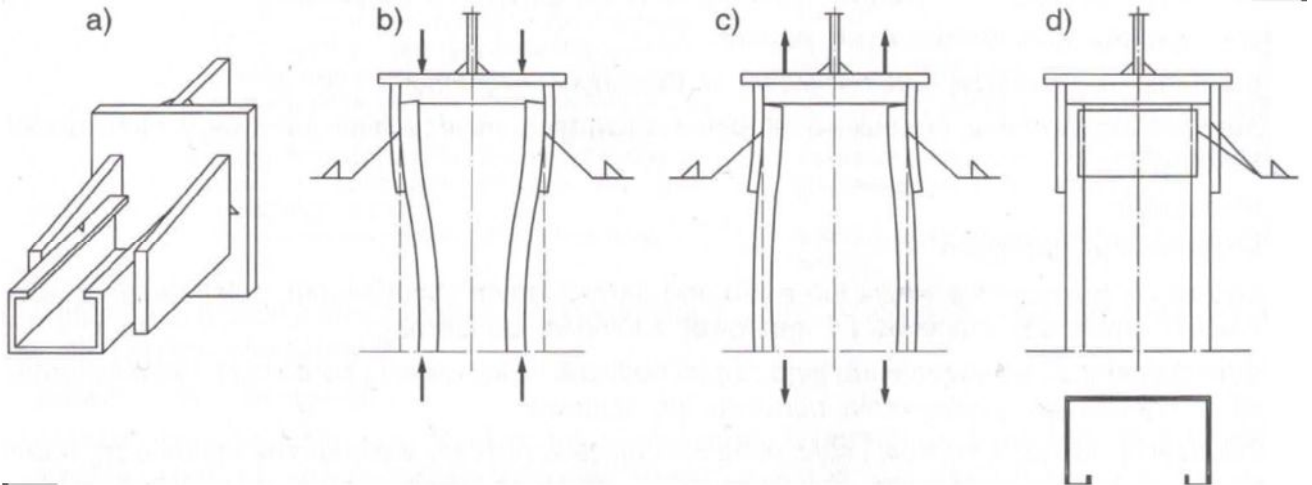
Projektując połączenia (styki, w zły) należy brać pod uwagę czynniki takie jak:

- siły przekrojowe występujące w łączonych prętach,
- przekroje najmniejszej wytrzymałości w łączonych częściach,
- nośność na ścinanie rodniczków, stopek i zawartych między nimi części łączonych,
- mimośrodowość,
- koncentracja naprężeń
- zachowanie w złą pod narastającym obciążeniem, polegające na ocenie chwilowej sztywności i kątowej zdolności do obrotu,
- odkształcalność połączenia podczas wykonywania i eksploatacji.

Dodatkowe czynniki, które należy uwzględnić przy projektowaniu połączeń:

- dostępność do projektowanego styku,
- wymagania związane ze spawaniem i zakładaniem łączników mechanicznych,
- możliwość kontroli wykonania połączenia,
- możliwość wykonania powłok ochronnych i późniejszej konserwacji.

Wpływy drugorzędne w połączeniach kształtowników profilowanych na zimno:



TECHNIKI ŁĄCZENIA NIEROZŁĄCZONEGO

Spawanie



Spawanie to proces fizyczny łączenia metali polegający na doprowadzeniu spoiwa (stopiwa) i brzegów części łączonych do stanu ciekłego, a następnie do ich zestalenia.

Przed przystąpieniem do spawania należy określić m.in.:

- kształt połączenia,
- wymiary i rodzaje spoin,
- metod spawania.

Parametry spawania:

- średnica elektrody d [mm],
- napięcie prądu U [V],
- natężenie prądu i [A],
- szybkość spawania v [m/s]
- szybkość chłodzenia spoiny w [C/s]



Ogólna charakterystyka połączeń spawanych:

- staranne wykonanie spoiny (należy unikać porowatości, podtopieniom lub wytopieniom dziur),
 - cienka spoina ma mniej wad wewnętrznych (załączenia, nieprzetopienia), ale większą porowatość,
 - efekt zgniotu powoduje przyspieszone starzenie, zmiany w strukturze stali (przy 500 C następuje regeneracja siatki krystalograficznej, w strefie wpływu ciepła w temp. 200-300 C stal traci duktylność pierwotnej cięgliwość),
 - błędy produkcyjne powodują ryzyko kruchego pęknięcia narodzi (dotyczy grubych blach $t \gg 4\text{mm}$)
- Spawanie elementów profilowanych na zimno wymaga od spawaczy wysokich kwalifikacji.

W-5. Konstrukcje cienkościenne - połączenia

Zgrzewanie

Zgrzewanie to proces spajania metali polegający na nagraniu miejsca styku do temperatury bliskiej temperaturze topnienia, a następnie na mechanicznym docięciu. Materiał odkształca się oraz przemieszcza po ostygnięciu trwałe i wytrzymałe połączenie.

Rodzaje zgrzewania:

- gazowe (acetylen, wodór),
- termitowe (mieszanina glinu i tlenku żelaza),
- kuzienne,
- indukcyjne ,
- wybuchowe,
- elektryczne oporowe (electric resistance welding ERW).

Zgrzewanie elektryczne oporowe składa się z 3 faz.

Faza I

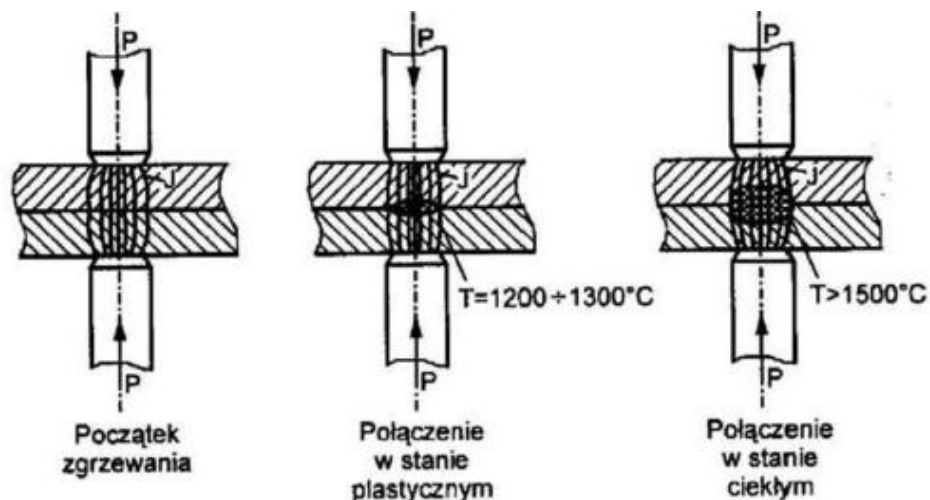
Łączone elementy zostają podłączone do elektrod i docięnięte do siebie. Po docięnięciu zostaje wykonany prąd elektryczny o dużym natężeniu. Na skutek przepływu prądu rozpoczyna się wydzielanie ciepła na powierzchni styku elementów, która ma dużo większy opór elektryczny niż opór samych łączonych elementów. Na rozgrzewanych powierzchniach (lub punktach) zaczyna się tworzyć strefa roztopionego uplastycznionego metalu zwana drzewem zgrzeiny. Ilość ciepła tworzącego się w procesie zgrzewania oporowego określona jest prawem Joule'a Lenza i wynosi $Q=I^2Rt$ (gdzie: I - wartość natężenia prądu, R - rezystancja styku, t - czas).

Faza II

Wraz ze wzrostem ilości wydzielanego ciepła następuje rozrost drzewa zgrzeiny. Proces zgrzewania jest tak zaprojektowany, aby wielkość drzewa zgrzeiny zapewniała powstanie połączenia o wystarczającej wytrzymałości. Rozgrzany metal uplastycznia się, a dociskająca siła może spowodować jego odkształcenie, co jest normalnym efektem ubocznym tej metody. Brak zniekształcenia może sugerować niepoprawnie wykonane połączenie zgrzewane.

Faza III

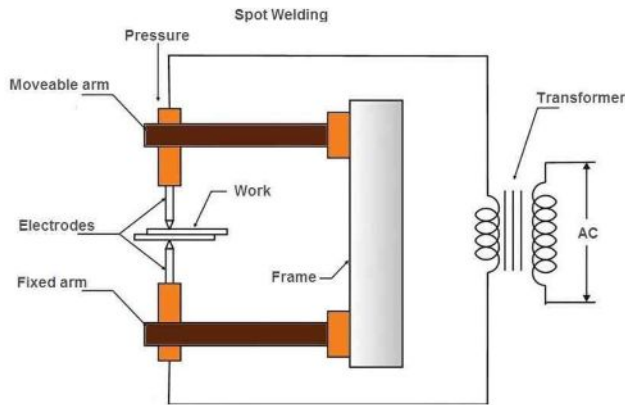
W momencie wyłączenia dopływu prądu drzewo zgrzeiny osiąga maksymalną wielkość, jednak drzewo zgrzeina pozostaje nadal pod dociskiem elektrod, dzięki czemu może rozpocząć się proces krzepnięcia (rekrytalizacji) metalu w drzewie zgrzeiny.



Zgrzewanie dzieli się na:

- punktowe (jedno i dwustronne),
- doczołowe (zwarciowe),
- liniowe (na zakładki, liniowo doczołowe),
- garbowe.

Zgrzewanie punktowe

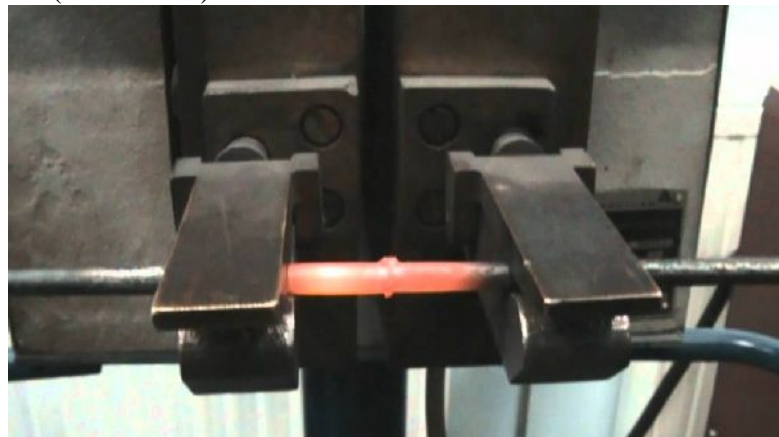


Parametry zgrzewania punktowego: natężenie prądu zgrzewania I , czas przepływu prądu t , siła docisku elektrod. Parametry te dobiera się zależnie od: rodzaju metalu, grubości, kształtu i wymiarów zgrzewanych elementów i wymagań stawianych konstrukcji

Zalecenia technologiczne:

- 1) złącza punktowe powinny być tak zaprojektowane, aby zgorzeliny pracowały na ciśnienie (należy unikać zgrzeń pracujących na rozciąganie i skręcanie),
- 2) powierzchnie części zgrzewanych powinny być płaskie i równoległe (nie wolno wykonywać zgrzeń w narożach i zaokrągleniach),
- 3) średnica zgrzeiny ustala się w zależności od grubości blach,
- 4) przy większej ilości zgrzeń, grupuje się je w dwóch lub kilku rzędach (nie mogą być zbyt blisko siebie ze względu na bocznikowanie prądu), stosując zalecane podziałki przy rozmieszczaniu zgrzeń,
- 5) nie można zgrzewać więcej niż trzech blach (jeśli są 3 blachy różnej grubości, cieńszą umieszcza się w środku, gdy są 2 to cieńszą daje się na górę),
- 6) złącza powinny być tak projektowane, aby można je było zgrzewać za pomocą zgrzewania dwustronnego jednopunktowego przy jak najmniejszym wysięgu ramion zgrzewarki.

Zgrzewanie doczołowe (zwarciowe)



W-5. Konstrukcje cienkościennie - połączenia

Parametry zgrzewania zwarcowego:

- moc jednostkowa (na 1 mm² przekroju),
- natężenie prądu zgrzewania,
- czas przepływu prądu,
- długość mocowania (długość wysunięcia materiału ze szczęki),
- docisk jednostkowy

Cechy zgrzewania zwarcowego:

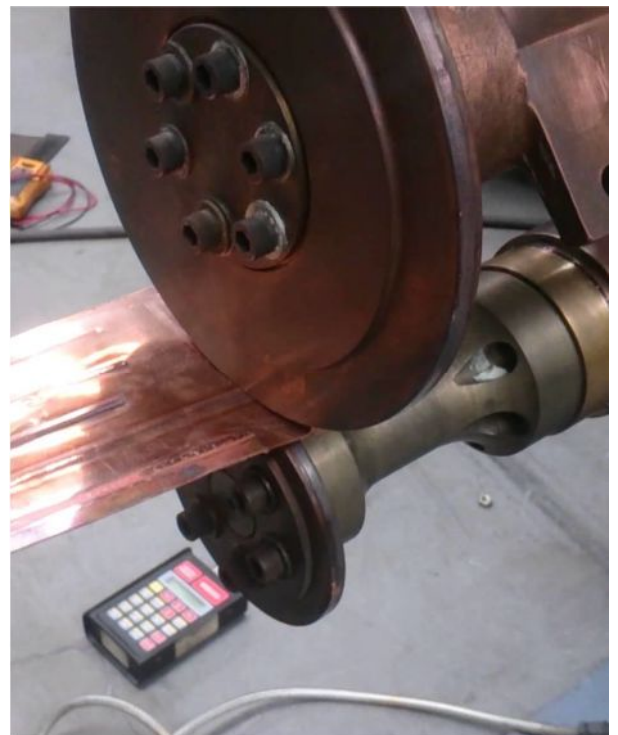
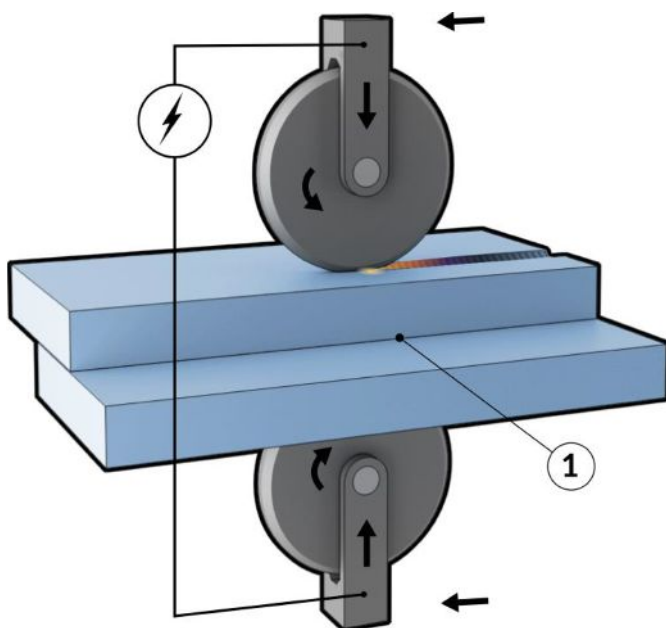
- zakres temperatur 1100-1500 C,
- mały docisk i duża gęstość prądu,
- materiały: stale węglaste i stopowe, miedź, aluminium i ich stopy,
- zdolność osiowa 70-100% wytrzymałości zgrzewanych materiałów.

Zastosowanie:

- łączenie przekrojów zwartych (okrągłych, kwadratowych, i zbliżonych do nich) o powierzchni 0,05-2000 mm² (najczęściej do 200 mm²)
- łączenie rur (do średnicy 40mm)
- łączenie elementów i ogniw ładowanych.

Zgrzewanie liniowe

Zgrzewanie liniowe przerywane przerywany przepływ prądu przy stałym obrocie elektrod krótkowych. Grubo zgrzewanych elementów nie przekracza na ogół 3 mm. Można zgrzewać stale węglaste i stopowe oraz metale nieżelazne.



Parametry:

- siła docisku elektrod,
- natężenie prądu zgrzewania,
- czas przepływu prądu zgrzewania
- czas przerw w przepływie prądu,
- prędkość zgrzewania

Zgrzewanie garbowe

Łączenie elementów w miejscach specjalnych występów technologicznych garbów). Mogą to być fragmenty łączonych elementów, np. krawędzie otworu. Zgrzewanie garbowe umożliwia łączenie elementów metalowych, dla których zgrzewanie punktowe byłoby trudne lub niemożliwe. Przepływ prądu elektrycznego powoduje stopienie „garbów” i wykonanie w tych miejscach metalicznego połączenia.

Parametry procesu:

- napięcie i natężenie prądu,
- czas zgrzewania,
- siła docisku, oraz
- stabilizacja prądu zgrzewania przy zmianach napięcia zasilania.

