



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



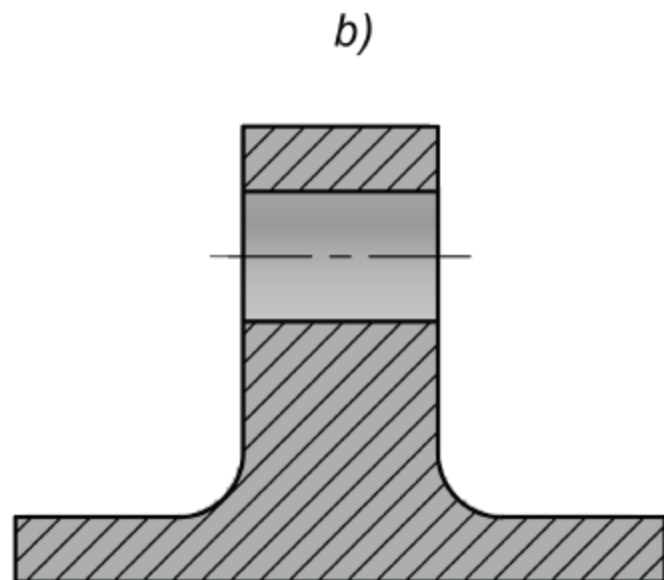
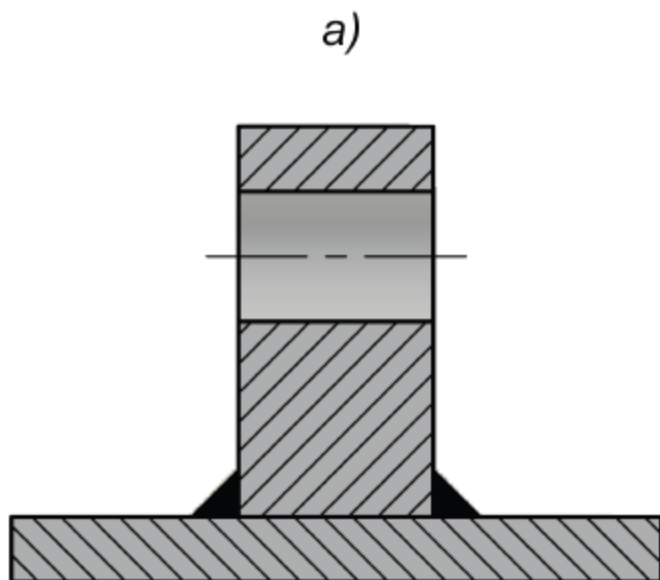
**WYDZIAŁ
BUDOWY MASZYN
I LOTNICTWA**
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Połączenia spawane

dr inż. Michał Batsch

Wprowadzenie

Połączenie spawane uzyskuje się w wyniku zakrzepnięcia mieszaniny przetopionego materiału dodatkowego pręta (spoiwo) i nadtopionych brzegów łączonych elementów. Utworzona spoina jest połączeniem trwałym o wysokiej wytrzymałości. Połączenia spawane pozwalają na uzyskanie stosunkowo skomplikowanych kształtów pomimo niewielkich nakładów.



Wytrzymałość statyczna spoin

Mniejszą wytrzymałość spoiny uwzględnia się poprzez zmniejszenie wartości naprężeń dopuszczalnych dla materiałów łączonych wg wzoru:

$$k' = s_{n,t}k$$

gdzie: k_0 - naprężenia dopuszczalne złącza spawanego, k - naprężenia dopuszczalne dla materiałów łączonych, s_n - współczynnik statycznej wytrzymałości spoiny dla naprężeń normalnych (zginanie, rozciąganie, ściskanie), s_t - współczynnik statycznej wytrzymałości spoiny dla naprężeń stycznych (skręcanie, ścinanie).

Tabela 3.1: Współczynniki statycznej wytrzymałości spoiny pachwinowej

Granica plastyczności R_e , MPa	Wsp. statycznej wytrzymałości spoiny	
	s_n	s_t
$R_e \leq 255$	0.9	0.8
$255 < R_e \leq 355$	0.8	0.7
$355 < R_e \leq 460$	0.7	0.6

Dla spoin czołowych przyjmuje się:

$s_n = 0.8$ dla rozciągania

$s_n = 1$ dla ściskania

$s_n = 0.9$ dla zginania

$s_t = 0.65$ dla ścinania

Wytrzymałość zmęczeniowa spoin

W przypadku połączeń spawanych obciążonych dynamicznie naprężenia dopuszczalne oblicza się wg wzoru:

$$k' = s_{zm} s_{n,t} k$$

w którym oprócz współczynnika statycznej wytrzymałości spoiny $s_{n,t}$ uwzględniającego rodzaj obciążenia występuje również współczynnik obciążeń zmiennych s_{zm} .

Współczynnik ten wyraża się zależnością:

$$s_{zm} = \begin{cases} \frac{c}{a - bR} & \text{dla } |\sigma_{max}| \geq |\sigma_{min}| \\ \frac{c}{b - aR} & \text{dla } |\sigma_{max}| < |\sigma_{min}| \end{cases}$$

gdzie R to współczynnik asymetrii cyklu, a współczynniki a , b , c dobiera się z tabeli na podstawie gatunku stali, stopnia nasilenia karbu oraz liczby cykli obciążenia. W szczególnych przypadkach, przy dużej asymetrii cyklu współczynnik ten może być większy od jedności, wówczas przyjmuje się $s_{zm} = 1$.

Wytrzymałość zmęczeniowa spoin

Tabela 3.2: Parametry do wyznaczania współczynnika obciążeń zmiennych [6]

Stal	Stopień nasilenia karbu	a	b	c				
				Liczba cykli ponad ... do, mln				
				0.2 ... 0.5	0.5 ... 1.0	1.0 ... 2.0	2.0 ... 3.0	3.0 ...
S235JR S235JRG2	1	1.20	0.60	1.2	1.1	1.0	0.95	0.90
	2	1.30	0.70					
	3	1.55	0.95	1.3	1.0	0.95	0.90	
	4	1.85	1.25					
	5	2.10	1.50					
	6	2.75	2.15	1.4	1.2	0.85		
	7	3.50	2.15					
	8	4.80	4.20					
S355JR S355J0	1	1.25	0.65	1.2	1.1	1.0	0.95	0.90
	2	1.45	0.85					
	3	1.80	1.20	1.4	1.2	1.0	0.95	0.90
	4	2.40	1.80					
	5	2.75	2.15					
	6	3.80	3.20	1.6	1.3	0.85		
	7	4.80	4.20					
	8	6.00	5.40					

Wytrzymałość zmęczeniowa spoin

Tabela 3.3: Wybrane stopnie nasilenia karbu (na podstawie [6])

Opis karbu	Stopień nasilenia karbu
Spoina czołowa:	
– obrabiana	2
– nieobrabiana	4
Spoina K w połączeniu krzyżowym:	
– obrabiana	4
– nieobrabiana	7
Spoina pachwinowa w połączeniu zakładkowym	8

Spoin czołowa

Przekrój spoiny to:

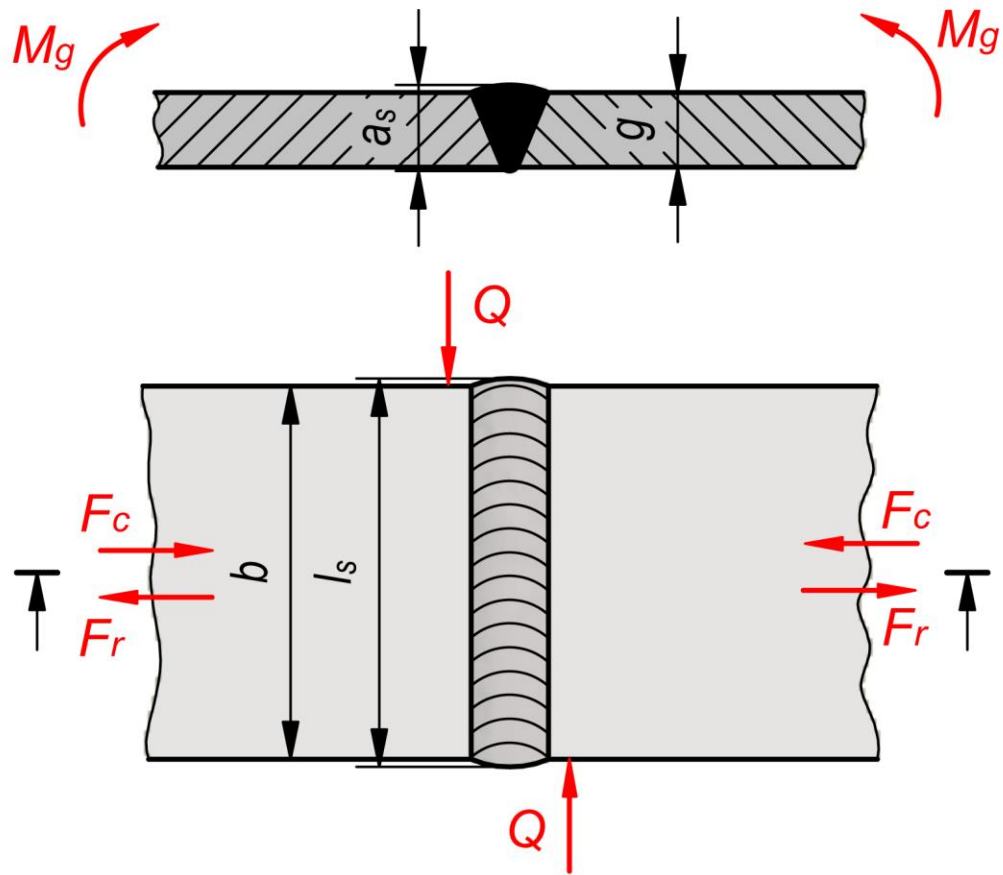
$$A_s = a_s l_s$$

Do obliczeń natomiast przyjmuje się obliczeniowy przekrój spoiny

$$A_o = bg$$

Zgodnie z powyższym rysunkiem w spoinie czołowej mogą występować naprężenia:

- rozciągające $\sigma'_r = \frac{F_r}{bg} \leq k'_r$
- ściskające $\sigma'_c = \frac{F_c}{bg} \leq k'_c$
- ścinające $\sigma'_t = \frac{Q}{bg} \leq k'_t$
- gnące $\sigma'_g = \frac{M_g}{W_x} \leq k'_g$, gdzie $W_x = \frac{bg^2}{6}$ to wskaźnik wytrzymałości przekroju na zginanie.



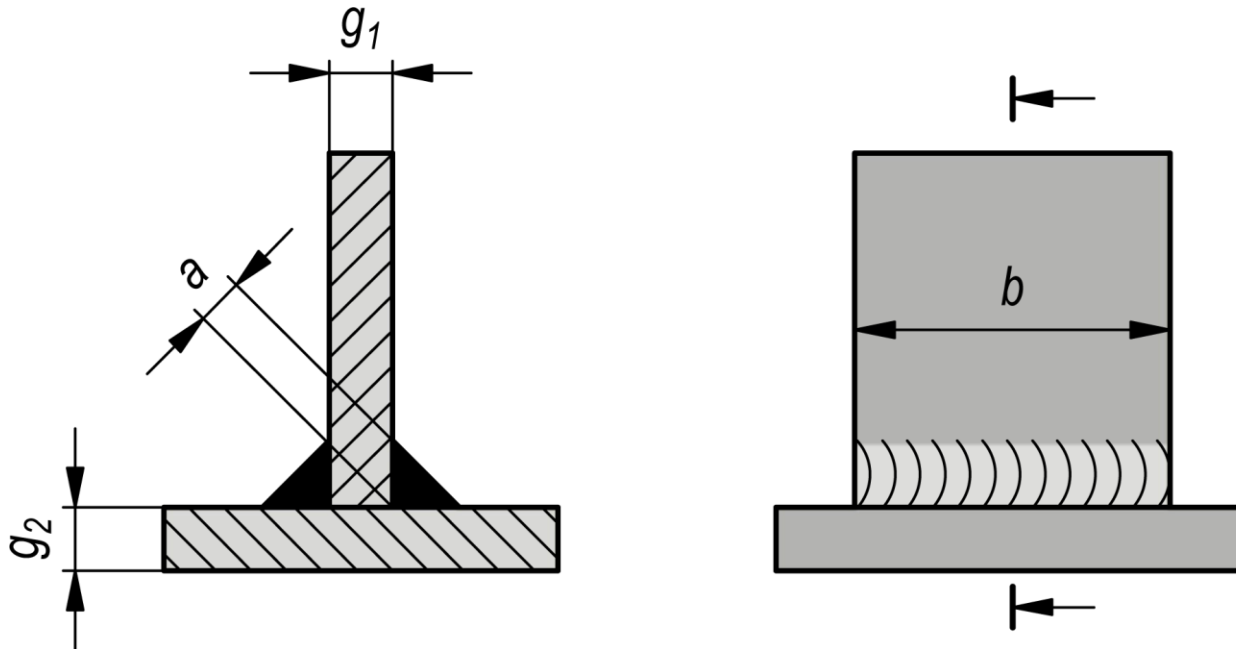
Spoin pachwinowa

Grubość spoiny dobiera się z zależności:

$$a = 0,7g_{min}$$

gdzie $g_{min} = \min(g_1; g_2)$ to najmniejsza grubość łączonych elementów. Ponadto grubość spoiny powinna spełniać warunki: $a \geq 2\text{mm} \wedge a \in \mathbb{N}$. Dla jednej spoiny przekrojem obliczeniowym jest prostokąt o wysokości a i długości b , którego pole dane jest wzorem:

$$A_o = ab$$



Spoin pachwinowa

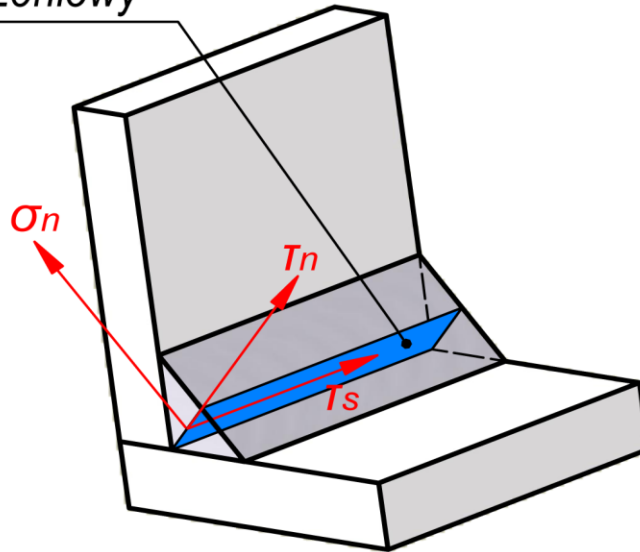
Zgodnie z Hipotezą Hubera:

$$\sigma_{red} = X \sqrt{\sigma_n^2 + 3(\tau_n^2 + \tau_s^2)} \leq k$$

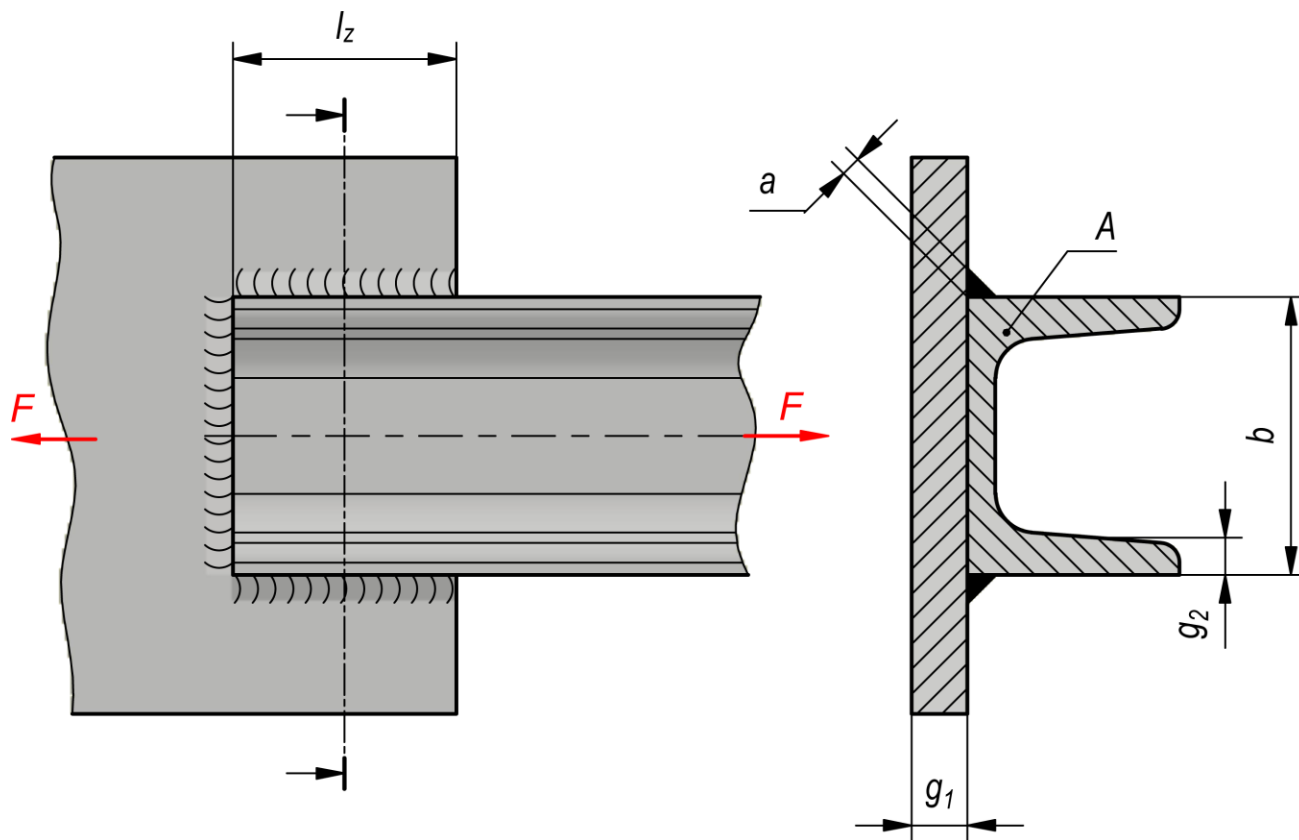
gdzie:

- $X = 0.7$ dla $R_e \leq 255 \text{MPa}$,
- $X = 0.85$ dla $255 \text{MPa} < R_e \leq 355 \text{MPa}$,
- $X = 1$ dla $355 < R_e \leq 460 \text{MPa}$.

przekrój obliczeniowy



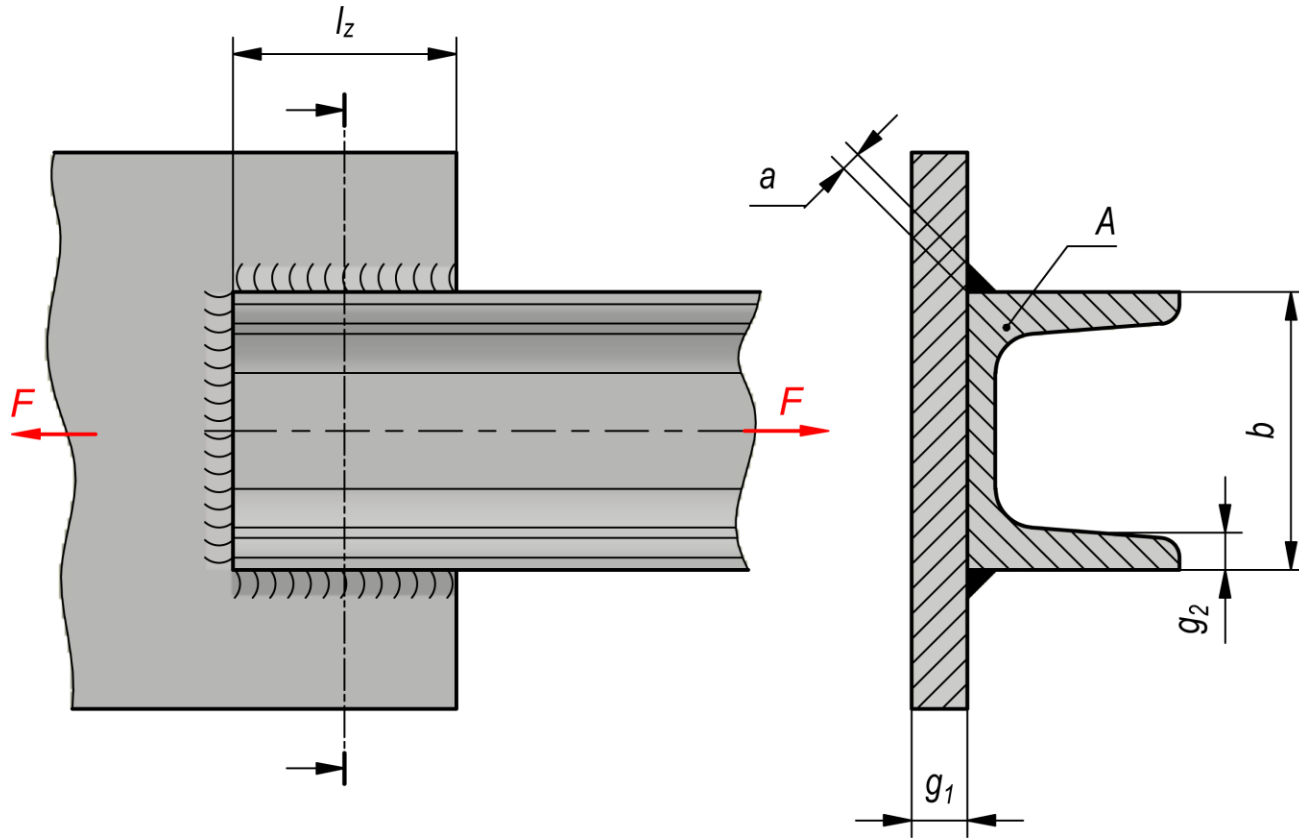
Połączenie zakładkowe - ceownik



Znany jest przekrój ceownika A oraz naprężenia dopuszczalne materiału elementów łączonych. Nośność ceownika wyrażona poprzez maksymalną siłę jaką może być on obciążony dana jest wzorem:

$$F = Ak_r$$

Połączenie zakładkowe - ceownik



Podobnie nośność spoiny:

$$F = A_s k'_t$$

gdzie $A_s = (2l_z + b)a$ jest polem przekroju spoiny. Przyrównując do siebie nośność ceownika i spoiny uzyskuje się równanie:

$$(2l_z + b)ak'_t = Ak_r$$

Połączenie zakładkowe - ceownik

Przykład 3.1. Sprawdzić nośność spoiny pachwinowej w połączeniu zakładkowym obciążonym stałą siłą $F = 40000$ N, gdzie: $l_z = 150$ mm, $b = 40$ mm, $a = 10$ mm. Przyjąć, że łączone elementy są wykonane ze stali S235JR, dla której $k_t = 75$ MPa.

Najpierw oblicza się pole przekroju spoiny $A_s = (2l_z + b)a = 3400$ mm². Następnie, przyjmując z tabeli 3.1 współczynnik statycznej wytrzymałości spoiny pachwinowej $s_t = 0.8$ wyznacza się naprężenia dopuszczalne jako $k'_t = s_t k_t = 60$ MPa. Ostatecznie sprawdzany jest warunek wytrzymałościowy $F/A_s \approx 12$ MPa $\leq k'_t = 60$ MPa ■

Połączenie zakładkowe - kątownik

Podobnie jak w przypadku ceownika znany jest przekrój kątownika A oraz naprężenia dopuszczalne materiału elementów łączonych. Nośność kątownika dana jest wzorem:

$$F = Ak_r$$

Podobnie nośność spoiny:

$$F = A_s k'_t$$

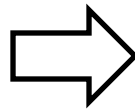
gdzie:

$$A_s = (l_{z1} + l_{z2})ak'_t$$

jest polem przekroju spoiny. Nośność poszczególnych spoin natomiast wyrażona jest zależnościami:

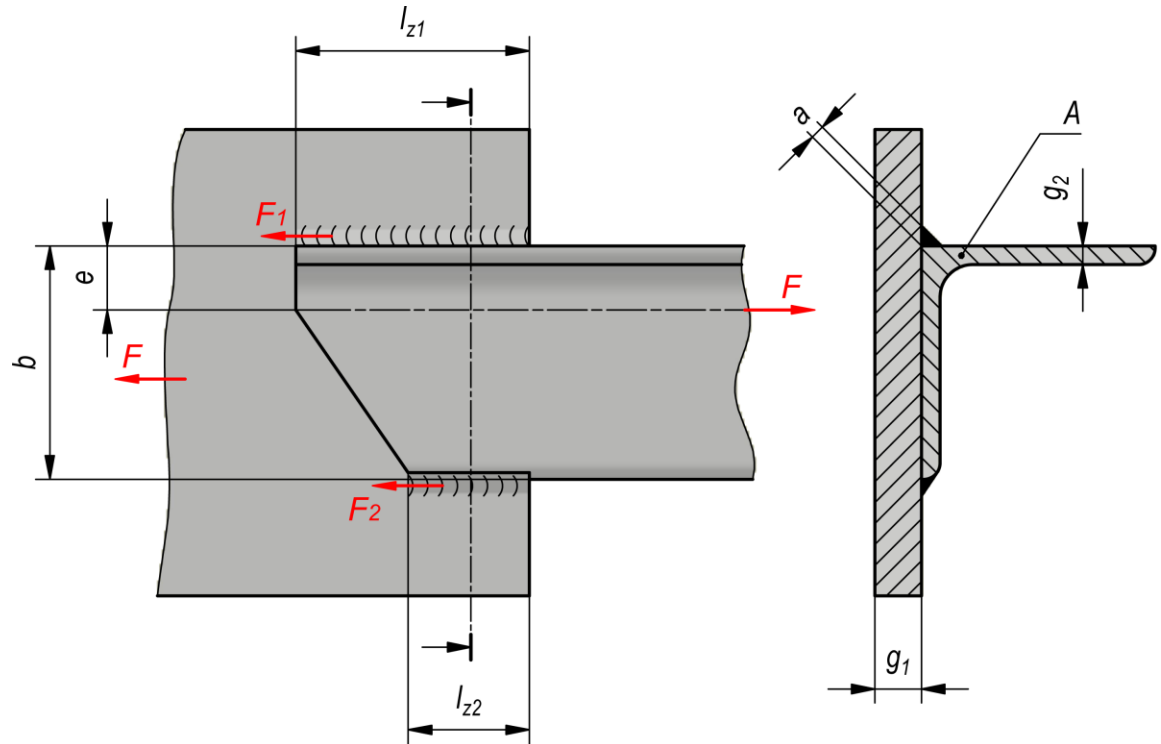
$$F_1 = al_{z1}k'_t$$

$$F_2 = al_{z2}k'_t$$



$$F_1 e = F_2 (b - e)$$

$$l_{z1} e = l_{z2} (b - e)$$



Połączenie nakładkowe

Dwa płaskowniki połączone są spoiną czołową oraz nakładkami poprzez spoiny pachwinowe. Obciążenie F przenoszone jest przez nakładki oraz spoinę czołową. Przyjmując równość nośności płaskowników oraz nakładek i spoiny czołowej można zapisać równanie:

$$Ak_r = k'_r(A + A_n)$$

gdzie: $A = bg$ - to przekrój spoiny czołowej, $A_n = 2b_n g_n$ - to przekrój dwóch nakładek. Przyjmując, że:

$$k'_r = 0,8k_r$$

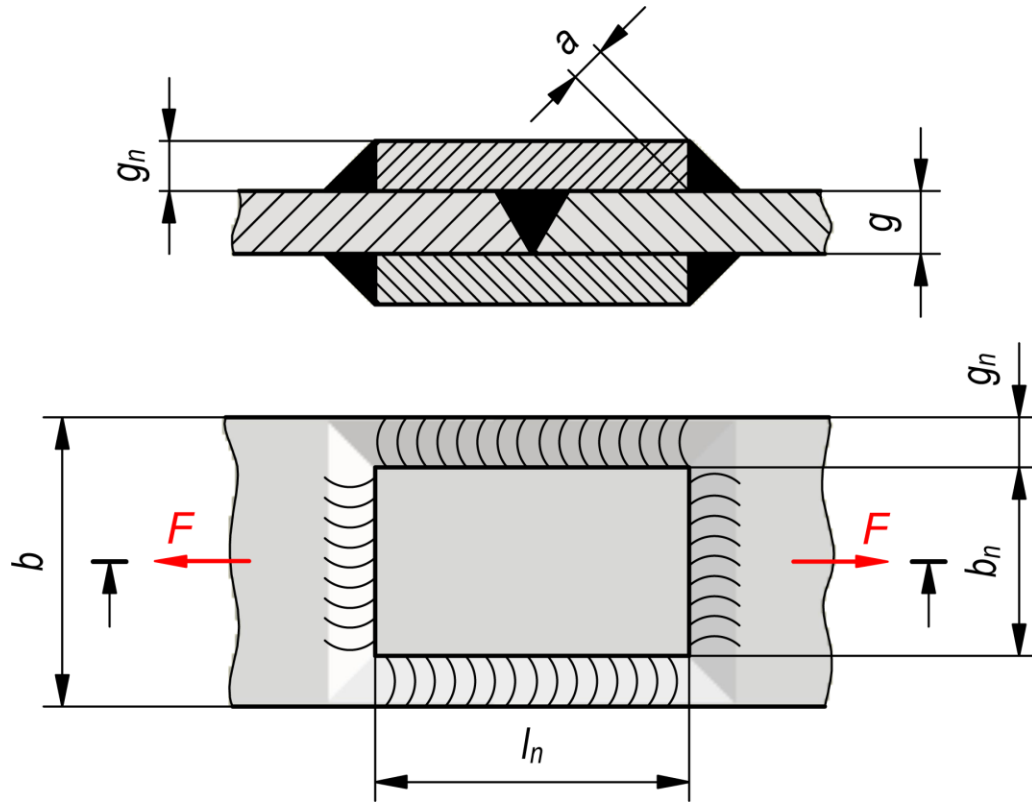
można uzyskać zależność: $A_n = 0.25A$

Uwzględniając zależności geometryczne z rysunku, szerokość nakładki wyraża się wzorem:

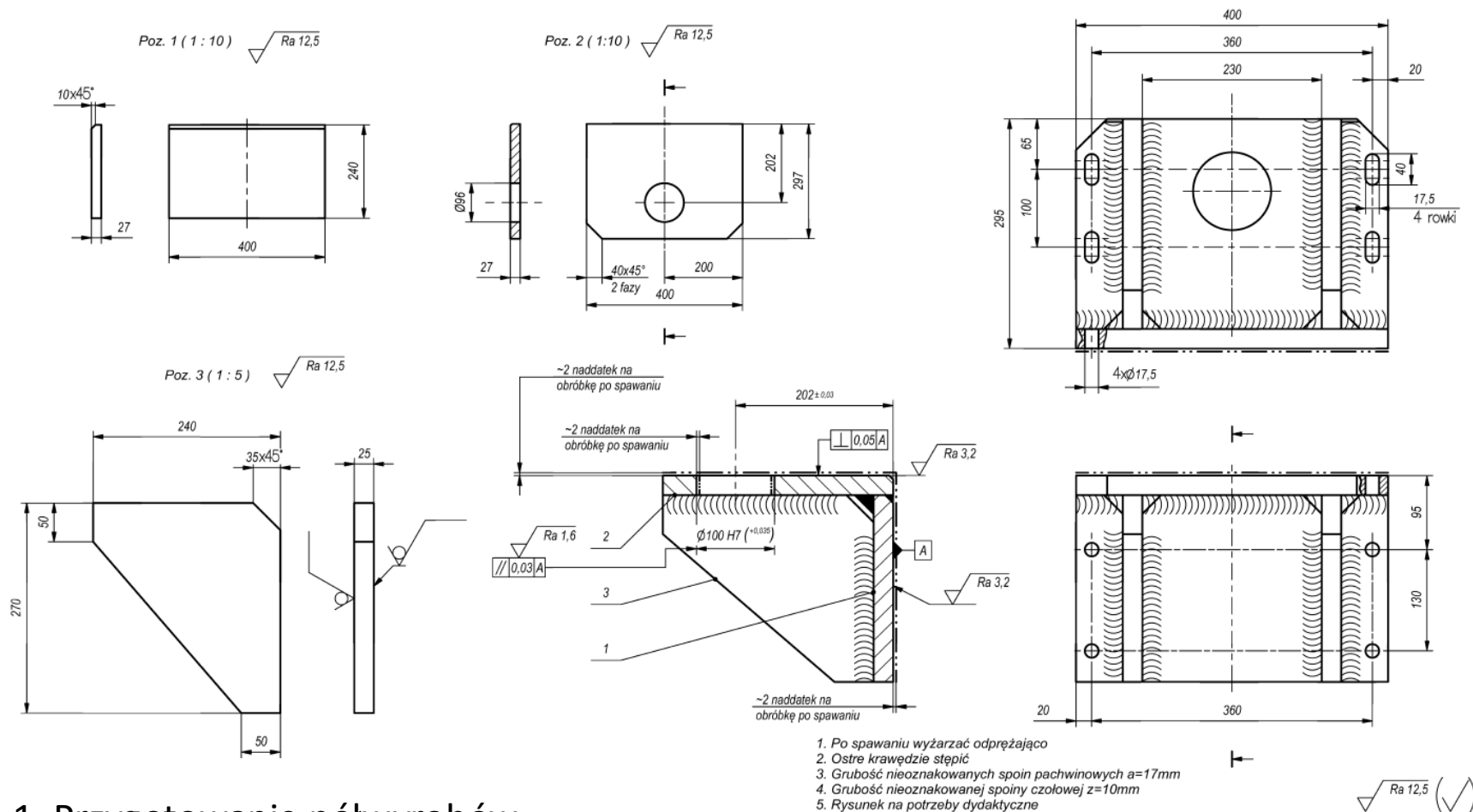
$$b_n = b - 2g_n$$

Długość nakładki l_n z kolei wyznacza się z warunku jednakowej nośności nakładek i spoiny pachwinowej mocującej nakładki ($A_s = 2(l_n + b_n)a$):

$$A_n k_r = A_s k'_t$$




Przykład konstrukcji spawanej



1. Przygotowanie półwyrobów
2. Spawanie
3. Wyżarzanie odprężające
4. Obróbka wykończeniowa.

1. Po spawaniu wyżarzać odprężająco
2. Ostre krawędzie stępić
3. Grubość nieoznakowanych spoin pachwinowych $a=17\text{mm}$
4. Grubość nieoznakowanej spoiny czołowej $z=10\text{mm}$
5. Rysunek na potrzeby dydaktyczne

Nr poz.	Nazwa części	Materiał	Sztuk	Nr normy lub rys.	Uwagi
3	Żebro	S235JR	2		
2	Płyta	S235JR	1		
1	Płyta	S235JR	1		
Projektował: Michał Batsch		16.03.2020	Podziałka:	Materiał:	Masa:
Rysował: Michał Batsch		16.03.2020	1:5	S235JR	61kg
Sprawdził:			Format:	Arkusz:	
Zatwierdził:			A3	/1	
 Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Katedra Konstrukcji Maszyn			Wspornik Numer rysunku: PKM-00-00-11		Liczba sztuk: 1 Poz.: 11



**POLITECHNIKA
RZESZOWSKA**
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



**WYDZIAŁ
BUDOWY MASZYN
I LOTNICTWA**
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

Dziękuję za uwagę!

dr inż. Michał Batsch