



# Podstawy Konstrukcji Maszyn

## Wykład 13

### Połączenia spawane

Dr inż. Jacek Czarnigowski



## Połączenia w konstrukcji maszyn

### Połączenia

	Rozłączne	Nierozłączne
Pośrednie	Kształtowe: - wpustowe, - klinowe, - kołkowe	Nitowe
Bezpośrednie	Kształtowe: - wielokątne, - wielowypustowe, - śrubowe.	Spawane Zgrzewane Klejone

## Połączenia spawane

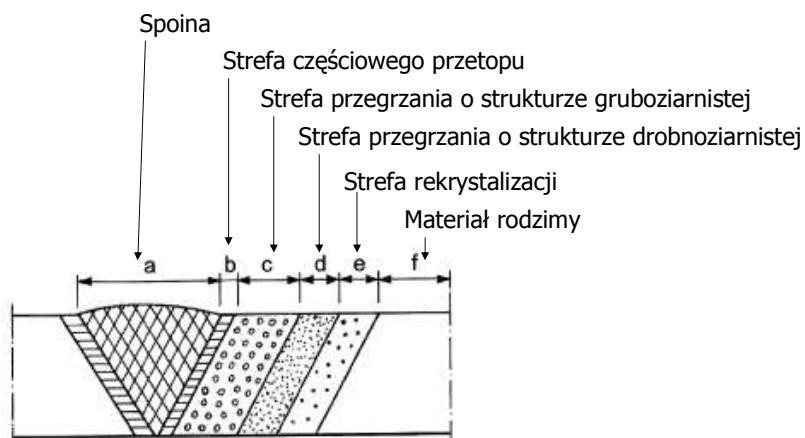
**Złącze spawane** jest połączeniem materiałów powstałym przez ich miejscowe stopienie.

Występuje w procesie łączenia metali (głównie stali) oraz tworzyw sztucznych.



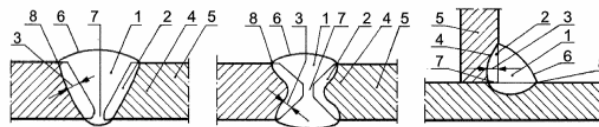
## Połączenia spawane

### Obszary spoiny



## Połączenia spawane

### Elementy spoiny



1 - spoina

2 - stopiony materiał rodzimy

3 - głębokość wtopienia

4 - strefa wpływu ciepła

5 - materiał rodzimy

6 - lico spoiny

7 - grań spoiny

8 - brzeg spoiny

## Połączenia spawane

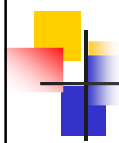
### Wady i zalety

#### Zalety:

- Łatwość i szybkość wykonania
- Prosta konstrukcja: brak elementów dodatkowych, mała masa
- Możliwość pełnej automatyzacji

#### Wady:

- Problemy ze spawaniem niektórych materiałów
- Dodatkowe naprężenia i odkształcenia
- Konieczna wykwalifikowana kadra
- Konieczne specjalistyczne urządzenia



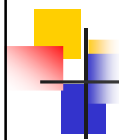
## Połączenia spawane

### Spawalność

**Spawalność** to, podatność materiału do tworzenia się złączy spawalniczych spełniających wymogi konstrukcyjne i technologiczne bez wykonywania dodatkowych zabiegów.

W przypadku metali żelaznych (stale, staliwa, żeliwa) spawalność zależy od zawartości węgla. Materiał jest dobrze spawalny gdy **C<0.25%**.

W przypadku metali kolorowych oraz tworzyw sztucznych głównym czynnikiem jest podatność na utlenianie w wysokich temperaturach. Stąd większość tych materiałów jest trudno spawalna i wymaga osłony gazowej.



## Połączenia spawane

### Rodzaje spoin

Ze względu na przeznaczenie:

**Nośne**  
– przenoszą obciążenia

**Pomocnicze**  
– nie przenoszą obciążenia

**Szczepne**

**Napawane**

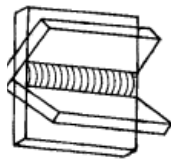
**Uszczelniające**

## Połączenia spawane

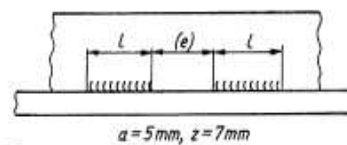
### Rodzaje spoin

Ze względu na sposób wykonania:

**Ciągłe**



**Przerywane**



## Połączenia spawane

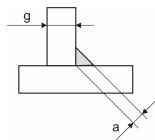
### Rodzaje spoin

Ze względu na konstrukcję:

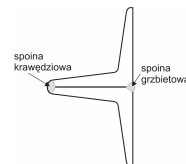
**Czołowe**



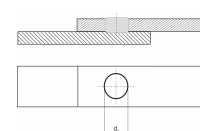
**Pachwinowa**



**Brzegowa**



**Otworowa**

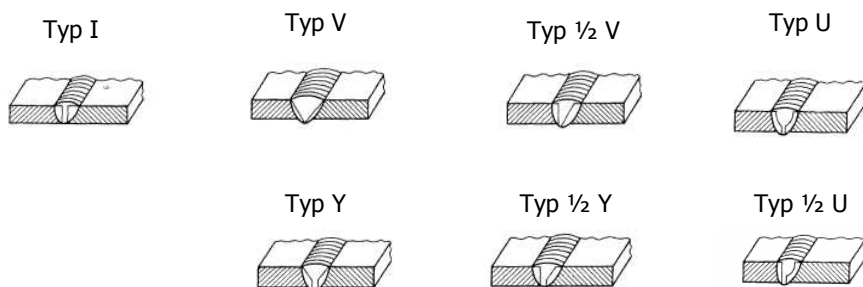


## Połączenia spawane

### Rodzaje spoin czołowych

Ze względu na kształt przygotowanych elementów do spawania:

**Jednostronne** (stosowane do spawania elementów cienkich < 10mm):

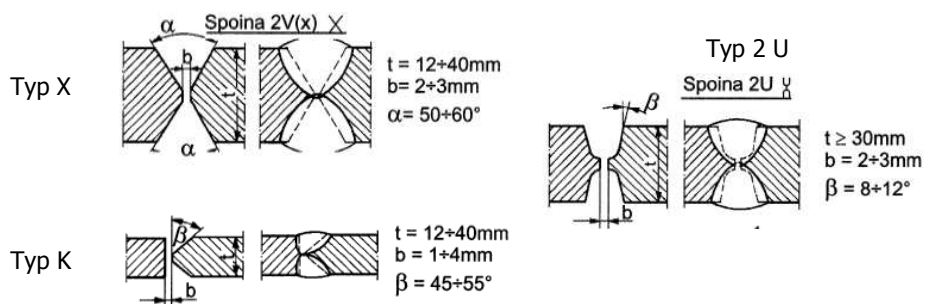


## Połączenia spawane

### Rodzaje spoin czołowych

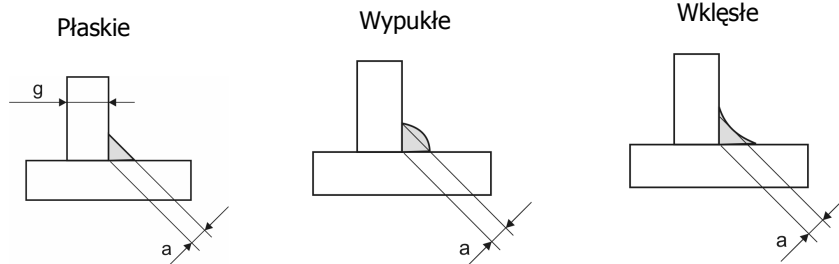
Ze względu na kształt przygotowanych elementów do spawania:

**Dwustronne** (stosowane do spawania elementów grubych > 10mm):



## Połączenia spawane

### Rodzaje spoin pachwinowych



## Połączenia spawane

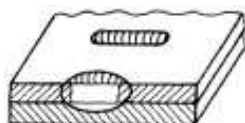
### Rodzaje spoin brzegowych



## Połączenia spawane

### Rodzaje spoin otworowych

Otworowa



Punktowa



Liniowa

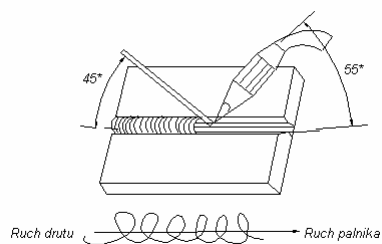


## Połączenia spawane

### Metody spawania:

#### Spawanie gazowe

Źródłem ciepła do przetopienia elementów jest płomień spalania acetyleny (temperatura do 3200°C). Konieczne jest dostarczenie dodatkowego spoiwa.





## Połączenia spawane

### Metody spawania:

Spawanie elektryczne

Źródłem ciepła jest łuk elektryczny (temperatura do 3500°C). Spoiwo może stanowić element elektrody lub być dostarczane dodatkowo.

**Spawanie łukiem swobodnym**

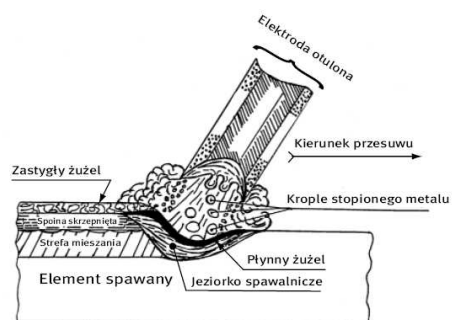
**Spawanie łukiem krytym**

**Spawanie w osłonie gazowej**

## Połączenia spawane

### Metody spawania:

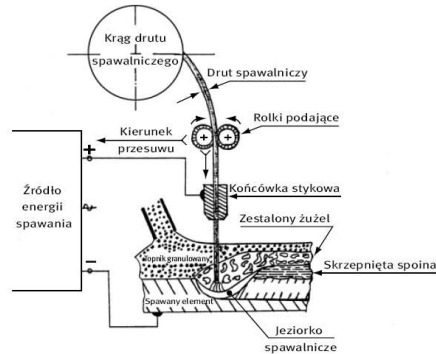
**Spawanie łukiem swobodnym** – łuk jarzy się między elementem a elektrodą. Często stosuje się elektrody otulone.



## Połączenia spawane

### Metody spawania:

**Spawanie łukiem krytym** – łuk jarzy się między elementem a elektrodą ale jest „schowany” pod warstwą topnika.



## Połączenia spawane

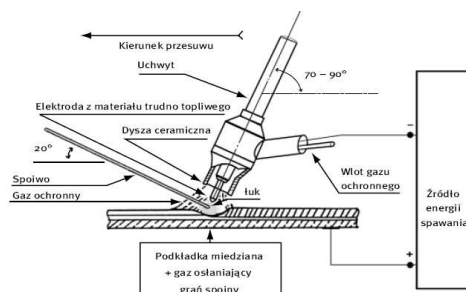
### Metody spawania:

**Spawanie w osłonie gazowej** – łuk jarzy się między elementem a elektrodą w osłonie gazów wypływających z dyszy. Elektroda nie zawsze jest spoiwem.



**TIG** – elektroda wolframowa gaz obojętny (Argon)

**MAG** – elektroda ze spoiny gaz aktywny ( $\text{CO}_2$ )

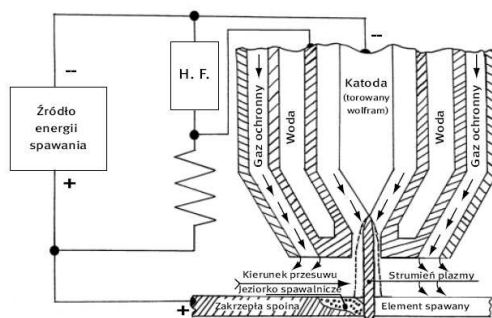
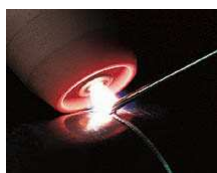


**MIG** – elektroda ze spoiny gaz obojętny (Argon)

## Połączenia spawane

### Metody spawania:

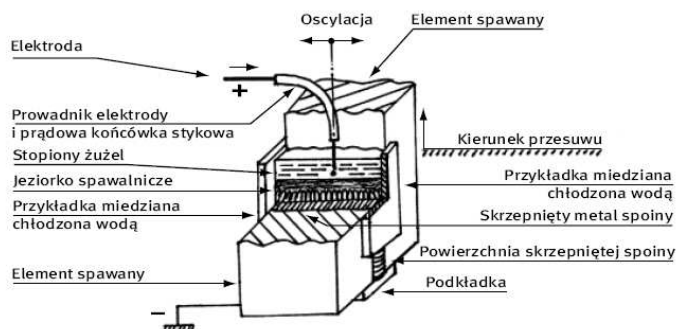
**Spawanie plazmowe** – łuk jarzy się między dwoma elektrodami w celu utworzenia plazmy która w osłonie gazów wypływających z dyszy rozgrzewa elementy łączone. Spoiwo jest dostarczane oddzielnie.



## Połączenia spawane

### Metody spawania:

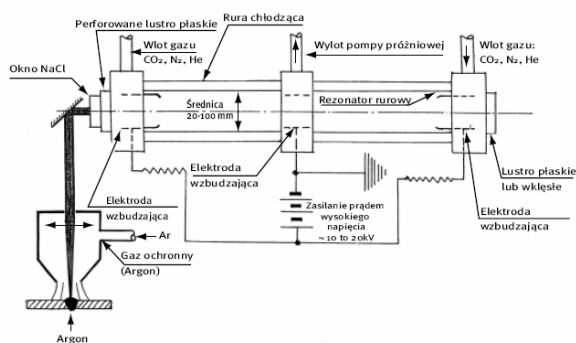
**Spawanie elektrożuźlowe** – łuk jarzy się między elektrodą a elementem łączonym tylko na początku spawania. Potem elektroda zanurzana jest w jeziorku stopionego metalu a przepływ prądu grzeje ten obszar „rezystancyjnie”. Przeznaczone dla łączenia pionowych grubych elementów.



## Połączenia spawane

### Metody spawania:

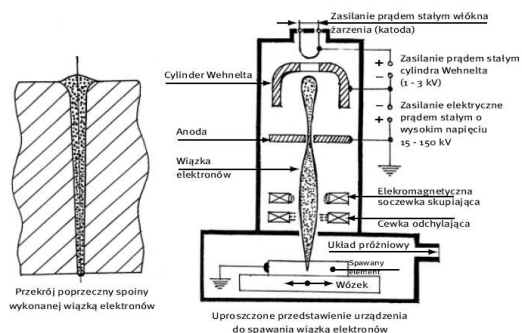
**Spawanie laserowe** – podobne do spawania plazmowego. Źródłem ciepła jest promień lasera. Spawanie odbywa się w osłonie gazu obojętnego (Argon).



## Połączenia spawane

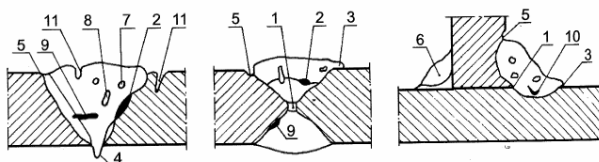
### Metody spawania:

**Spawanie elektronowe** – energię dostarcza skoncentrowana wiązka elektronów. Można wykonać głębokie i wąskie spoiny (20:1) z szybkością 20m/min. Spawanie odbywa się w próżni co eliminuje zanieczyszczenie jeziora spawalniczego.



## Połączenia spawane

### Wady spoin



- 1 – brak przetopu grani
- 2 – brak wtopienia spoiwa w metal rodzimy
- 3 – nawis wynikający z nieprzetopienia krawędzi metalu
- 4 – wyciek stopiwa po stronie grani
- 5 – podtopienie w formie karbu
- 6 – krater na powierzchni spoiny
- 7,8 – pęcherze gazowe
- 9 – wtrącenia żużlowe
- 10,11 – pęknięcia

## Połączenia spawane

### Naprężenia w spoinach

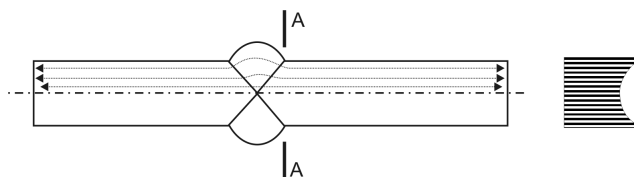
W spoinach występuje spiętrzenie naprężeń wynikające z:

Karbu mechanicznego (lokalna zmiana kształtu przedmiotu)

Karbu strukturalnego (lokalna zmiana struktury materiału)

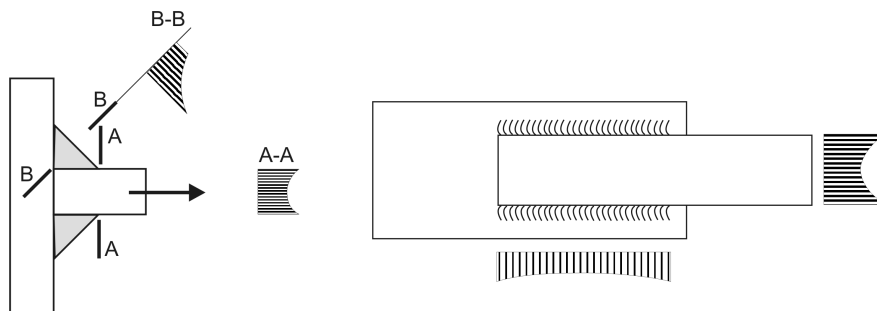
Wad spawalniczych

Dodatkowe naprężenia spawalnicze



## Połączenia spawane

### Naprężenia w spoinach

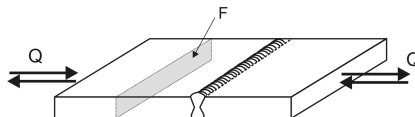


## Połączenia spawane

### Naprężenia w spoinach czołowych

Spoina czołowa pracuje tak jak materiał rodzimy

Rozciąganie, ściskanie



$$\sigma_r' = \frac{Q}{F} \leq k_r'$$

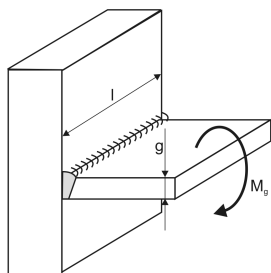
$$\sigma_c' = \frac{Q}{F} \leq k_c'$$

Pole spoiny = polu przekroju elementów łączonych

## Połączenia spawane

### Naprężenia w spoinach czołowych

Zginanie



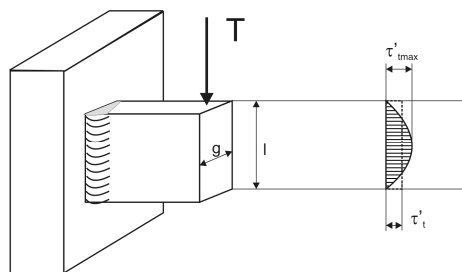
$$\sigma_g' = \frac{M_g}{W_x} \leq k_g'$$

Wskaźnik przekroju = wskaźnikowi przekroju elementów łączonych

## Połączenia spawane

### Naprężenia w spoinach czołowych

Ścinanie



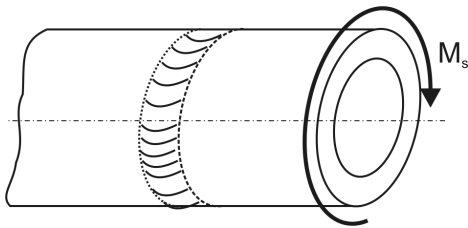
$$\tau_t' = \frac{T}{F} \leq k_t'$$

Pole przekroju = pole przekroju elementów łączonych

## Połączenia spawane

### Naprężenia w spoinach czołowych

Skrećanie



$$\tau_s' = \frac{M_s}{W_o} \leq k_s'$$

Wskaźnik przekroju = wskaźnik przekroju elementów łączonych

## Połączenia spawane

### Naprężenia w spoinach czołowych

Naprężenia zastępcze

Obliczane są z hipotezy Hubera

$$\sigma_z' = \sqrt{\sigma_w'^2 + 3 \cdot \tau_w'^2} \leq k_x'$$

$$\tau_z' = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot \sigma_w'^2 + \tau_w'^2} \leq k_x'$$

Wypadkowe  
naprężenia  
normalne

Wypadkowe  
naprężenia  
styczne

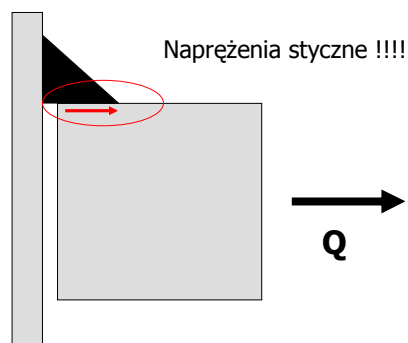
Naprężenia dopuszczalne  
na przeważające  
obciążenie



## Połączenia spawane

### Napężenia w spoinach pachwinowych

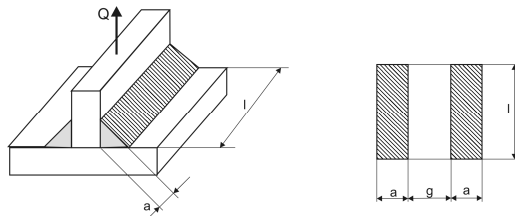
Spoina czołowa pracuje tylko na **ściananie**



## Połączenia spawane

### Napężenia w spoinach pachwinowych

Rozciąganie, ściskanie



$$\tau_r' = \frac{Q}{F} \leq k_t'$$

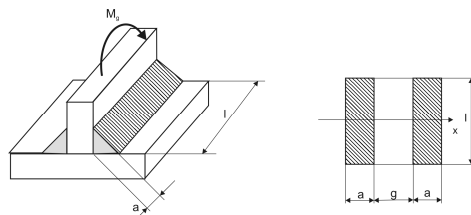
$$\tau_c' = \frac{Q}{F} \leq k_t'$$

Pole spoiny = pole obrysu przedmiotu – grubość „ramki” = a

## Połączenia spawane

### Naprężenia w spoinach pachwinowych

Zginanie



$$\tau_g' = \frac{M_g}{W_x} \leq k_t'$$

Wskaźnik spoiny = wskaźnik obrysu przedmiotu – grubość „ramki” = a

## Połączenia spawane

### Naprężenia w spoinach pachwinowych

Ścinanie

$$\tau_t' = \frac{Q}{F} \leq k_t'$$

Pole spoiny = pole obrysu przedmiotu – grubość „ramki” = a



## Połączenia spawane

### Naprężenia w spoinach pachwinowych

Skrećanie

$$\tau_s' = \frac{M_s}{W_o} \leq k_t'$$

Wskaźnik spoiny = wskaźnik obrysu przedmiotu – grubość „ramki” = a



## Połączenia spawane

### Naprężenia w spoinach pachwinowych

Naprężenia wypadkowe = wypadkowa geometryczna naprężeń

$$\tau_z' = \sqrt{\tau_x'^2 + \tau_y'^2 + \tau_z'^2} \leq k_t'$$

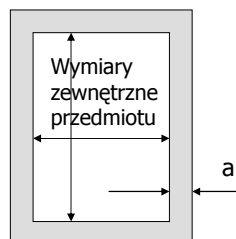
Zawsze naprężenia na ścianie

## Połączenia spawane

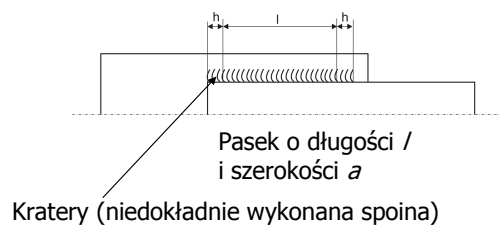
### Naprężenia w spoinach pachwinowych

Wymiary spoin pachwinowych:

**Spoina dookolna:**



**Spoina częściowa:**



$$h = (0,5 \div 0,75) \cdot a$$

## Połączenia spawane

### Naprężenia dopuszczalne

Spoina powinna być wykonana tym samym materiałem co łączone elementy.

Naprężenia dopuszczalne obliczane są na podstawie wytrzymałości materiału rodzimego.

**Obciążenia stałe:**  $k_x' = s \cdot k_r$

Rozciąganie  $s = 0,8$

Ściskanie, zginanie  $s = 1,0$

Ścinanie, skręcanie  $s = 0,6$

## Połączenia spawane

### Naprężenia dopuszczalne

Obciążenia zmienne:

$$k_x' = m \cdot s \cdot k_r$$

$m$  – współczynnik wpływu zmienności

$$m = \frac{1}{\beta \cdot \frac{R_e}{2 \cdot Z_{rc}} + 0,5 - R \cdot \left( \beta \cdot \frac{R_e}{2 \cdot Z_{rc}} - 0,5 \right)}$$

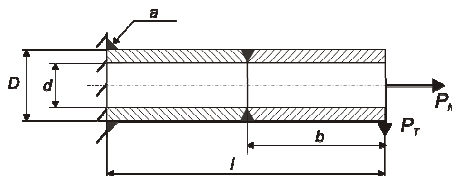
$\beta$  – współczynnik działania karbu

$R$  – współczynnik amplitudy cyklu

## Przykład 14.1

### Połączenia spawane

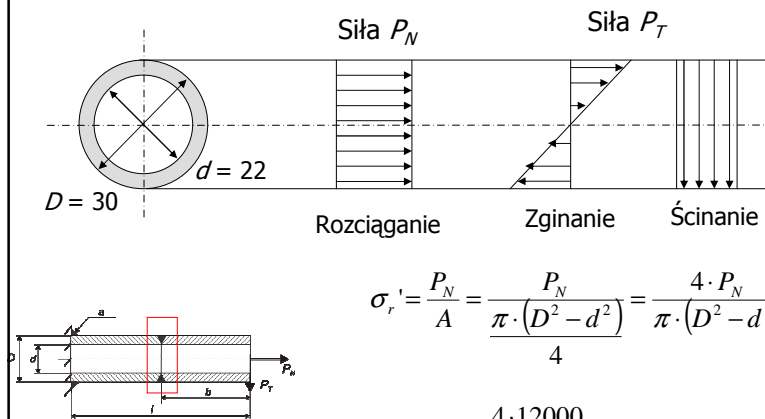
Obliczyć naprężenia maksymalne w spoinach konstrukcji przedstawionej na rysunku:



$D = 30 \text{ mm}$	$P_N = 12 \text{ kN}$
$d = 22 \text{ mm}$	$P_T = 2 \text{ kN}$
$a = 4 \text{ mm}$	$k_r = 200 \text{ MPa}$
$b = 75 \text{ mm}$	
$l = 150 \text{ mm}$	

## Przykład 14.1 Połączenia spawane

Spoina czołowa

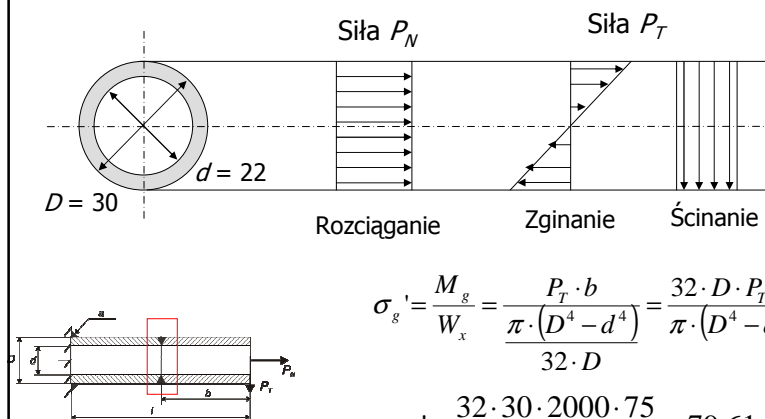


$$\sigma_r' = \frac{P_N}{A} = \frac{P_N}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} = \frac{4 \cdot P_N}{\pi \cdot (D^2 - d^2)}$$

$$\sigma_r' = \frac{4 \cdot 12000}{\pi \cdot (30^2 - 22^2)} = 36,72 \text{ MPa}$$

## Przykład 14.1 Połączenia spawane

Spoina czołowa

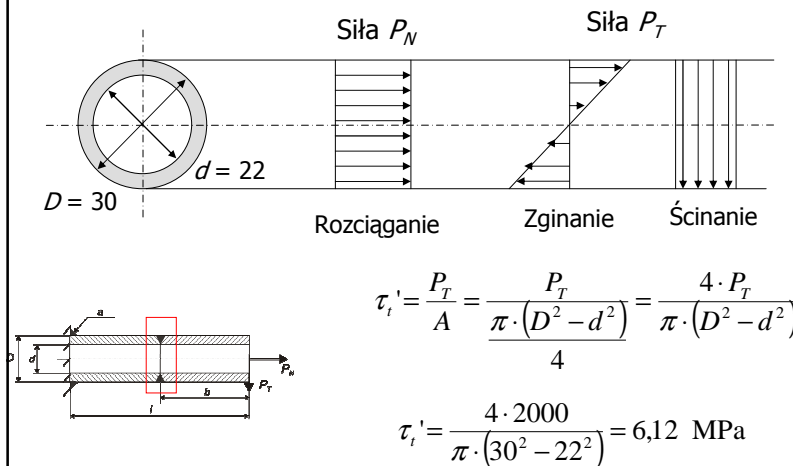


$$\sigma_g' = \frac{M_g}{W_x} = \frac{P_T \cdot b}{\pi \cdot (D^4 - d^4)} = \frac{32 \cdot D \cdot P_T \cdot b}{\pi \cdot (D^4 - d^4)}$$

$$\sigma_g' = \frac{32 \cdot 30 \cdot 2000 \cdot 75}{\pi \cdot (30^4 - 22^4)} = 79,61 \text{ MPa}$$

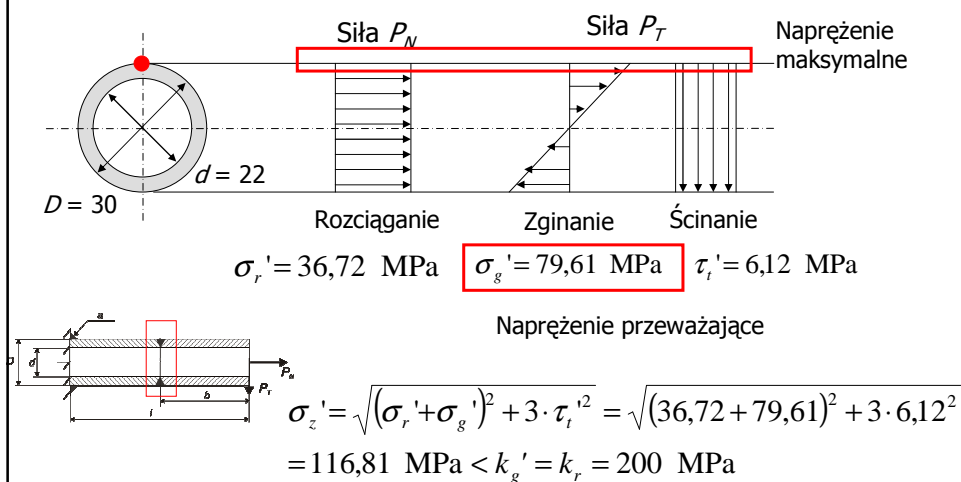
## Przykład 14.1 Połączenia spawane

Spoina czołowa



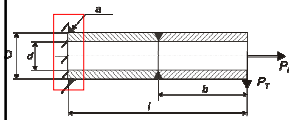
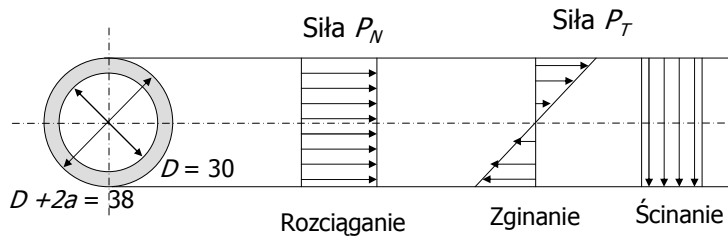
## Przykład 14.1 Połączenia spawane

Spoina czołowa



## Przykład 14.1 Połączenia spawane

Spoina pachwinowa

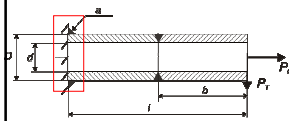
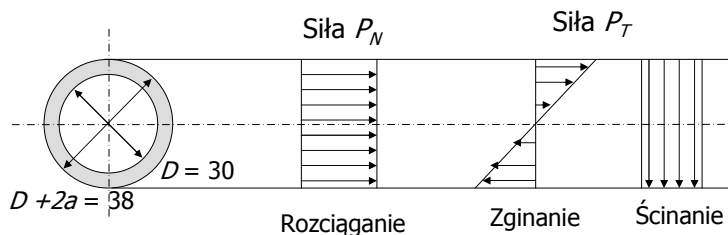


$$\tau_r' = \frac{P_N}{A} = \frac{P_N}{\pi \cdot [(D + 2 \cdot a)^2 - D^2]} = \frac{4 \cdot P_N}{\pi \cdot [(D + 2 \cdot a)^2 - D^2]}$$

$$\tau_r' = \frac{4 \cdot 12000}{\pi \cdot (38^2 - 30^2)} = 28,09 \text{ MPa}$$

## Przykład 14.1 Połączenia spawane

Spoina pachwinowa



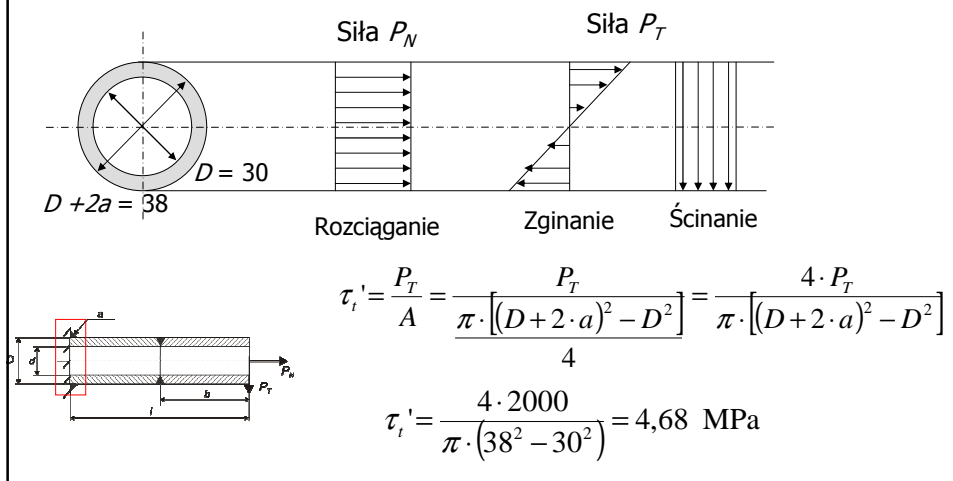
$$\tau_g' = \frac{M_g}{W_x} = \frac{P_T \cdot l}{\pi \cdot [(D + 2 \cdot a)^4 - D^4]} = \frac{32 \cdot (D + 2 \cdot a) \cdot P_T \cdot l}{\pi \cdot [(D + 2 \cdot a)^4 - D^4]}$$

$$\tau_g' = \frac{32 \cdot 38 \cdot 2000 \cdot 150}{\pi \cdot (38^4 - 30^4)} = 91,06 \text{ MPa}$$



## Przykład 14.1 Połączenia spawane

### Spoina pachwinowa



## Przykład 14.1 Połączenia spawane

### Spoina czołowa

