

I. Charakterystyka stali jako materiału konstrukcyjnego. (1)

- * Konstrukcje metalowe
- a) hale przemysłowe
- b) budynki szkieletowe
- c) drogi lotnicze i kolejowe
- d) hamowce
- e) wieże i maszyny
- f) urządzenia górnicze

- * Zalety
- a) cechy materiałowe: wytrzymałość mechaniczna, ciągliwość, sztywność, jednorodność
- b) elementy stalowe wytwarzane są w zakładach przemysłowych pod pełną kontrolą
- c) odzysk materiału

- * Wady
- a) podleganie korozji
- b) mała odporność na pożar

- * Sposoby oszczędności stali
- a) stosowanie stali o wysokich wytrzymałościach
- b) stosowanie przekrojów ekonomicznych lub profili zimnociętych, ciemkościennych

- * Sposoby łączenia
- spawanie, śruby sprężające, klejenie

* Produkcja stali (2)

1. Wytapienie surowki z rudy żelaza
wapienie, kwarc, dolomity
skała płonka

rudy żelaza:

magnetyt	45 ÷ 70% Fe
hematyt	30 ÷ 65% Fe
limonit	25 ÷ 45% Fe
syderyt	30 ÷ 40% Fe

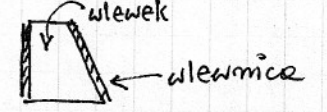
2. Proces wielkopięcowy
wsad: ruda, koks, topniki => surowka

* Skład surowki:

2,5 ÷ 4,5%	C
0,3 ÷ 4,2%	Si
0,2 ÷ 3,0%	Mn
0,1 ÷ 2,0%	P
0,03 ÷ 0,08%	S

3. Proces świeżenia: w piecach martenowskich lub elektrycznych

- Wsad pieca martenowskiego:
- surowka wielkopięcowa
 - żelazo, aluminium, żelazostopy
- wszystko to wlewa się do kadzi



- * Stal uspokojona -> produkowana z dodatkami odgazowującymi tj. aluminium, żelazostopy
- > mięspokojona X
- > półuspokojona Y
- > uspokojona

- * Żelazo -> metal chemicznie lub technicznie czysty
- * Stal -> stop żelaza z węglem (do 2%)

- stal i staliwo do 2% C
 - surowka i żeliwo 2 ÷ 5% C
- * stale węglowe -> stop Fe + C
 - * stale stopowe -> Fe + C + inne
 - miskostopowe, wysokostopowe

- * Nadawanie postaci stali:
- a) w postaci lameli -> staliwo
- b) postać ciągła -> śruby
- c) walcowana -> kształtowniki, blachy
- d) postać kuta

* Nadawanie stanu stali: polega na obróbce cieplnej

- Etapy
- | | |
|------------------------------------|-------------------|
| a) nagrzewanie do optymalnej temp. | a) wygrzewanie |
| b) wyważenie | b) normalizowanie |
| c) chłodzenie | c) ulepszenie |
| | d) surówki |
- Wyważenie może być:
- | | |
|---------------------|--------------------|
| a) ujednorodniające | d) odpężające |
| b) normalizujące | e) rekrytalizujące |
| c) zmiekszające | |

II. Klasyfikacja stali (4)

1. Stal węglowa
- a) wysokowęglowa C > 0,6%
- b) średniowęglowa C = 0,25 ÷ 0,6%
- c) niskowęglowa C < 0,25%

Większa zawartość C to większa wytrzymałość, ale mniejsze własności plastyczne. Stale węglowe nadają się do walcowania, kucia i formowania plastycznego.

- * Obróbka termiczna
- a) stale węglowe wyższej jakości
- b) " " wyższej "
- c) " " najniższej "

2. Stal stopowa

Zawiera oprócz Fe i C inne składniki stopowe. Zawartość co najmniej jednego ze składników musi przekraczać określony wartości.

- stal wysokostopowa -> Σ składników
- stal średniostopowa -> Σ składników 1,5 ÷ 5%
- stal niskostopowa -> Σ składników do 1,5%

W budowlanych konstrukcjach stalowych stosowane są następujące grupy stali: ⑤

a) Stal niskowęglowa konstrukcyjna zwykłej jakości spawalnej
 * Gatunki: St0S, St3SX, St4VX, St3SY, St4VY, St3S, St4V, St4W

> stal St0S → nie ma gwarantowanej granicy plastyczności zawsze w stanie nieuspokojonym

> stal St3 i St4 → są dostarczane w 3 odmianach S, V, W. różnią się zawartością C

St3S - 0,22% C
 St3V - 0,20% C
 St3W - 0,17% C → mało siarki i fosforu

* Stopień uspokojenia stali S, V

> stale nieuspokojone (X)

> " półuspokojone (Y)

> " uspokojone (brak)

b) Stal niskostopowa konstrukcyjna

* Gatunki: 18G2, 18G2A, 18G2AV stale o podwyższonej jakości

G → mangan N₆ - niob
 H → chrom J - aluminium
 V → vanet
 N → nikiel

Liczba początkowa oznacza procentową zawartość C wyrażoną w 0,01% ⑥

Liczba po literze określa zawartość demego składnika w %. Brak liczby oznacza wartość danych pierwiastków do 15%

A → oznacza jakość stali
 A → wyższej jakości

c) Stal węglowa o szczególnym przeznaczeniu

Stal stosowana na rury: R, R35, R45, 12X

Stal gatunku: R → producent nie określa własności mechanicznych, cechy zbliżone do St0S. Nie nadaje się na elementy konstrukcyjne.

R35 → zbliżona do St33

R45 → " " St4V

12X → stal węglowa nieuspokojona, cechy zbliżone do St3SX. Stosowana do produkcji rur ze szwem.

d) Stal o zwiększonej odporności na korozję.

* Gatunki: 10H, 10HA, 10HAV, 10HAVP, 10HNAP
 Nowe gatunki 12H7A, 12PA, 12HNb

e) Stalino

* Gatunki L400, L450, L500

400 → wytrzymałość R_m = 400 kg/mm² L - stalino

(I, II, III) → zwykła, wyższa, najwyższa 0,20 ÷ 0,30%

III. Własności mechaniczne stali ⑦

- a) wytrzymałość
 - b) uderalność
 - c) twardość
 - d) ciągliwość
 - e) kujność
 - f) spawalność
- Własności wytrzymałościowe: a, b, c
 Własności technologiczne: d, e, f

a) wytrzymałość → zdolność do przeniesienia obciążenia statycznego, mierzony za pomocą próby rozciągania

b) uderalność → zdolność do przeniesienia obciążenia pod uderzeniem. mierzony jej pracę potrzebną do złamania jedynym uderzeniem próbki.

c) twardość → względnie opór jaki stawia wmiatanemu przedmiotowi

d) ciągliwość → właściwość pozwalająca na pocięcie, prostowanie, spęcznianie (formowanie na zimno)

e) kujność → zdolność pozwalająca na formowanie stali w temp. białego żelaza.

f) spawalność → właściwość umożliwiająca łączenie elementów ze pomocą spawania (metalurgiczne, technologiczne, konstrukcyjne).

IV Metody wymiarowania konstrukcji metalowych ⑧

- A. metoda naprężeń dopuszczalnych
- B. metoda naprężeń granicznych
 A i B → sprężysty stan konstrukcji
- C. metoda plastycznego wyrównywania naprężeń.
- D. metoda stanów granicznych
 C i D → sprężysto-plastyczny stan konstrukcji

METODA STANÓW GRANICZNYCH

Zalicza się do ... metod projektowania, ponieważ elementy ... jak i elementy orbitalne. W metodzie stanów granicznych wprowadza się:

- a) opartą na rachunku prawdopodobieństwa niektórych parametrów bezpieczeństwa.
- * cechy mech. stali
- * " geometrycznych wyrobów stalowych
- * obciążeni działających na konstrukcję.

(b) arbitralnie potraktowane pozostałe parametry bezpieczeństwa.

stanem granicznym określa się taki stan konstrukcji po osiągnięciu, którego uważa się, że konstrukcja w jej element zagrożona bezpieczeństwem lub przestaje spełniać wymagania użytkowe.

W metodzie stanów granicznych wyróżnia się:

- 1) stany graniczne nośności (I)
- 2) " " użytkowania (II)

Do grupy (I) zalicza się:

- * zmniejszenie (wyczerpanie nośności) najbardziej wytrzymałych elementów konstrukcji
- * przekształcenie się konstrukcji w układ geometrycznie zmienny (mechanizm), w wyniku utraty stateczności kształtu lub w wyniku uplastycznienia się materiału w niektórych przekrojach.
- * utratę stateczności konstrukcji traktowanej jako ciało sztywne.

Do grupy (II) zalicza się:

- * nadmierne odkształcenie konstrukcji
- * " " drganie konstrukcji

Sprawdzenie stanów granicznych (10) można polegać na wykazaniu, że

(M), (T), (N) wywołane obciążeniami obliczeniowymi są nie większe od nośności konstrukcji dla obliczeniowych wytrzymałości stali.

Sprawdzenie stanów granicznych użytkowania polega na wykazaniu, że odkształcenia i drgania konstrukcji występujące przy obciążeniach charakterystycznych są nie większe niż uznane za graniczne, powyżej których przewidywane działanie konstrukcji może być utrudnione lub niemożliwe.

WSPÓŁCZYNNIKI BEZPIECZEŃSTWA

γ_s → materiałowy

γ_f → obciążenie

α → redukcji obciążenie

ψ_0 → jednoczesności obciążeń zmiennych

ψ_d → części długotrwałej obciążenia zmiennego

γ_m → konserwacji zmniejszenie

$\gamma_s = 1,15 \div 1,25$
(zależy od granicy plastyczności) (11)

$\gamma_f = 1,0 \div 1,4$
 $= 0,8 \div 1,0$

$\psi = 0,7 \div 1,0$
(zależy od rodzaju obiektu, wielkości obciążenia oraz kolejności obciążenia w zestawieniu)

$\psi_d = 0 \div 1,0$

$\gamma_m = 0,8 \div 1,1$
(zależy od ważności obiektów i skutków jego ewentualnego zmniejszenia).

W STANIE GRANICZNYM NOŚNOŚCI

$$F = \sum_{i=1}^m F_{ki} \cdot \gamma_{fi} \cdot \psi_{0i} \cdot \alpha_i \cdot \gamma_m$$

↑
wartość obliczeniowa (a) kombinacja podstawowa

$$\sum_{i=1}^m \gamma_{fi} \cdot G_{ki} + \sum_{j=1}^n \psi_{0j} \cdot \gamma_{fj} \cdot Q_{kj}$$

(b) kombinacja użytkowa

$$\sum_{i=1}^m \gamma_{fi} \cdot G_{ki} + 0,8 \sum_{j=1}^n \gamma_{fj} \cdot Q_{kj} + F_a$$

W STANIE GRANICZNYM UŻYTKOWANIA (12)

(a) kombinacja podstawowa

$$\sum_{i=1}^m G_{ki} + Q_k$$

Q_k → najmniejsza obciążenie zmiennego

(b) kombinacja obciążeń długotrwałych

$$\sum_{i=1}^m G_{ki} + \sum_{j=1}^n \psi_{dj} \cdot Q_{kj}$$

Warunki wykorzystania rezerwy plastycznej konstrukcji

Norma dopuszcza stosowanie teorii plastyczności (teorii nośności granicznej)

* przy projektowaniu belek i ram

* w ocenie nośności konstrukcji w stanach awaryjnych.

Warunki niezbędne do plastycznego przegrupowania sił wewnętrznych:

1) stal elementów konstrukcyjnych winna się charakteryzować:

$A_5 \geq 15\%$ oraz $\frac{K_{tr}}{R_e} \geq 1,2$
wytrzymałość

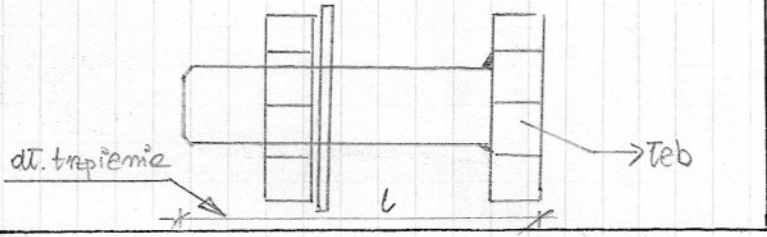
- 2) elementy powinny być pełnościenne (13)
o przekroju białymetrycznym lub monosymetrycznym klasy 1, wykonane z jednego gatunku stali
- 3) obciążenie powinny być:
* przeważająco statyczne
* przyłożone w płaszczyźnie symetrii przekroju (brak skręcania)
- 4) warunki konstrukcyjne
* elementy powinny być zabezpieczone przed utratą stateczności ogólnej (zwichnięcie, wyboczenie...)
* przekroje krytyczne konstrukcji (miejsce wystąpienia przekrojów plastycznych) powinny być zabezpieczone przed przemieszczeniem się z płaszczyzny obciążenia
* nośność połączeń nie mniejsza niż nośność przekroju części łączących

V Charakterystyka połączeń śrubowych (14)

1. Rodzaje połączeń śrubowych
(a) zwykłe (b) pasowane (c) sprężane (ciężkie i doczołowe)

- * Połączenia śrubowe stosuje się
1. Jako połączenia montażowe
 2. Gdy występuje rozciąganie łączników
 3. Przy połączeniu grubych pakietów blach
 4. W miejscach trudno dostępnych
 5. Przy łączeniu elementów żelaznych i stalowych
 6. W konstrukcjach tymczasowych
- * Rodzaje śrub

- (a) zgrubnel z łbem sześciokątnym
(b) średniodokładne z łbem 6-kątnym
(c) dokładne z łbem 6-kątnym
(d) specjalne (śruby fundamentowe, hakowe, kotwowe, rurmskie)



* Orientacyjna średnica śruby (15)

$$d \approx \sqrt[3]{5b} - 0,2 \text{ [cm]}$$

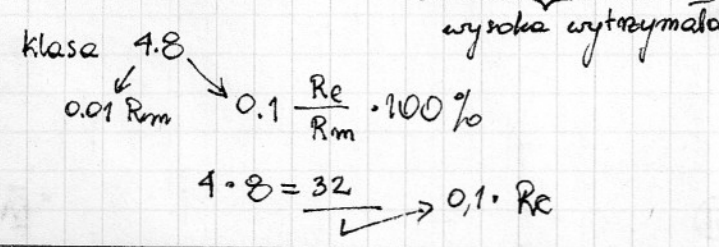
M 10	M 12	M 16	M 20	M 24	M 27

Śruby i nakrętki dzielimy na zależności od własności mechanicznych i dokładności wykonania.

* KLASY WŁASNOŚCI MECH. ŚRUB

PN-82/N-82054.03

W zależności R_m i R_e gotowych śrub. Klasy te oznaczone są symbolami składowymi się z dwóch liczb przedzielonych kropką → 3.6; 4.6; 4.8; 5.6; 5.8; 6.6; 6.8; 8.8; 10.9; 12.9



VI. Warunki nośności połączeń złączek (16)

* Nośność a także postać stylu połączenia kat. B należy sprawdzać:

- (A) Przy obciążeniu siłą osiową F
 $F \leq F_{Rj} = n \cdot \eta \cdot S_R$

n → liczba łączników
 η → współczynnik redukcyjny uwzględniający odł. połączeń.

dla $L \leq 15d$ → $\eta = 1,0$
dla $L > 15d$ → $\eta = 1 - \frac{L-15d}{200d} \leq 0,75$

L → odł. pomiędzy skrajnymi łącznikami
 S_R → nośność mierzona

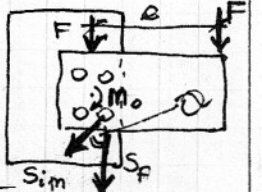
- (B) Przy obciążeniu siłą F i momentem M_0

(a) w/g normy PN-90

$$S_i = \sqrt{(S_{iF} + S_{iF} \cdot \cos \theta)^2 + (S_{iF} \cdot \sin \theta)^2}$$

$$S_i \leq S_R \quad 0 \leq \theta \leq 180$$

$$S_{iM} = \frac{M_i \cdot r_i}{\sum_{i=1}^n (r_i)^2} \quad M_0 = F \cdot e$$



θ → kąt między wektorami sił siładowych

(b) sposób tradycyjny (17)

* siły składowe od obciążenia $F(F_x, F_y)$

$$S_{iF_x} = \frac{F_x}{n}, \quad S_{iF_y} = \frac{F_y}{n}$$

* siły składowe dla m_0

$$S_{im_x} = \frac{m_0 \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2)}$$

$$S_{im_y} = \frac{m_0 \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2)}$$

* siła wypadkowa

$$S_i = \sqrt{(S_{iF_x} + S_{im_x})^2 + (S_{iF_y} + S_{im_y})^2} \leq S_R$$

VII Tok obliczania pow. zakładow. (18)

1. Przyjęcie rodzaju i liczby łożyska
2. Rozmieszczenie łożysk i spr. warunków połączenia
3. Obł. nośności obliczeniowej łożyska
4. Wyznaczenie połączenia średnic ciężkości grupy łożysk. Określenie oddl. (współmiednych) łożyska względem osi średnic ciężkości
5. Spr. sił obł. średnic ciężkości łożysk
6. Analiza obciążenia poszczególnych łożysk - wyznaczenie łożyska najbardziej obciążonego
7. Obł. sił składowych i wypadkowej dla tego łożyska
8. Spr. nośności połączenia $\max S_i \leq S_R$
9. Spr. nośności elementów łożyska w ustalonych warunkach.

POŁĄCZENIA SPAWANE

(19)

Spawanie jest to łączenie metali polegające na przetopieniu sąsiadujących ze sobą krawędzi z dodatkowym metalem (elektrodą lub drutem spawalniczym). Przez spawanie uzyskuje się nierozdzielne, międzydrobinowe połączenie różniące się od połączenia typu mechanicznego. Odmianą spawania jest zgrzewanie. W procesie zgrzewania łączone elementy w miejscu styku doprowadza się do stanu plastycznego i dociska się do siebie, wskutek czego zachodzi połączenie międzycząsteczkowe.

METODY SPAWANIA

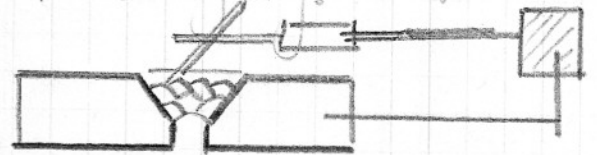
- (a) ręczne spawanie Tłkowe elektrodami otulonymi
- (b) spawanie Tłkowe kładem podtopnikiem
- (c) spawanie Tłkowe w osłonie gazów ochronnych
- (d) spawanie elektroizolowe

Pomiedto (rzadko)

(20)

- (a) elektromowa
- (b) plazmowa
- (c) laserowa

Spawanie Tłkowe → uniwersalna metoda, źródłem ciepła jest Tok elektryczny.



Można używać elektrod nietopliwych (węglowych, wolframowych). W budownictwie stosuje się elektrody otulone. Zależniemy otuliny jest stworzenie żyłowej i gazowej osłony spoiny przed czynnikami utleniającymi i innymi powiatkami. Ze względu na skład chemiczny otuliny, rozróżnia się:

- * kwapne A
- * zasadowe B
- * wtyłowe R
- * utleniające O

Ze względu na grubość otuliny: (21)

- * cienko otulone
 - * średnio otulone
 - * grubo otulone ($t_0 > 0,9 d_e$)
- $d_e \rightarrow$ średnica rdzenia

- Ø 2 mm → dt. 250 mm
- Ø 2,5 mm
- Ø 4,0 mm
- Ø 5,0 mm } dt. 450 mm
- Ø 6,0 mm

Spawanie Tukiem krytym
 → Tuk jąży się w sposób miejscowy, pod warstwą topnika, który spełnia te same zadanie co otulina elektrody ręcznej.

Zalety: Zwiększenie szybkości spawania, polepszenie jakości spoiny, większy ekonomizm, nie wymaga wysokiego umiejętności spawania.

Wady: Ograniczony zakres stosowania.

W czasie spawania Tukiem krytym występują ruchy dwójfazowego rodzaju (22)

- (a) podawanie drutu
- (b) posuwanie się spawarki względem spoiny

Spawanie w osłonie gazów ochronnych

- (a) spawanie w osłonie CO₂
 → spawanie Tukiem stosowane do stali niskostopowych
- (b) spawanie w osłonie argonu lub helu → dla Taczem stali węglowych
- (c) spawanie metalem elektrodą wolframowo-met. TIG
- (d) spawanie elektrodą metalową

SPAWALNOŚĆ STALI

Stal może być

- (a) łatwo spawalna
- (b) trudno spawalna
- (c) niespawalna

O spawalności stali decyduje m.in. zawartość węgla (23)

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{V}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{15} + \frac{P}{21} \quad [\%]$$

Greniczne wartości C_e ustala się w zależności od grubości łączonego elementu

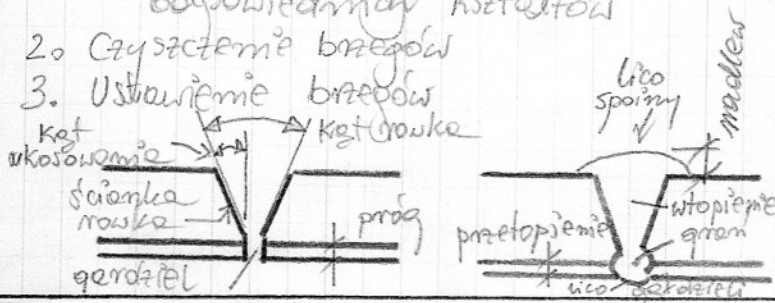
t_{min}	6	12	25	50
C_e	0,48	0,10	0,35	0,32

%

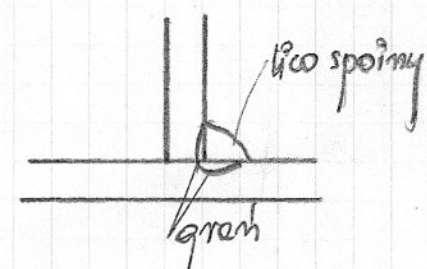
Stale budowlane są przeważnie łatwo spawalne.

PRZYGOTOWANIE ELEM. DO SPAWANIA

1. Nadanie Taczonym brzegom odpowiednich kształtów
2. Czyszczenie brzegów
3. Usunięcie brzegów



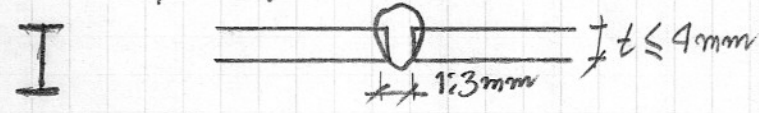
(24)



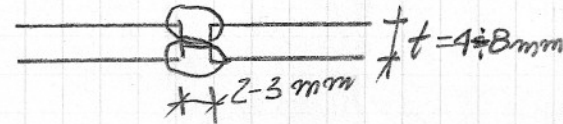
Klasyfikacja spoin

- (a) spoiny czołowe
- (b) " pachwinowe

Spoina jednostronna

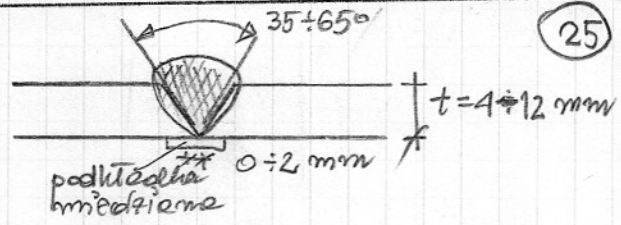


Spoina dwustronna

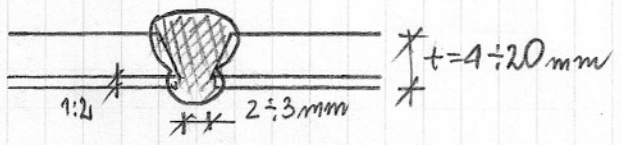


(25)

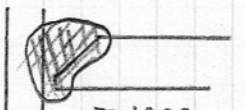
V



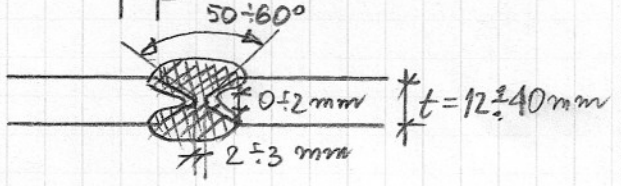
Y



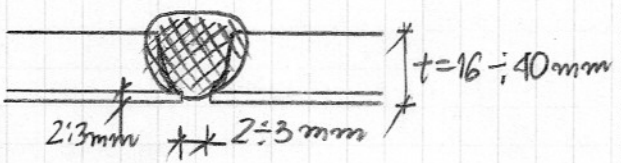
1/2 Y



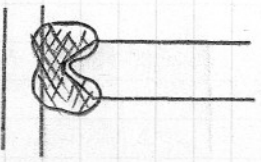
X



U



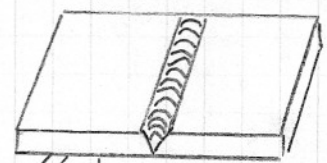
1/2 X (R)



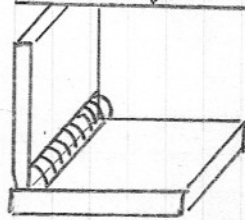
pozycja spawenia → jako pozycje
przyjmuje się położenie osi podłużnej
i poprzecznej spoiny do poziomu.

(26)

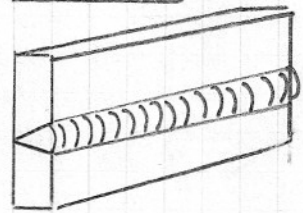
Podolna



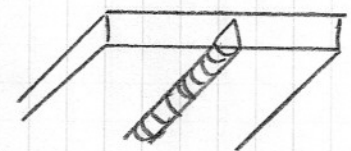
Naboczna



Nacienna



PURAPOWA (sufitowa)



OKAPOWA

