

POŁĄCZENIA SPAWANE

Połączenia spawane należą do połączeń nierozbieralnych typu strukturalnego. Obciążenie z jednego elementu łączonego na drugi jest przekazywane za pomocą sił wiązań międzyatomowych.

Spawanie wymaga użycia skoncentrowanego źródła ciepła, wytwarzającego temperaturę znacznie przewyższającą temperaturę topnienia stali, po to, aby przetopić brzegi elementów łączonych na bardzo wąskiej szerokości ($2\div 3$ mm), nie powodując przy tym parowania materiału i szerokiej strefy zmian strukturalnych. Im bardziej jest skoncentrowane spawalnicze źródło ciepła, tym szybciej się roztopia stal przy brzegach łączonych, a tym samym mniejsza ilość ciepła zostanie wprowadzona w elementy łączone. W efekcie w złączy spawanym pozostaną mniejsze naprężenia i odkształcenia spawalnicze.

Widok pierwszego na świecie spawanego mostu
drogowego o
konstrukcji kratowej, projektu prof. S. Bryły,
zbudowanego w r. 1928 nad rzeką Słudwią (ok. 8
km za Łowiczem, na drodze do Poznania)



SPAWALNOŚĆ

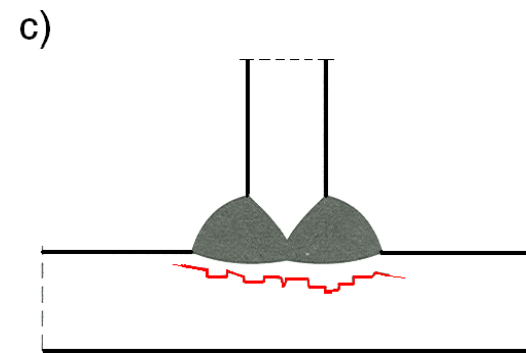
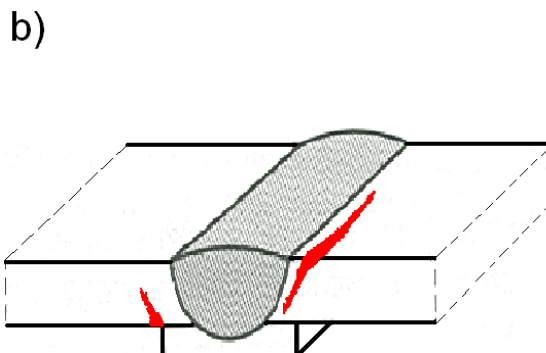
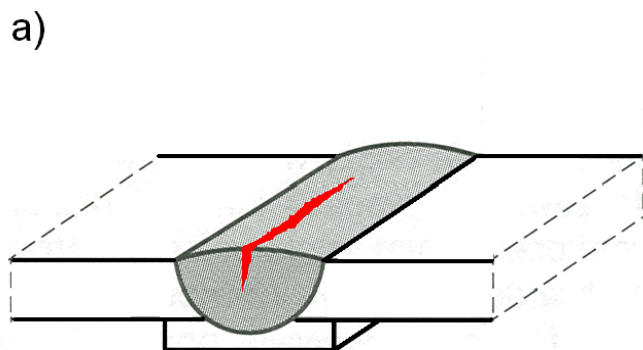
Zdolność stali do tworzenia połączeń spawanych o ściśle określonych właściwościach mechanicznych spełniających wymagania eksploatacyjne.

Spawalność można klasyfikować jako:

1. Metalurgiczną, która zależy od sposobu wytworzenia stali, jej składu chemicznego i struktury, stopnia uspokojenia, sposobu obróbki elementów, rodzaju spoiwa itp.

2. Konstrukcyjną jest ona związana ze stopniem sztywności konstrukcji i możliwością swobody odkształceń elementów spawanych, grubością tych elementów oraz grubością, długością i rozmieszczeniem spoin, sposobem kształtowania węzłów i elementów.
3. Technologiczną, która określa wymagania dotyczące wyboru procesów spawania, doboru parametrów spawania, przyjęta kolejność wykonywania spoin, a także zastosowane metody obróbki cieplnej i mechanicznej spoin.

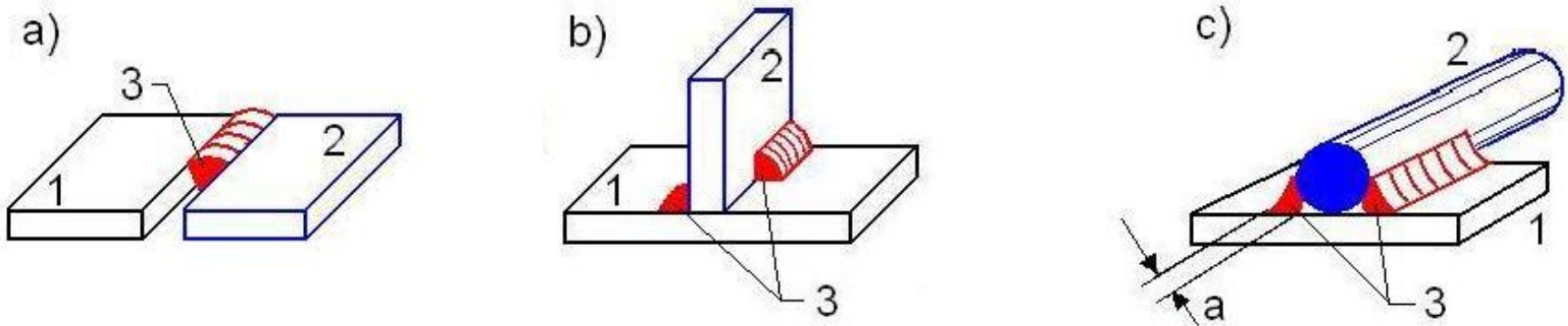
W przypadku stali konstrukcyjnych pojęcie spawalności jest zwykle upraszczane do zagadnienia uzyskania spawanego złącza bez pęknięć.



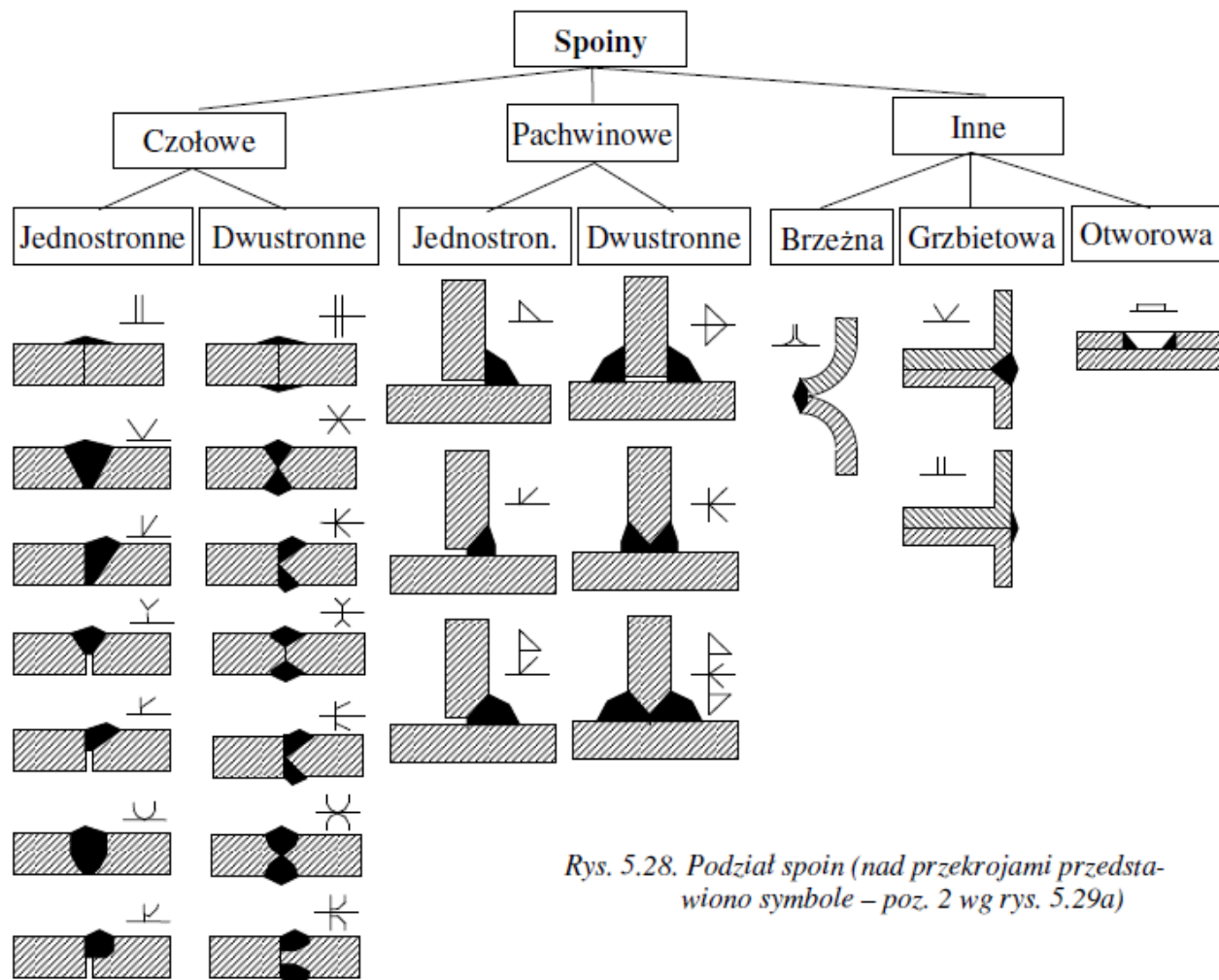
Pęknięcia: a) gorące, b) zimne, c) lamelarne

W zależności od spawalniczego źródła ciepła spawanie dzieli się na:

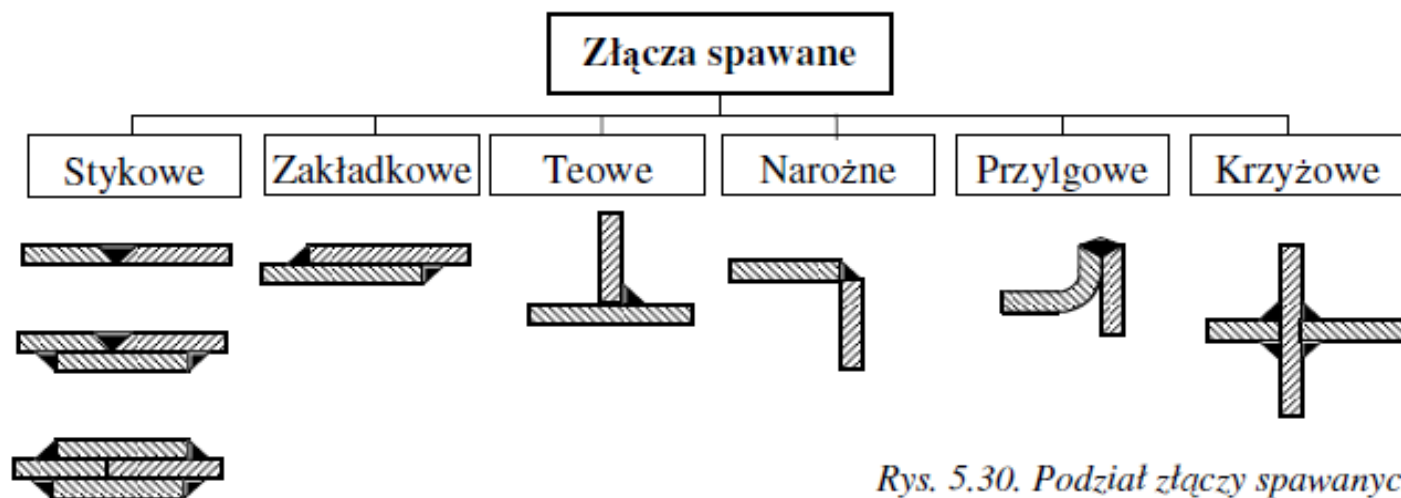
- gazowe - ciepło jest wytwarzane przez spalający się gaz (acetylen, wodór, metan),
- elektryczne – ciepło jest wytwarzane przez łuk elektryczny, strumień plazmy, strumień elektronów, strumień fotonów.



Rodzaje spoin: a – czołowe, b – pachwinowe,
c – szerokobruzdowe; 1, 2 – łączone elementy, 3 – spoina



Rys. 5.28. Podział spoin (nad przekrojami przedstawiono symbole – poz. 2 wg rys. 5.29a)



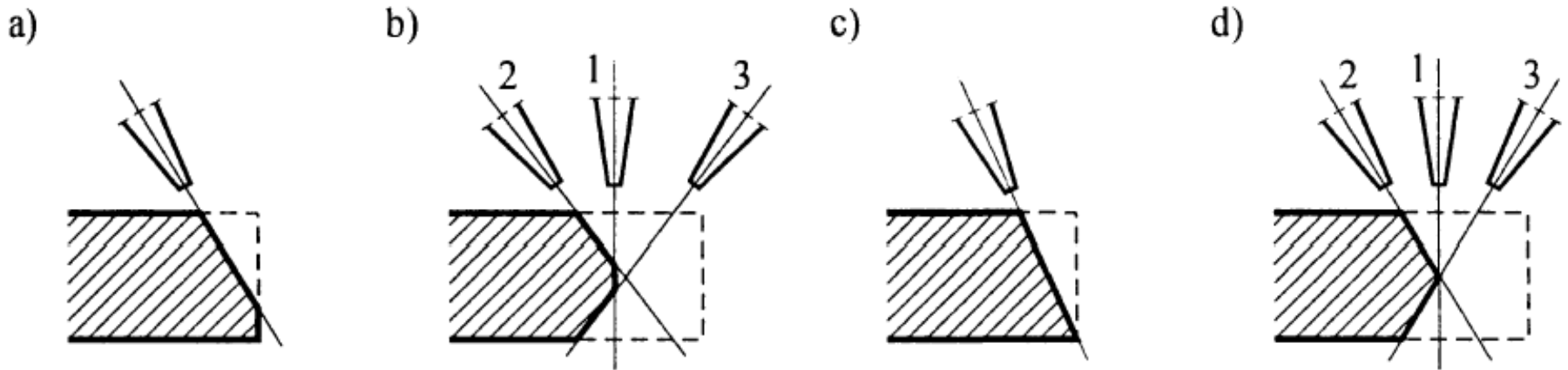
Rys. 5.30. Podział złączy spawanych

Materiały stosowane na złącza spawane

- stale konstrukcyjne zwykłej jakości przeznaczone do spawania: St0S, St2S, St3S, St4S,
- stale do wyrobu rur: R, R35, R45,
- stale o podwyższonych właściwościach wytrzymałościowych: 15GA, 18G2A, 10G2ANb, 10H, 10HA,
- inne, spełniające warunek tzw. przelicznika węglowego, liczonego wg wzoru:

SPOINY CZOŁOWE

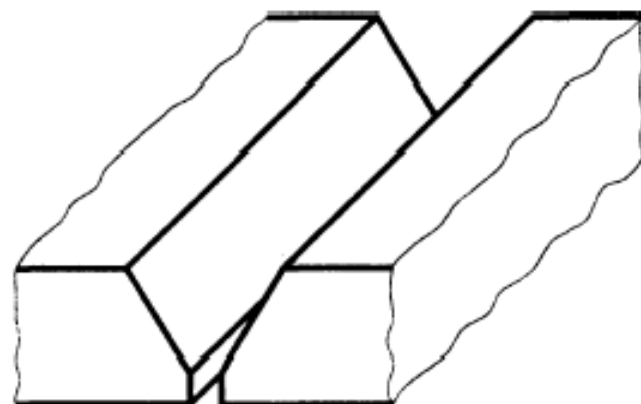
Spoina jest czołowa wtedy, gdy brzeg przynajmniej jednego z dwu łączonych elementów jest przetopiony na całej grubości.



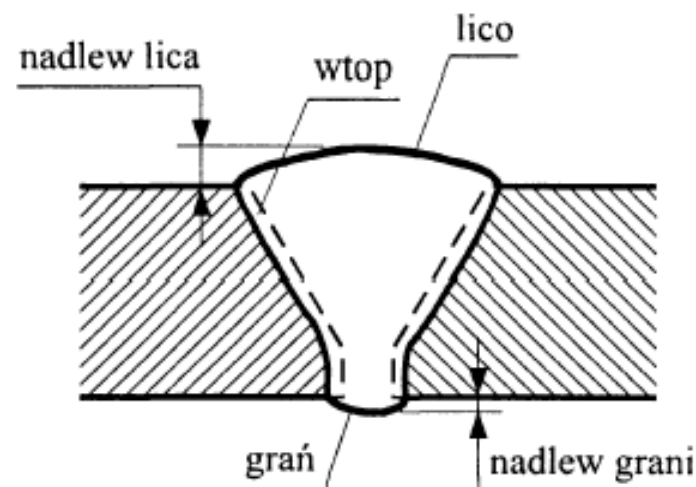
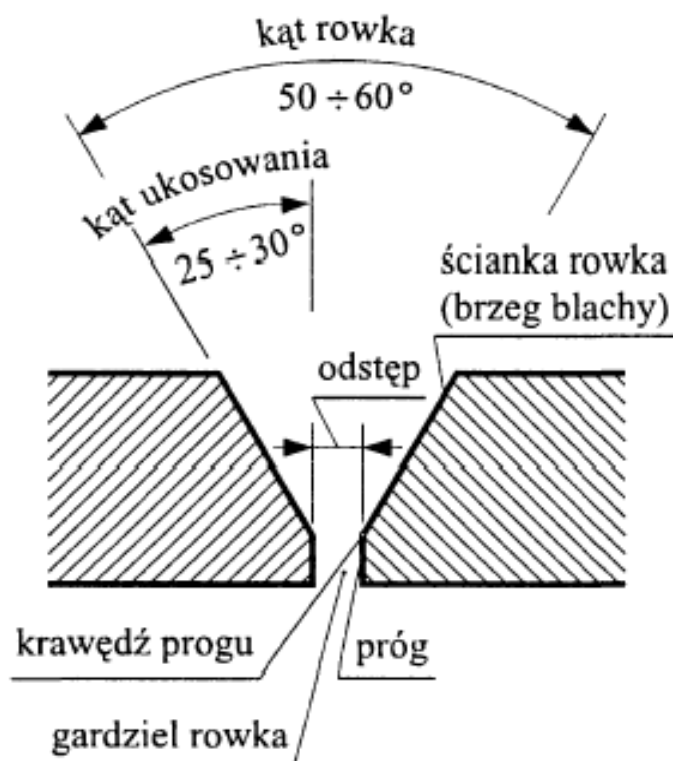
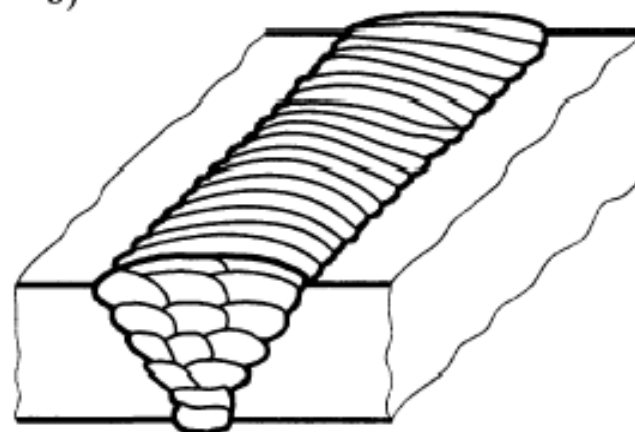
Rys. 7.2. Cięcie i ukosowanie:

a), c) pojedynczym palnikiem, b), d) głowicą trójpalnikową
(numery palników oznaczają kolejność cięcia)

a)

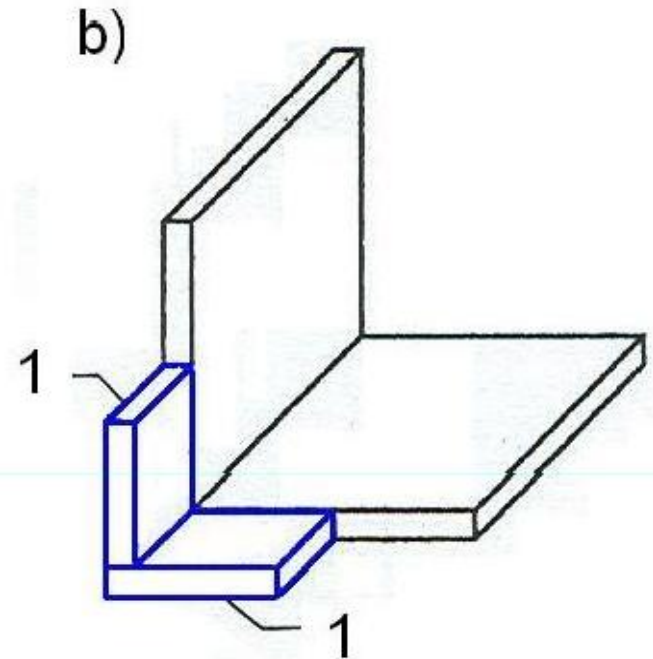
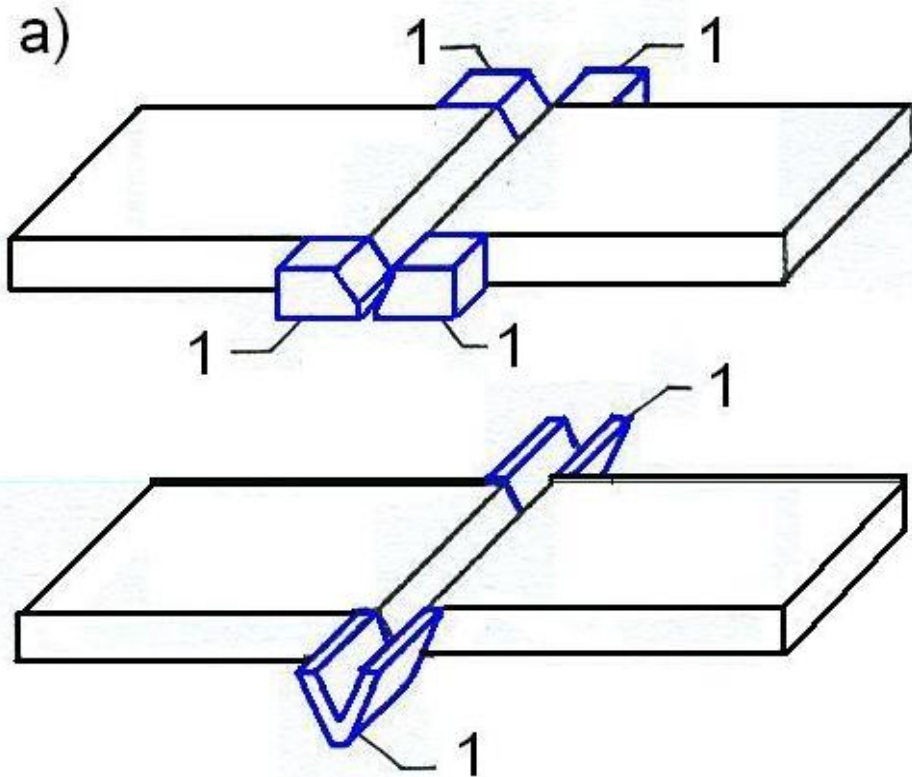


b)



Rys. 7.3. Oznaczenia: a) rowka spawalniczego, b) spoiny

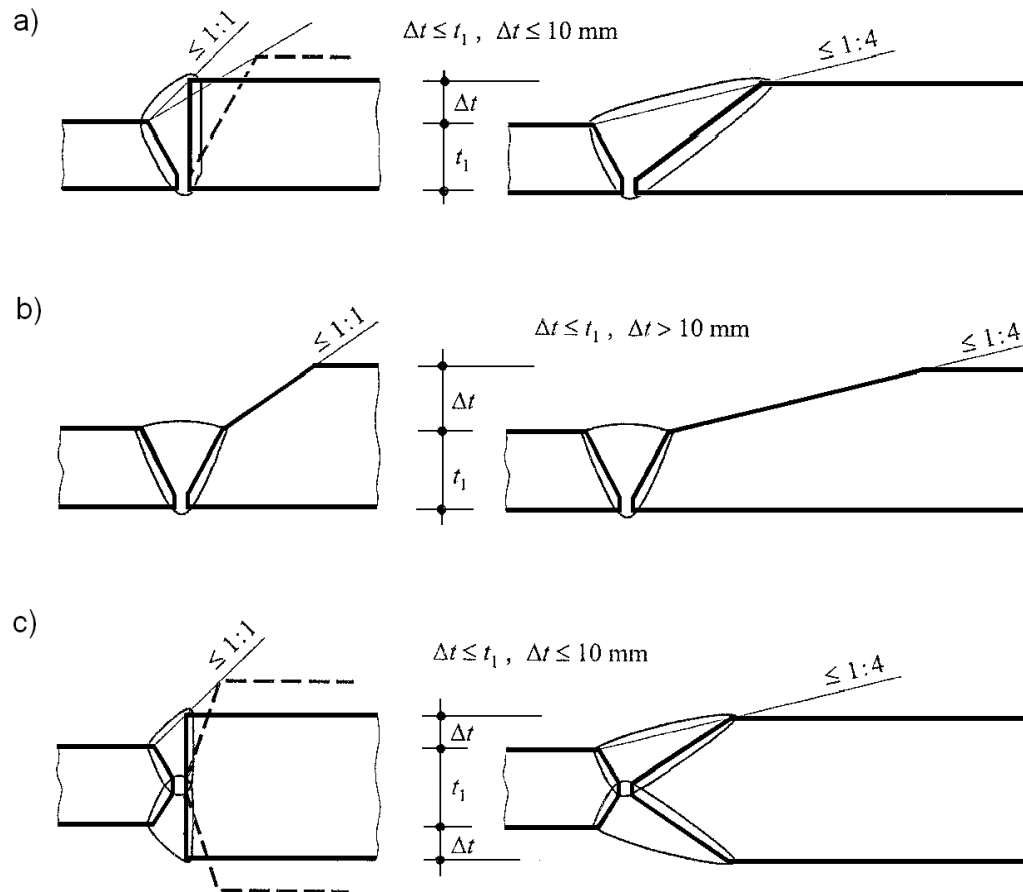
Zapobieganie kraterom polega na stosowaniu płytek wybiegowych, które mocuje się prowizorycznie spoinami czepnymi. Po wykonaniu spoiny płytki odcina się płomieniem acetylenowo-tlenowym lub piłą, a brzegi złącza szlifuje się (wyrównuje).



Łączenie spoin o różnych grubościach

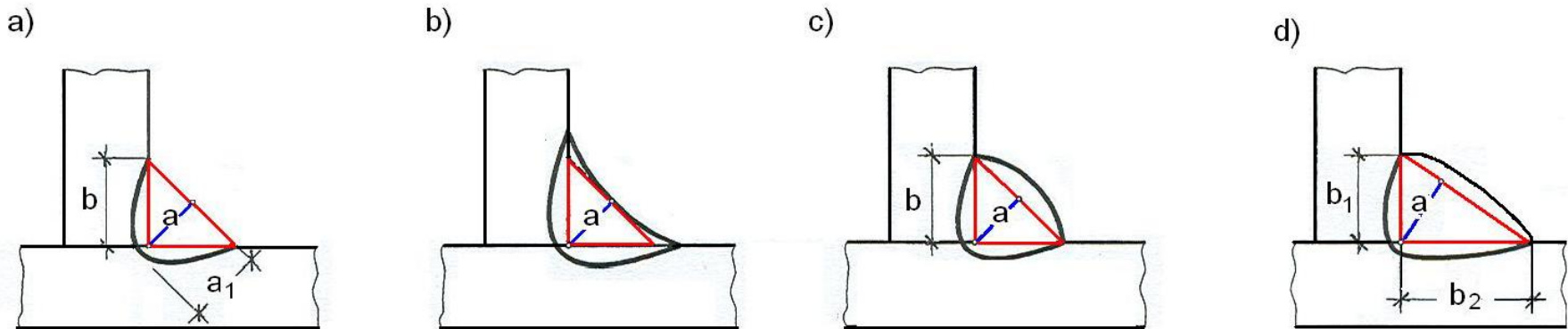
obciążenie statyczne

obciążenie dynamiczne

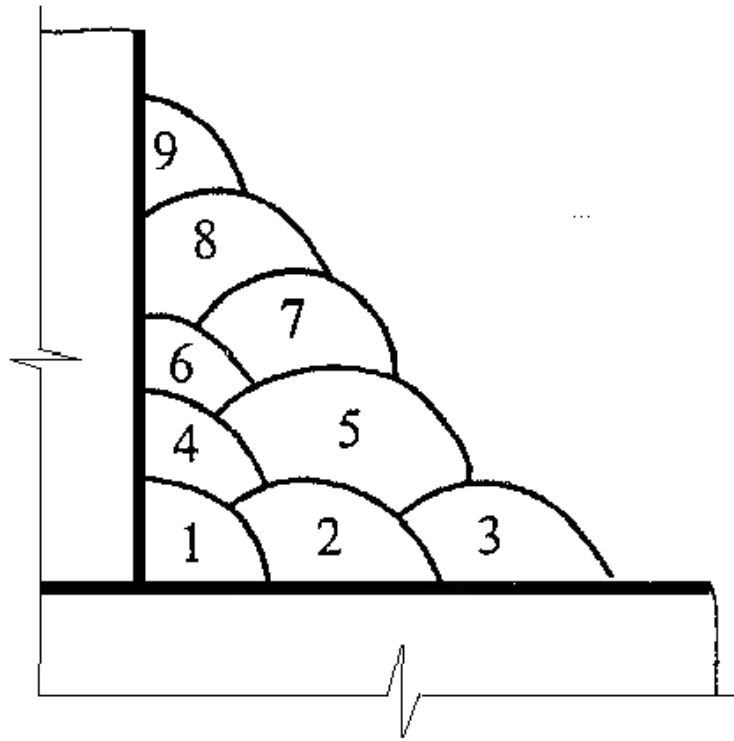


SPOINY PACHWINOWE

Spoiny pachwinowe są układane w naturalnym rowku, jaki tworzą dwa łączone elementy.

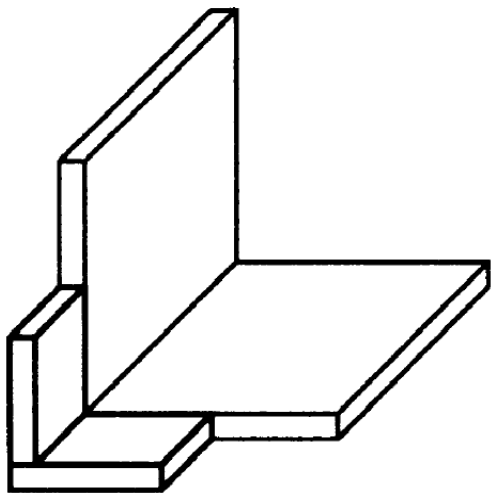


Kształty spoin pachwinowych: a) płaska, b) wklęsła, c) wypukła, niesymetryczna płaska

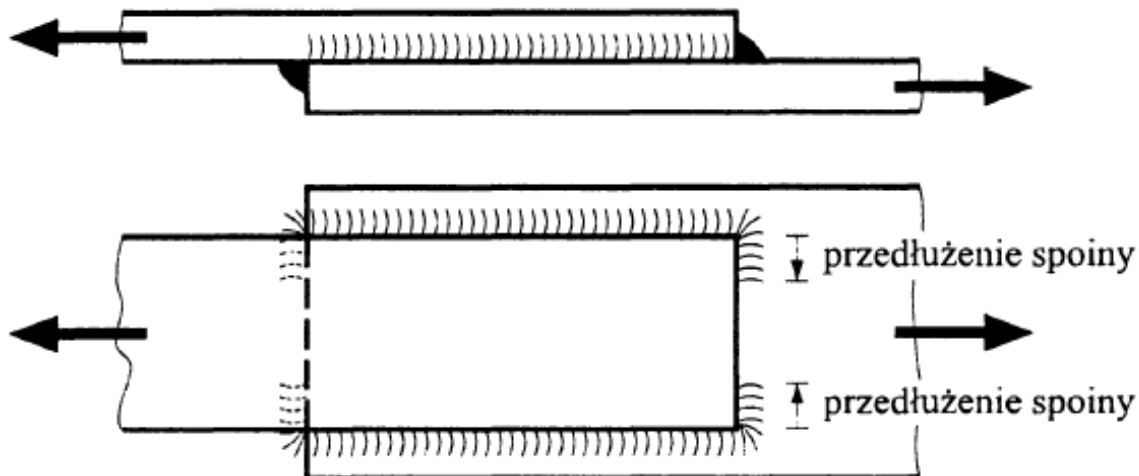


Spoina pachwinowa wielościegowa (numery oznaczają kolejność układania ściegów)

Unika się kraterów na końcach spoiny, stosując albo korytka wybiegowe (rys. 7.11) albo przedłużając spoinę poza długość zakładu na przyległe pod kątem prostym brzegi (rys. 7.12) na 2a.

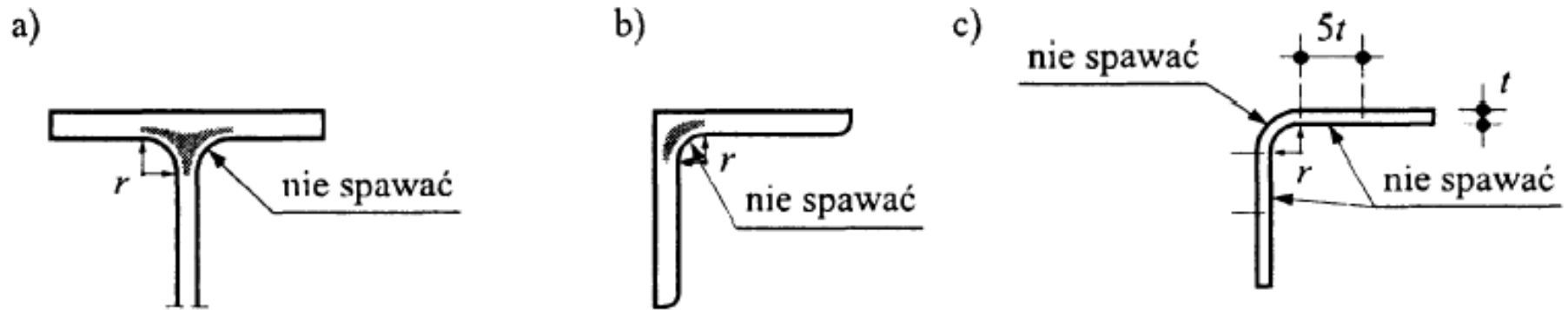


Rys. 7.11. Korytka wybiegowe



Rys. 7.12. Przedłużenie spoiny poza właściwą długość zakładu

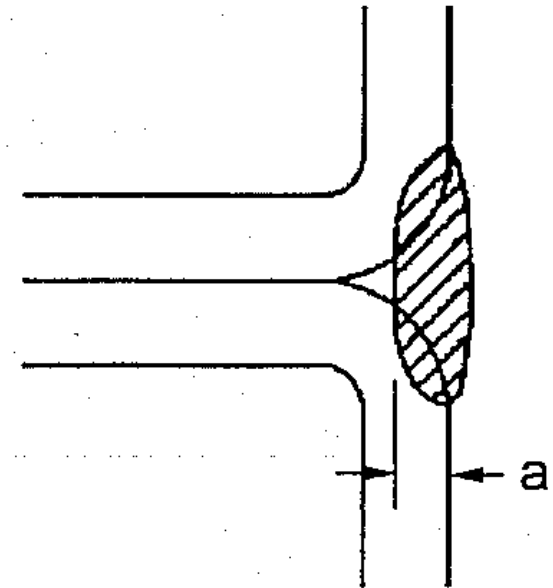
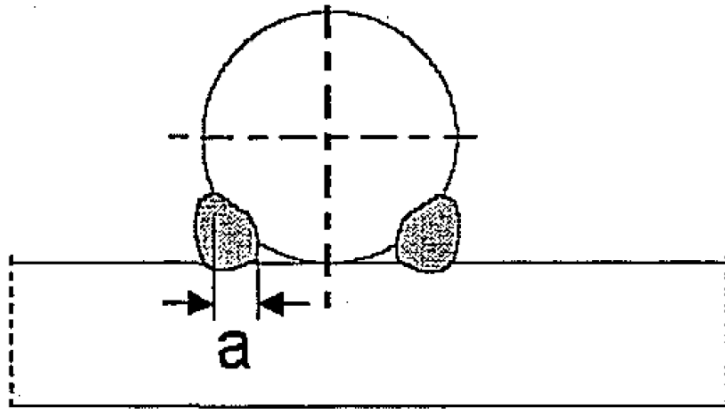
Nie należy zakładać spoin pachwinowych w wewnętrznych narożach kształtowników (rys. 7.13a, b), ponieważ są to miejsca o podwyższonej zawartości węgla, siarki i fosforu, a więc o gorszej spawalności stali.



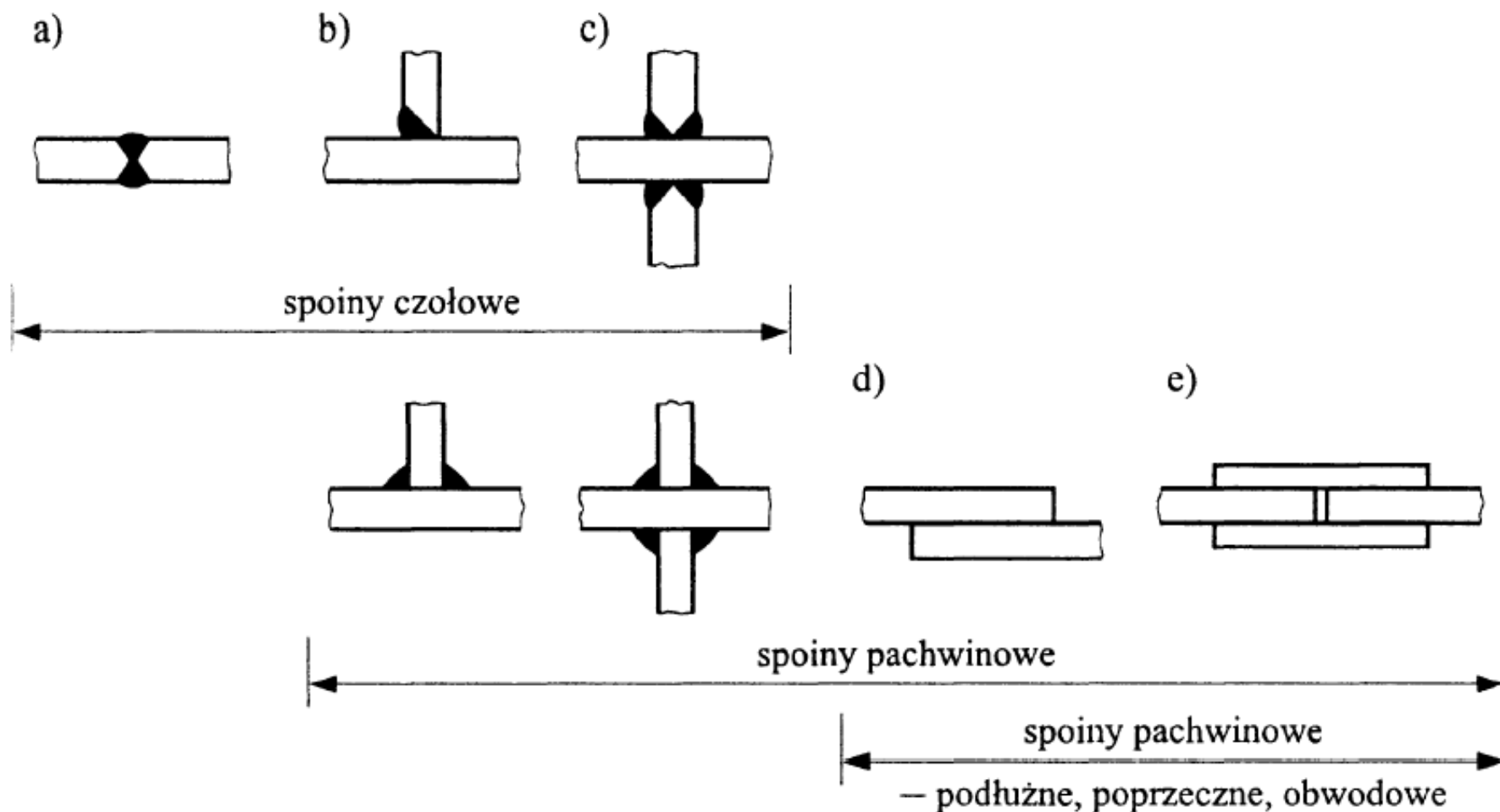
Rys. 7.13. Miejsca niedozwolone dla spoin pachwinowych:
a, b) w kształtownikach walcowanych, c) w kształtownikach zimnogiętych

SPOINY SZEROKOBRUZDOWE

Spoiny te występują przy prętach pełnych łączonych do płaskiej powierzchni lub przy łączeniu kształtowników rurowych prostokątnych.

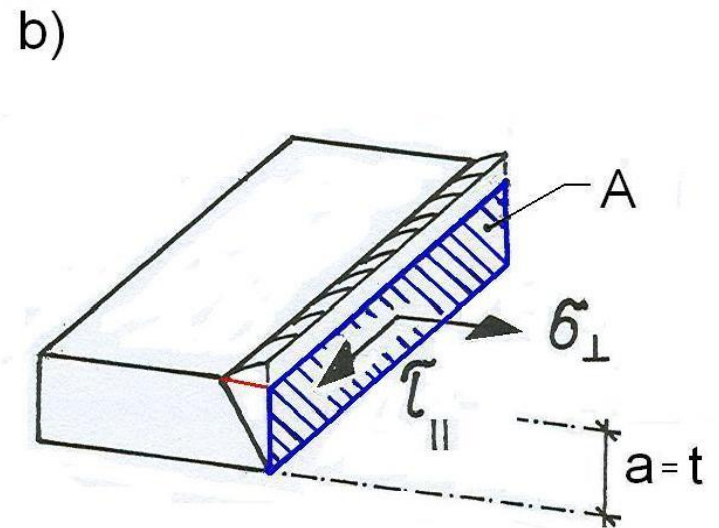
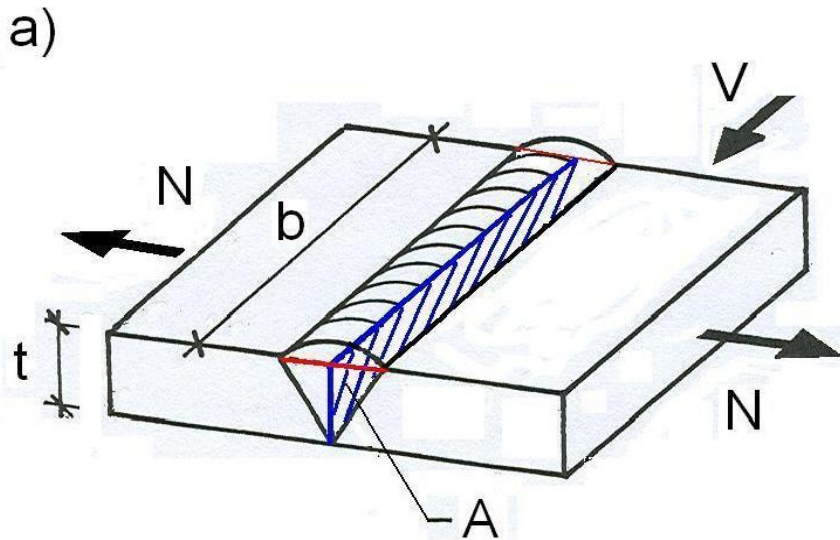


Złącza spawane dzieli się na: doczołowe (rys. 7.14a), teowe (rys. 7.14b), krzyżowe (rys. 7.14c), zakładkowe (rys. 7.14d), nakładkowe (rys. 7.14e).



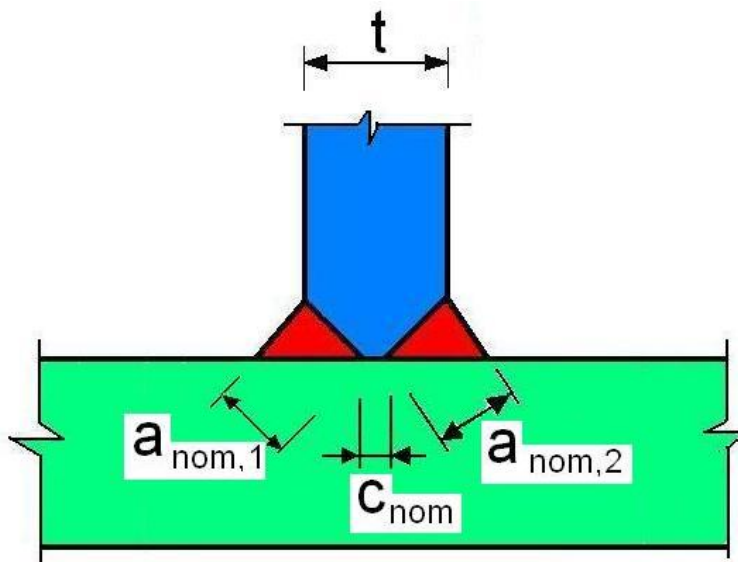
Rys. 7.14. Rodzaje złączy spawanych (opis w tekście)

8 OBLICZANIE ZŁĄCZY ZE SPOINAMI CZOŁOWYMI



Nośność obliczeniową spoin czołowych z pełnym przetopem przyjmuję się równą nośności obliczeniowej słabszej z łączonych części.

EFEKTYWNY PEŁNY PRZETOP W CZOŁOWYM ZŁĄCZU TEOWYM



$$a_{\text{nom},1} + a_{\text{nom},2} \geq t$$

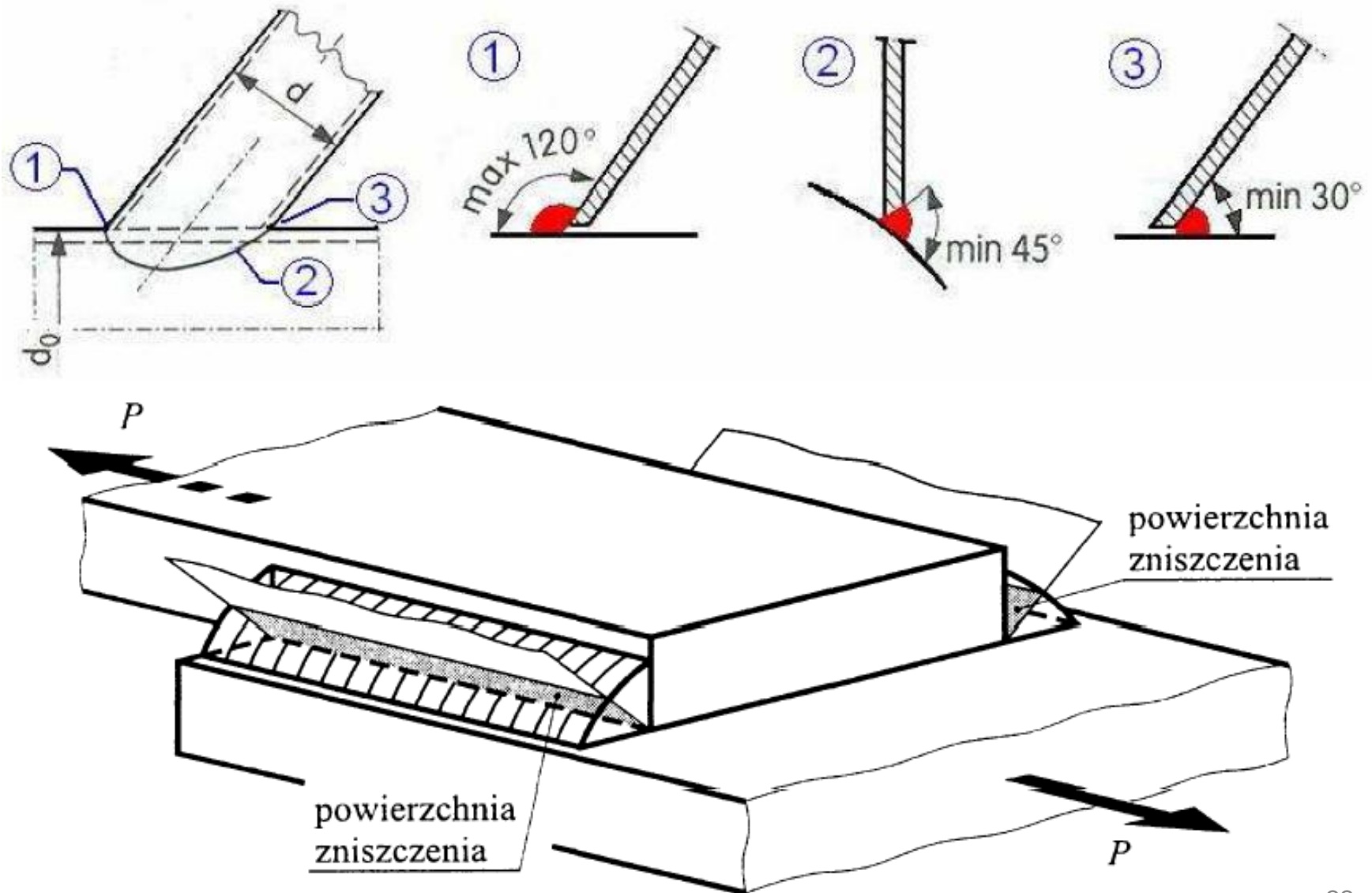
$$c_{\text{nom}} = \min(t/5 \text{ i } 3 \text{ mm})$$

OBLICZANIE ZŁĄCZY ZE SPOINAMI PACHWINOWYMI

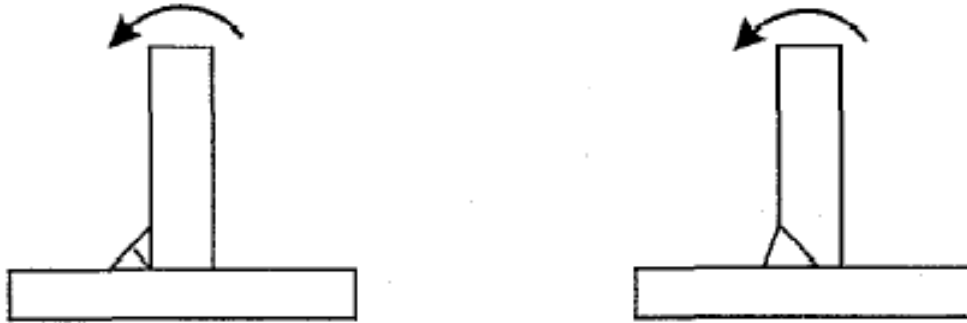
Założenia:

1. Jako efektywną długość spoiny pachwinowej l_{eff} przyjmuje się długość, na której spoina ma pełny przekrój. Można ją przyjmować jako całkowitą spoiny zmniejszoną o dwie efektywne grubości a .
2. Do przenoszenia obciążeń nie powinno się stosować spoin pachwinowych o długości efektywnej mniejszej niż 30 mm ani też krótszych niż sześciokrotna grubość spoiny ($6a$).
3. Efektywna grubość spoiny pachwinowej nie powinna być mniejsza niż 3 mm i nie większa niż $0,7t_{min}$ przy spoinie jednostronnej i $0,5t_{min}$ przy spoinie dwustronnej, gdzie t_{min} to grubość cieńszej z łączonych blach.

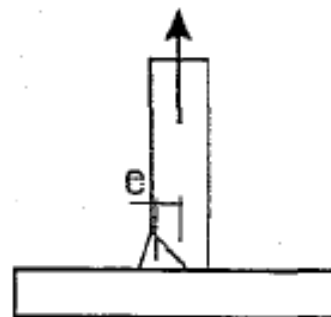
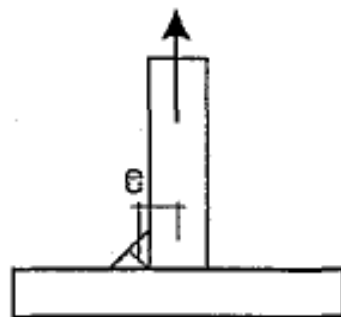
4. Spoiny pachwinowe można stosować do łączenia części, których ścianki tworzą kąt od 60° do 120°



SPOINY OBCIĄŻONE MIMOŚRODOWO



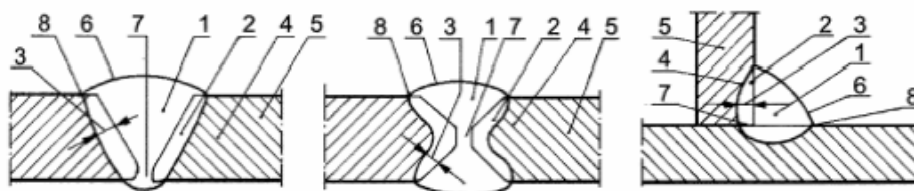
(a) Moment zginający wywołujący rozciąganie w grani spoiny



- (b) Siła rozciągająca wywołująca rozciąganie w grani spoiny

26

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

NIZGODNOŚCI SPAWALNICZE

Podział niezgodności spawalniczych ze względu na:

a)położenie

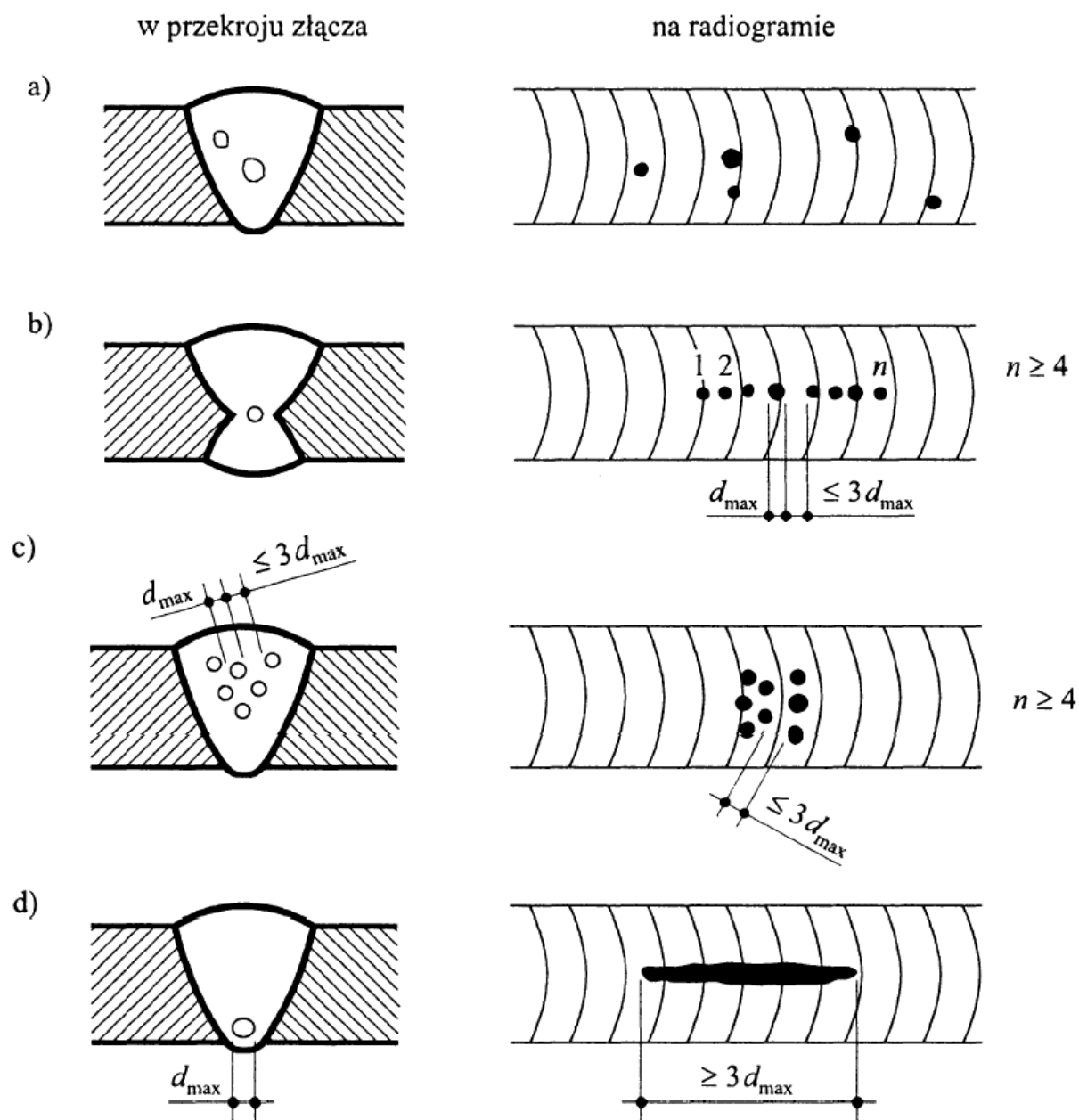
- zewnętrzne (lub odkryte),
- wewnętrzne (lub ukryte),

b)wielkość

- makroskopowe, które można wykryć gołym okiem lub przy powiększeniu 25x, lub za pomocą metod badań nieniszczących,
- mikroskopowe, które można wykryć za pomocą metod o dużej rozdzielczości, zwykle podczas badań metalograficznych.

RODZAJE NIEZGODNOŚCI

1. Pustki gazowe w postaci pęcherzy.
2. Wtrącenia stałe.
3. Przyklejenia.
4. Braki przetopu.
5. Pęknięcia typu gorącego .
6. Niezgodności dotyczące kształtu złączy.

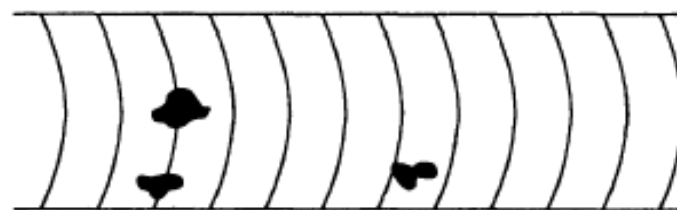


Rys. 7.34. Pęcherze gazowe:
a) pojedyncze pęcherze kuliste, b) łańcuch pęcherzy,
c) gniazdo pęcherzy, d) pęcherz podłużny

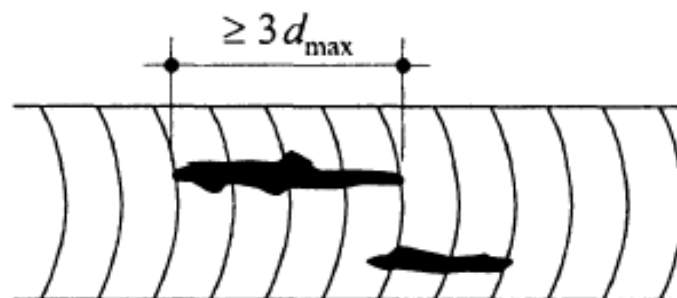
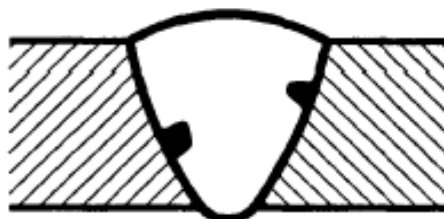
w przekroju złącza

na radiogramie

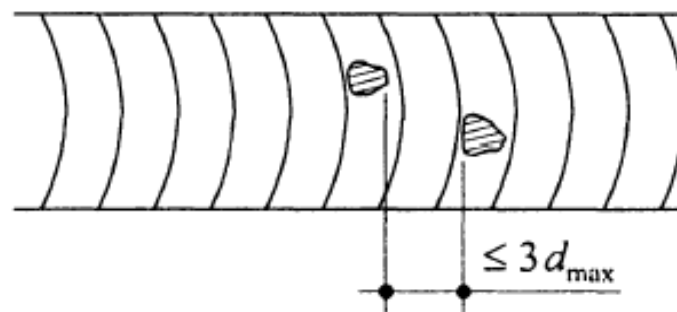
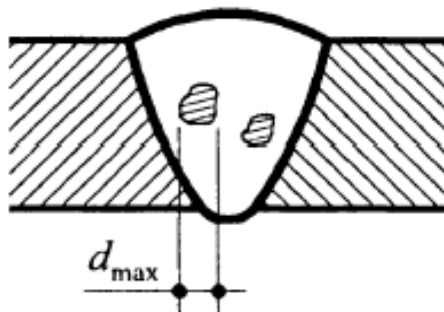
a)



b)



c)



Rys. 7.35. Wtrącenia stałe:

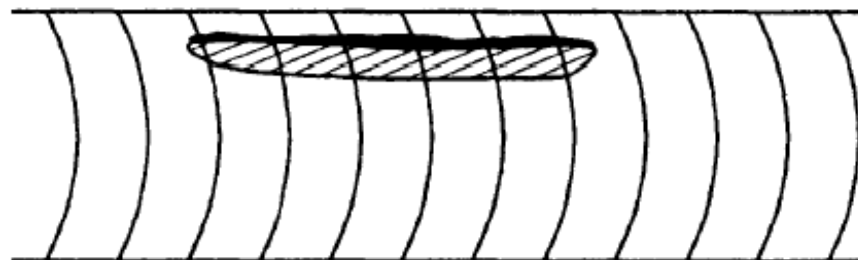
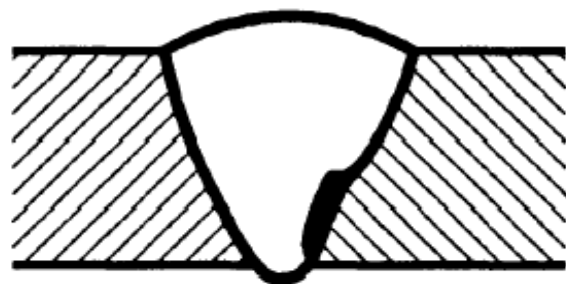
a) żuźle zwarte, b) żuźle pasmowe, c) wtrącenia metalu obcego

Niezgodność spawalnicza (wada):

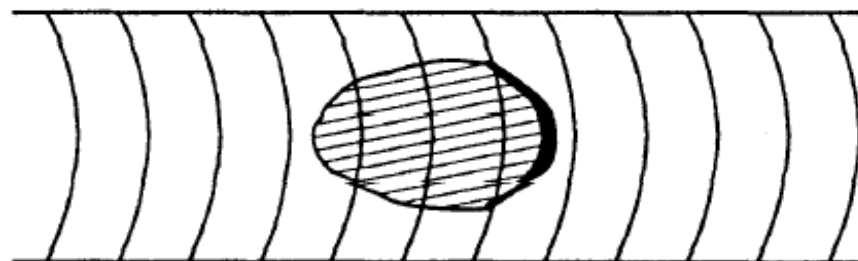
w przekroju złącza

na radiogramie

a)



b)



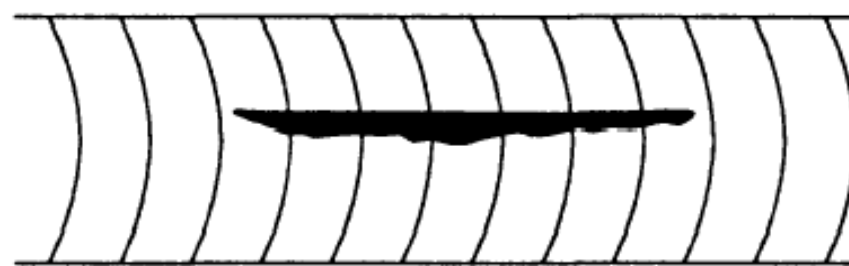
Rys. 7.36. Przyklejenia:

a) podłużne w strefie wtopu, b) międzyścięgowe

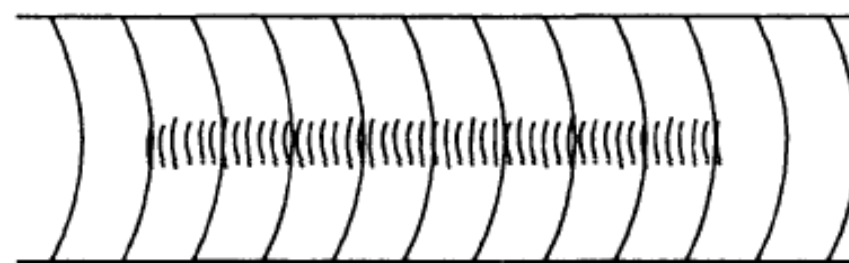
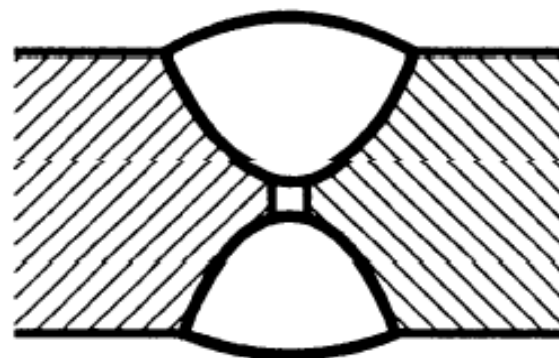
w przekroju złącza

na radiogramie

a)



b)

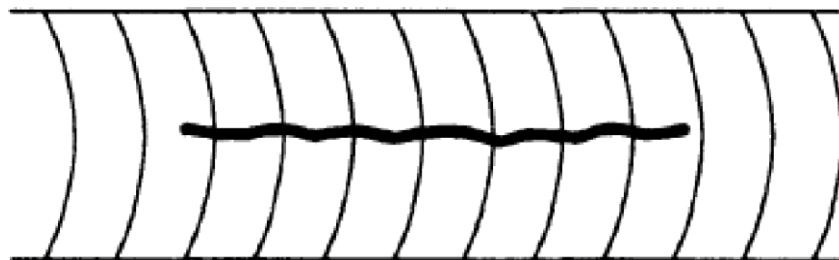
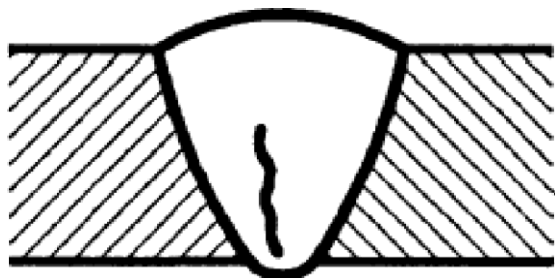


Rys. 7.37. Niewłaściwe przetopy spoin:
a) brak przetopu grani spoiny jednostronnej,
b) brak przetopu grani spoiny dwustronnej

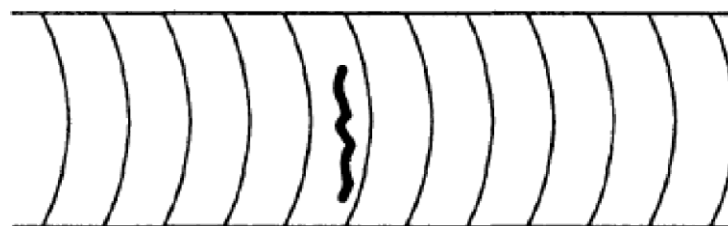
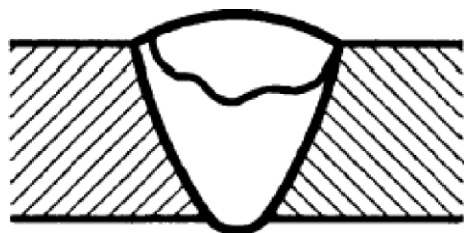
w przekroju złącza

na radiogramie

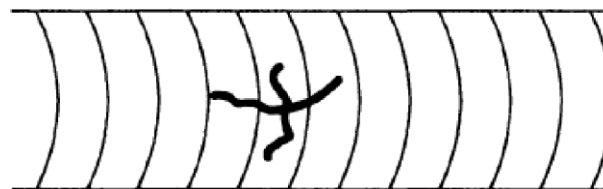
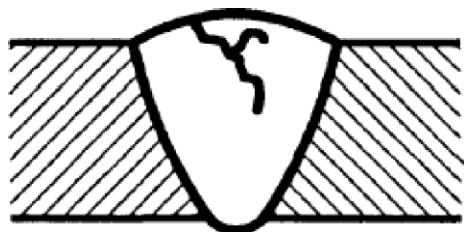
a)



b)



c)

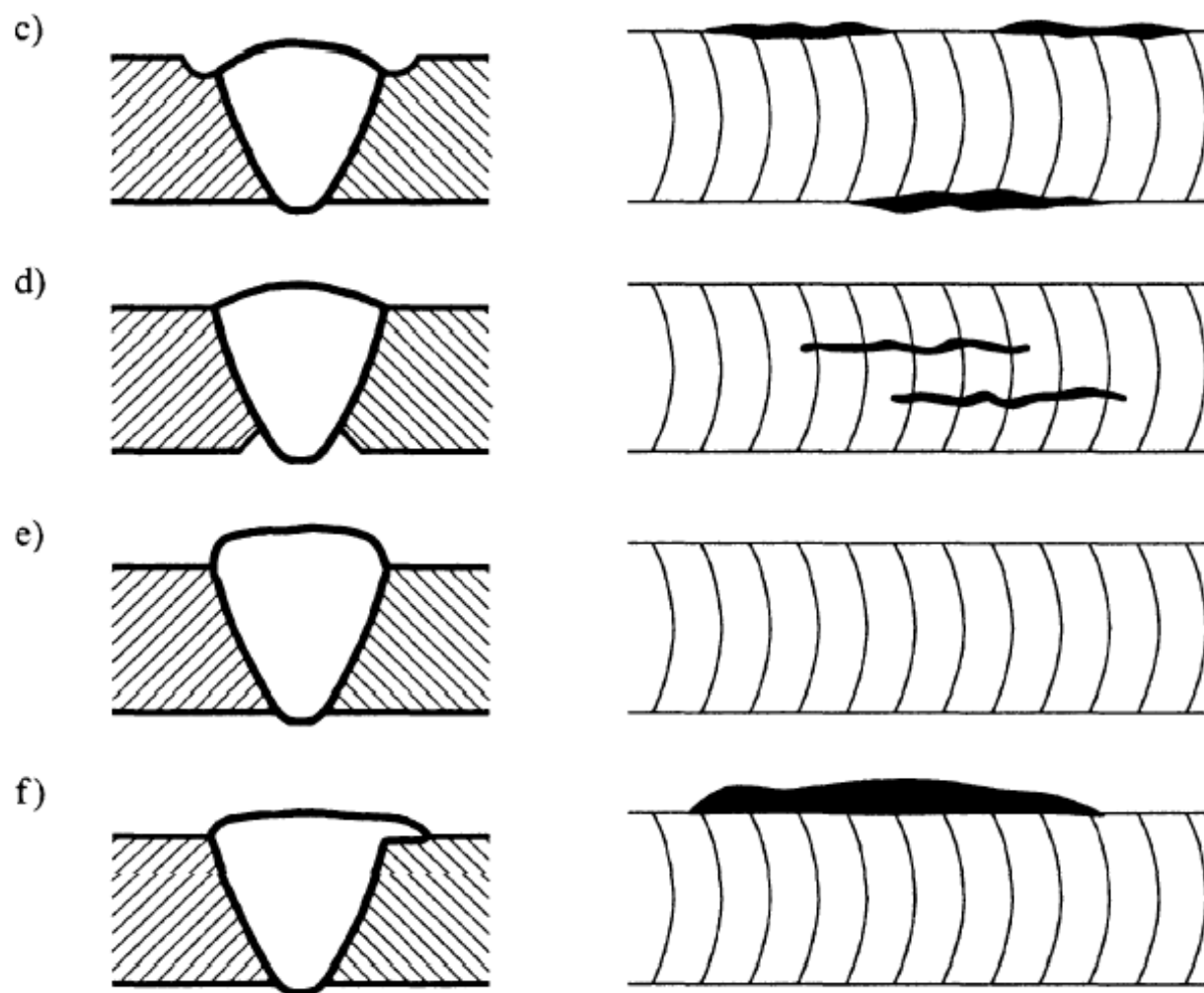


Rys. 7.38. Pęknięcia:

a) pęknięcia podłużne

b) Pęknięcia poprzeczne

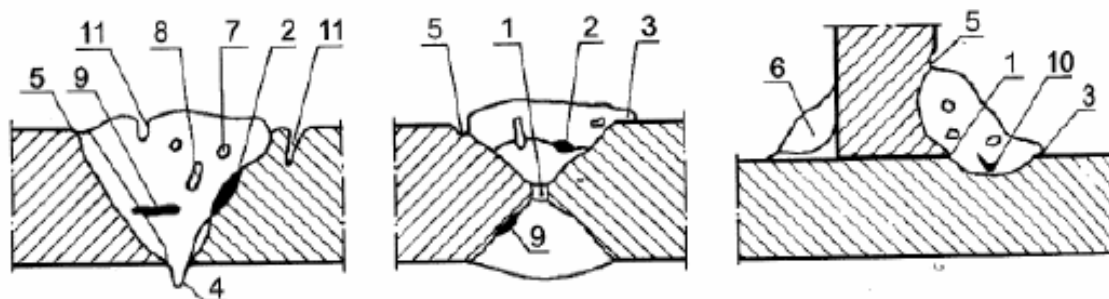
c) pęknięcia promieniowe



Rys. 7.39. Wady kształtu spoin:
a) nadmierny przetop grani, b) nierówność lica, c) podtopnienie lica,
d) podtopnienie grani, e) nadmierny nadlew lica, f) wypływ lica



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

<https://www.traskostal.pl/trasko,stal,strona,15,podstrona,6,lang,pl.html>

<https://www.youtube.com/watch?v=hBhsIFIBzNU> – film spawanie

Oznaczenia spoin na rysunkach konstrukcyjnych

1	2	3	1	2	3
Nazwa	Szkic	Symbol	Nazwa	Szkic	Symbol
I			Oustronna V		K
V		∇	Oustronna U		⋈
HV		∇	Oustronna HU		K
Y		Y	Spoina V-U		⋈
HY		Y	Spoina V z podparaniem		⋈
U		Y	Oustronna pachwinowa		▷
HU		Y	Symbole lica		
J		Y			
Pachwinowa		▷	opis	Symbol	
Oustronna V		∇	wklęsła	⌒	
Spoina X		X	płaska		
Oustronna HV		K	wypukła	⌒	
Spoina K		K	Przykłady:		
Oustronna Y		Y	Pachwinowa lico wklęsłe		▷
			Spoina V z płaskim litem i podparaniem		⋈

