



Badania niszczące przeprowadzane na złączach spawanych

PLAN PREZENTACJI



Niszczące metody badania połączeń spawanych

Budowa złącza spawanego

Ważniejsze metody badania złączy spawanych – podział

Kontrola i badania złączy próbných realizowane na etapie zatwierdzania technologii spawania

Rozmieszczenie próbek do badania dla złącza doczołowego (płyta/blacha)

Rozmieszczenie próbek do badania w złączu teowym

Podstawowe badania niszczące

I. Statyczna próba rozciągania

Przygotowanie złączy ze spoinami czołowymi

Statyczna próba rozciągania złączy zakładkowych i krzyżowych (złącza ze spoinami pachwinowymi)

II. Statyczna próba zginania

Sposoby realizacji próby zginania

Przykładowe rezultaty próby zginania

III. Próba udarności

Idea badania udarności

IV. Próby twardości - wprowadzenie

Idea pomiaru twardości złączy spawanych

Przykładowe rezultaty badań twardości

V. Badania metalograficzne

Zakres stosowania badań metalograficznych

Współczesne spawalnictwo

Przykładowe rezultaty badań makroskopowych

Przykładowe rezultaty badań mikroskopowych

Próba technologiczna – próba łamania

Sposoby realizacji próby

Przykładowe rezultaty próby łamania

Niszczące metody badania połączeń spawanych



Cel badań: Stwierdzenie zgodności wymaganych cech materiałów z wymaganiami odpowiednich norm przedmiotowych, przepisów, dokumentacji konstrukcyjnej i warunków technicznych odbioru.

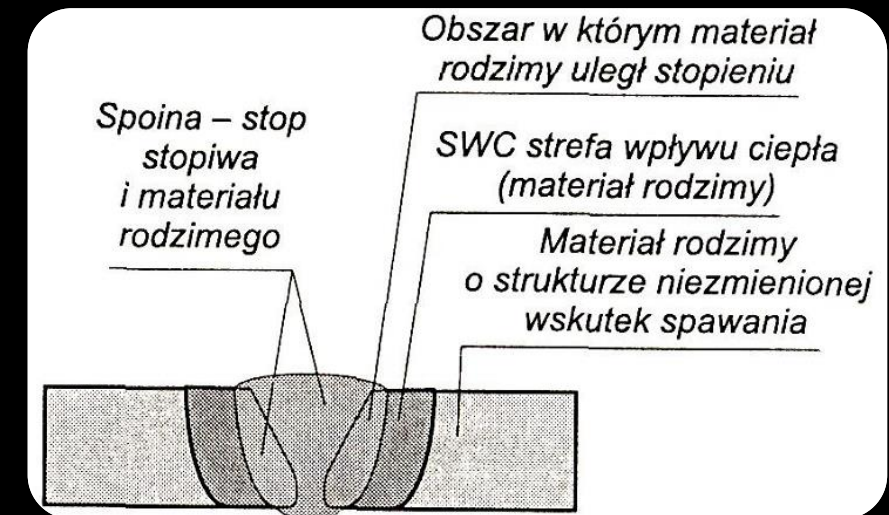
DEFINICJE:

- **technologia spawania** określony przebieg działania, który należy stosować podczas wykonywania spoiny, obejmujący proces(y) spawania, odniesiony(-e) do materiałów, materiałów dodatkowych do spawania, przygotowania, wstępnego podgrzewania jeśli konieczne), metod i kontroli spawania i obróbki cieplnej po spawaniu jeśli jest istotna) i koniecznego do zastosowania sprzętu
- **złącze próbne** zespół spawany który jest używany do badania
- **próbka do badania** część lub odcinek wycięty ze złącza próbnego w celu przeprowadzenia określonego badania niszczącego
- **niezgodność** nieciągłość w spoiwie lub odchylenie od przewidzianej geometrii; niezgodnościami są np. pęknięcia, brak wtopienia, porowatość, wtrącenia żużla
- **badanie technologii spawania** wykonanie i badanie znormalizowanego złącza próbnego celem kwalifikowania technologii spawania

Niszczące metody badania połączeń spawanych



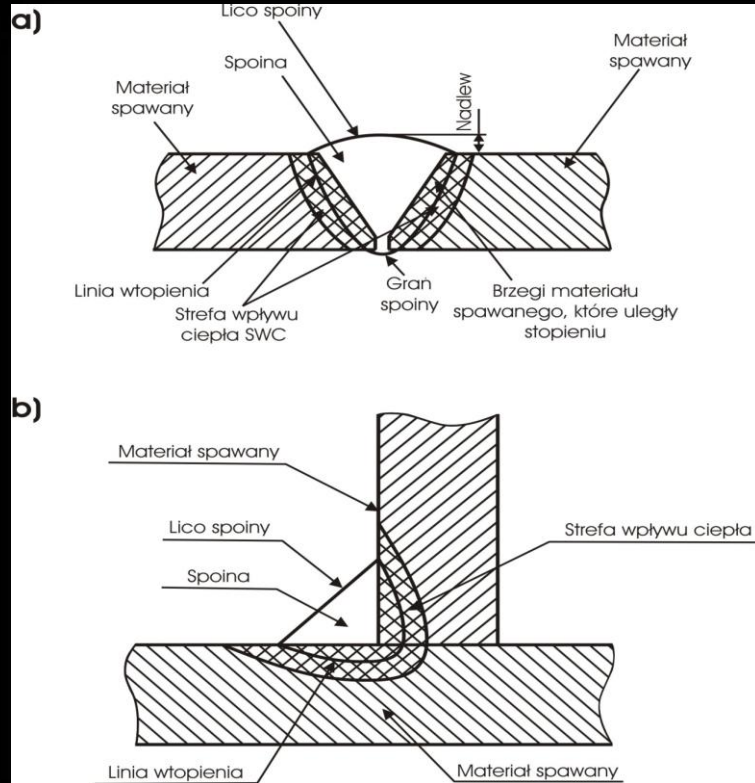
- **badanie przedprodukcyjne spawania** badania spawania mające to samo zadanie co badanie technologa spawania lecz bazując na nie znormalizowanym złączu próbnym, reprezentującym warunki produkcyjne
- **instrukcja technologiczna spawania (WPS)** dokument zawierający wymagane zmienne technologii spawania, zakwalifikowanej według jednej z metod kwalifikowania technologii, aby zapewnić powtarzalność podczas spawania produkcyjnego
- **W złączu spawanym wyróżnia się trzy strefy:**
 - spoinę – utworzoną z metalu, który w procesie spawania uległ przetopieniu;
 - strefę wpływu ciepła (SWC) – tj. strefę materiału spawanego strukturze zmienionej wskutek cieplnego oddziaływania źródła ciepła;
 - strefę materiału spawanego.



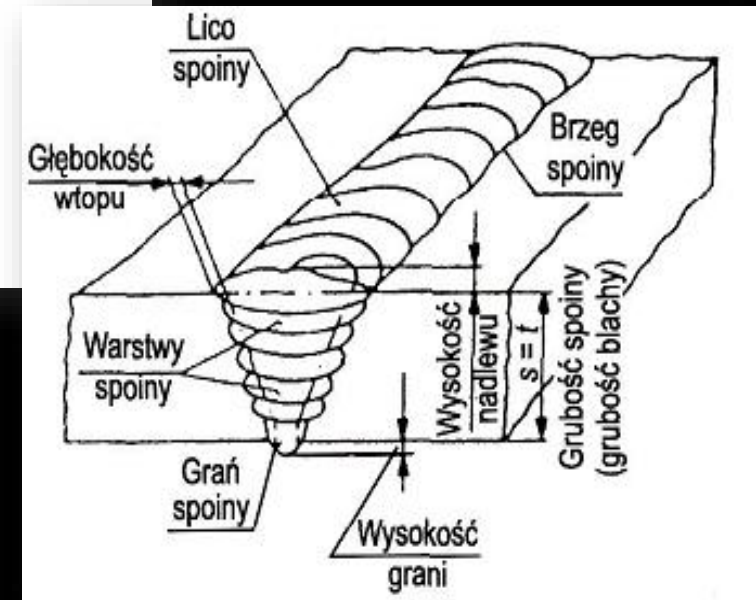
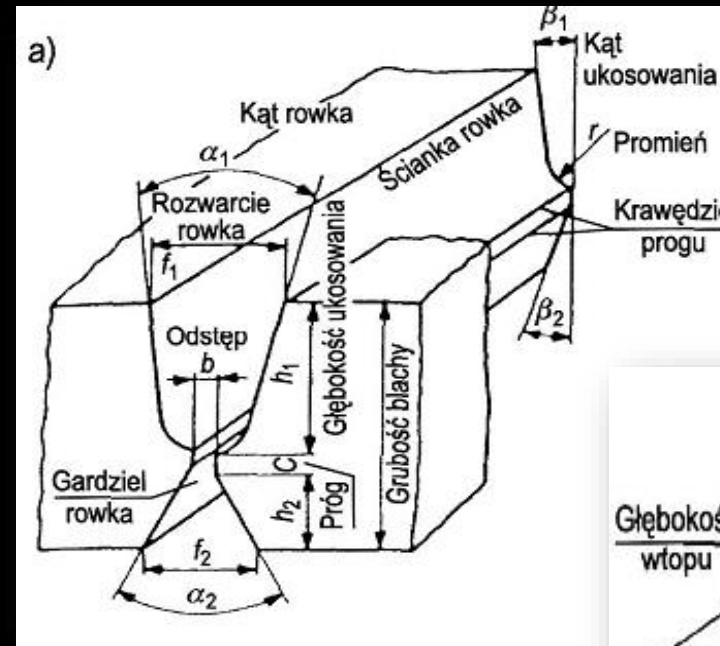
Budowa złącza spawanego

Budowa poprawnie wykonanego złącza spawanego:

- a) ze spoiną czołową,
- b) ze spoiną pachwinową.



Elementy rowka spiny czołowej dwustronnej i jednostronnej



Złącza doczołowe TIG i MAG, grubość 10 mm

Ważniejsze metody badania złączy spawanych - podział



Niszczące

- Metalograficzne
 - Makroskopowe
 - Mikroskopowe
- Mechaniczne
 - Próba rozciągania
 - Próba zginania
 - Próba łamania
 - Próba udarności
 - Próba twardości
- Chemiczne (skład chemiczny)
- Korozyjne

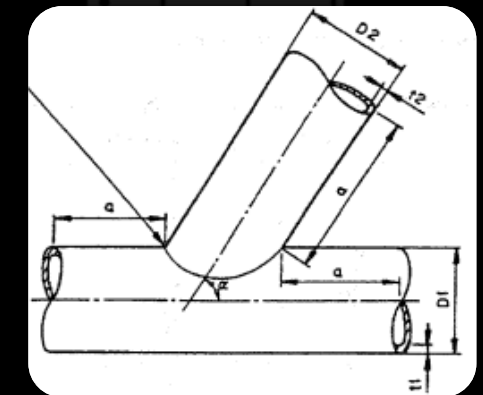
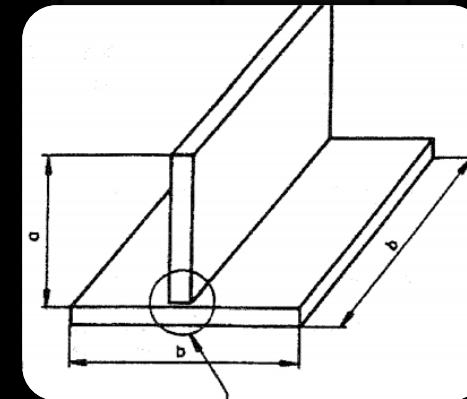
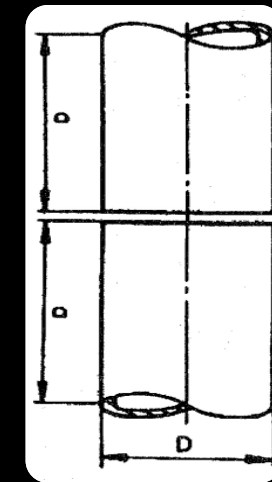
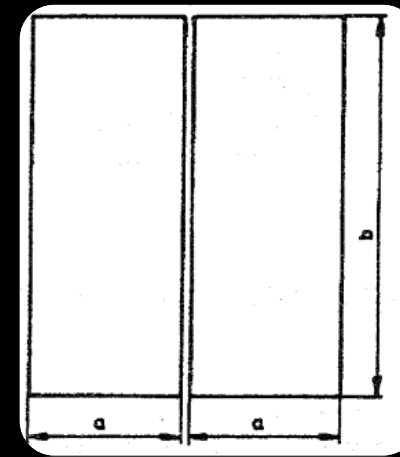
Nieniszczące

- Badania wizualne (VT)
- Badania penetracyjne (PT)
- Badania magnetyczno-proszkowe (MT)
- Badania radiograficzne (RT)
- Badania ultradźwiękowe (UT)
- Badania szczelności (LT)
- Badana prądami wirowymi (ET)

Kontrola i badania złączy próbných realizowane na etapie zatwierdzania technologii spawania



Złącze próbne	Rodzaj badań	Zakres badań	
Złącze doczołowe z pełnym przetopem - rysunek 1 i rysunek 2	Wizualne	100%	
	Radiograficzne lub ultradźwiękowe	100%	
	Wykrywanie pęknięć powierzchniowych	100%	
	Badanie na rozciąganie poprzeczne	2 próbki	
	Badanie na zginanie poprzecznego	4 próbki	
	Badanie udarności	2 zestawy	
	Badanie twardości	wymagane	
Złącze teowe z pełnym przetopem - rysunek 3	Wizualne	100%	
	Wykrywanie pęknięć powierzchniowych	100%	
	Odgałęzienie rurowe z pełnym przetopem - rysunek 4	Ultradźwiękowe lub radiograficzne	100%
		Badanie twardości	wymagane
	Badanie makroskopowe	2 próbki	
Spoiny pachwinowe - rysunek 3 i rysunek 4	Wizualne	100%	
	Wykrywanie pęknięć powierzchniowych	100%	
	Badanie twardości	wymagane	
	Badanie makroskopowe	2 próbki	



Oznaczenie złączy próbných

Rozmieszczenie próbek do badania dla złącza doczołowego (płyta/blacha)



1 Odpad 25 mm od krawędzi złącza

2 Kierunek spawania

3 Obszar dla:

-1 próbki do badania na rozciąganie;

-próbek do badania na zginanie.

4 Obszar dla:

-próbek do badania udarności i badań dodatkowych, jeśli są wymagane.

5 Obszar dla:

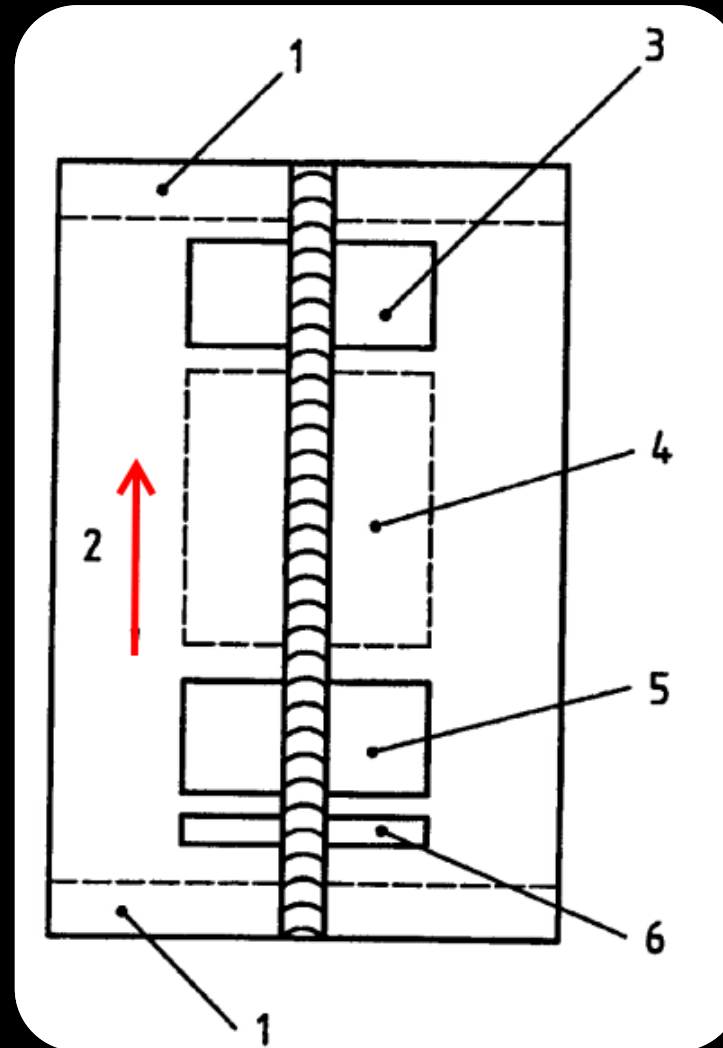
-1 próbki do badania na rozciąganie;

-próbek do badania na zginanie.

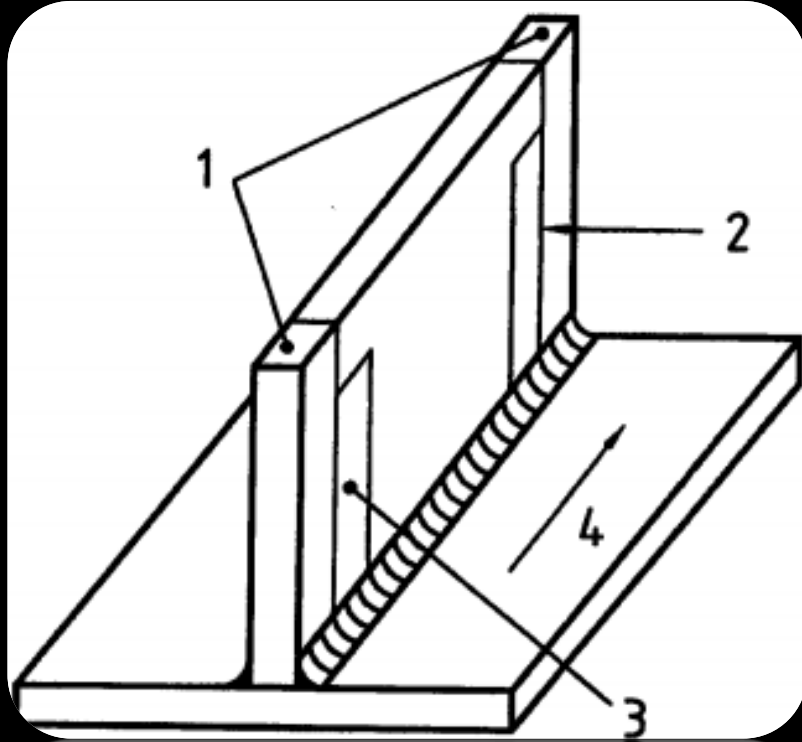
6 Obszar dla:

-1 próbki do badania makroskopowego;

-1 próbki do badania twardości.



Rozmieszczenie próbek do badania w złączy teowym



1. Odpad 25 mm
2. Próbką do badania makroskopowego
3. Próbką do badania makroskopowego i próbką do badania twardości
4. Kierunek spawania





- I. Próba statycznego rozciągania
- II. Próba statycznego zginania
- III. Próba udarności
- IV. Próba twardości
- V. Badania metalograficzne

DODATKOWE BADANIA NISZCZĄCE

- mechanika pękania,
- ściskanie,
- ścinanie,
- tłoczność blach (metoda Erichsena),
- łamanie (próba technologiczna),
- badania zmęczeniowe.
- badania odporności na kruche pęknięcie (gruba płyta)

I. Statyczna próba rozciągania



ZASADA PRÓBY - rozciąganie próbki aż do rozerwania i wyznaczenie jednej lub więcej własności mechanicznych

Wytrzymałość na rozciąganie

$$R_m = \frac{F_m}{S_o} [\text{MPa}]$$

Granica plastyczności

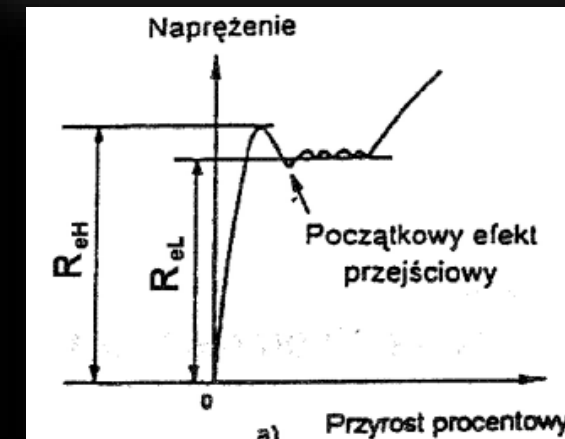
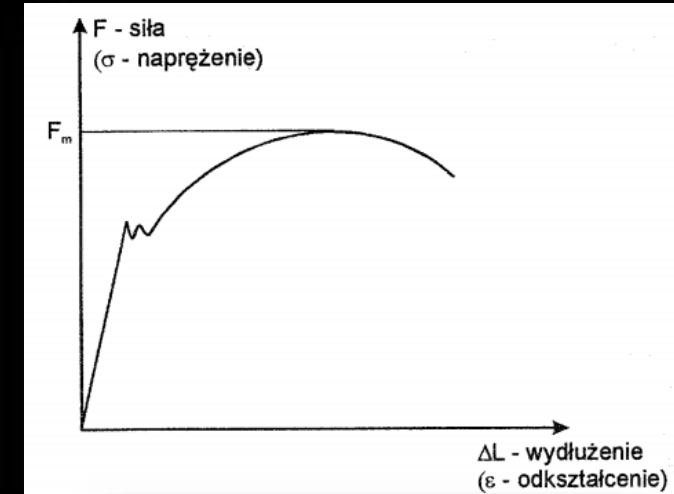
$$R_e, R_{0,2} = \frac{F_e \text{ lub } F_{0,2}}{S_o} [\text{MPa}]$$

Wydłużenie

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \cdot 100\%$$

Przewężenie

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \cdot 100\%$$



R_{eH} - górna granica plastyczności [MPa]

R_{eL} - dolna granica plastyczności [MPa]

* A_{10} – oznacza że wydłużenie względne zbadano na próbkach proporcjonalnych 10-krotnych, czyli takich na których długość pomiarowa jest 10 razy większa od średnicy

Przygotowanie złączy ze spoinami czołowymi



PN-EN ISO 4136 – Badania niszczące spawanych złączy metali – Próba rozciągania próbek poprzecznych.

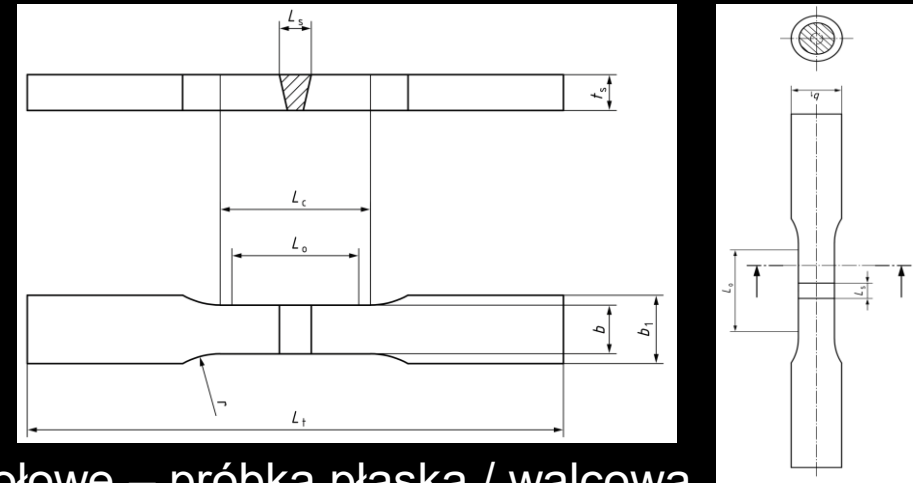
Analiza miejsc zerwania próbki

A) MR - ok

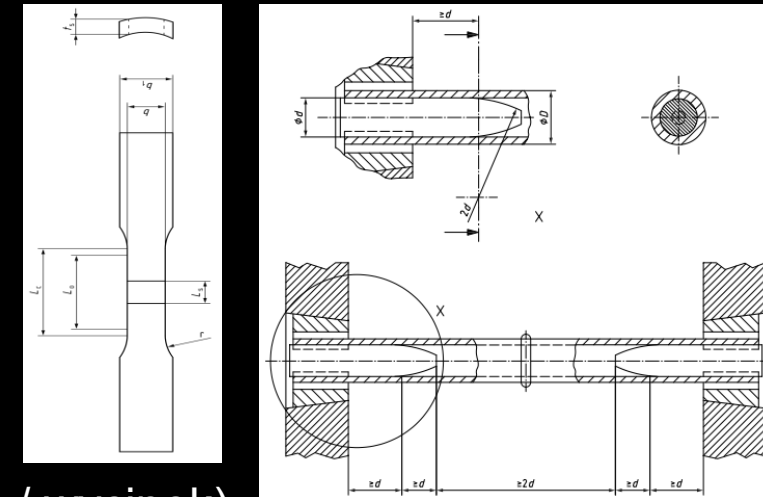
B) Spoina

- niezgodności wewnętrzne i zewnętrzne (pęknięcia, przyklejenia, gniazda pęcherzy i żużli, podtopienia, braki przetopu),
- niewłaściwie dobrane materiały dodatkowe do spawania
- niewłaściwy dobór parametrów spawania w czasie i po spawaniu
 - niska temp. wstępnego podgrzewania
 - niewłaściwa energia liniowa spawania E i ilość wprowadzonego ciepła Q
 - nie przestrzeganie temperatury i czasu obróbki cieplnej po spawaniu

C) SWC niewłaściwy dobór parametrów spawania w czasie i po spawaniu



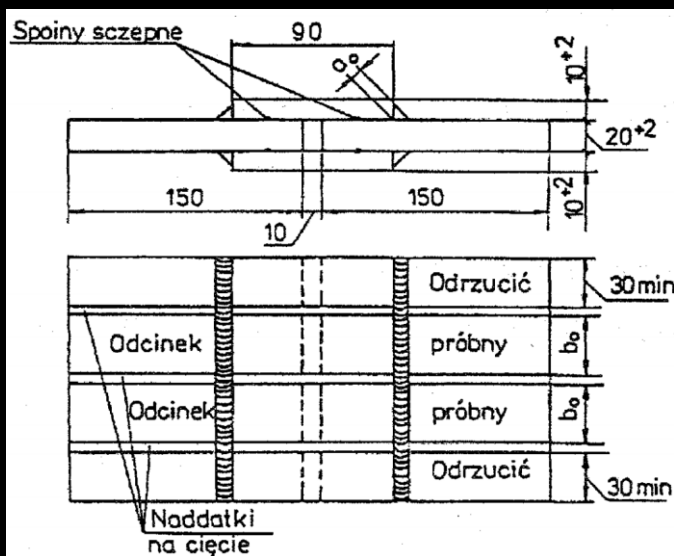
Złącze doczołowe – próbka płaska / walcowa



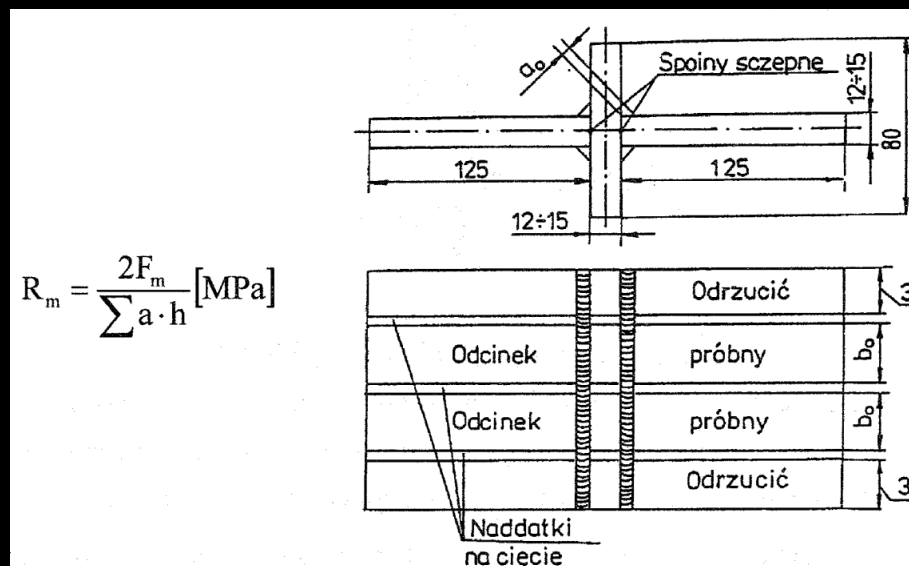
Złącze doczołowe – rura (pełna / wycinek)

Statyczna próba rozciągania złączy zakładkowych i krzyżowych (złącza ze spoinami pachwinowymi)

Złącze zakładkowe



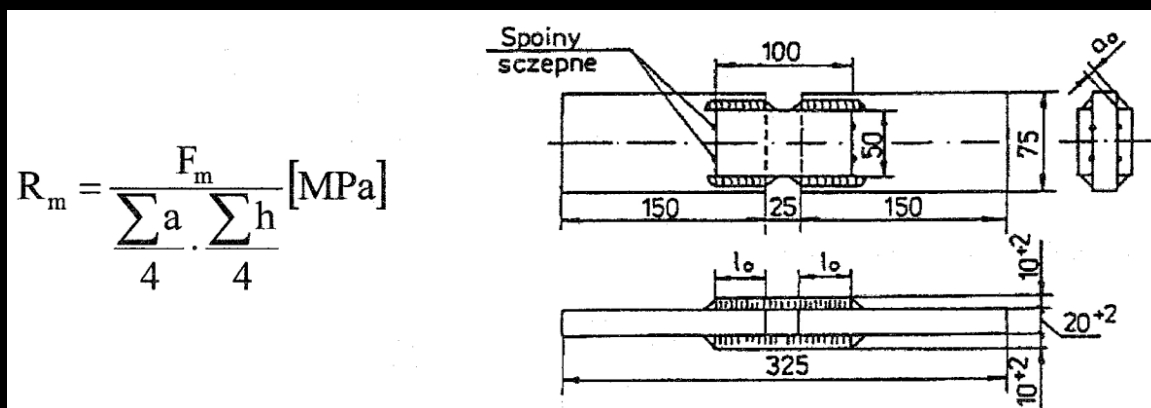
Złącze próbne krzyżowe



$$R_m = \frac{2F_m}{\sum a \cdot h} [\text{MPa}]$$

F_m - największa siła rozciągająca uzyskana podczas próby [N]
 $\sum a \cdot h$ - suma pól przekrojów wszystkich spoin [mm²]

Złącze próbne zakładkowe z spoinami podłużnymi



$$R_m = \frac{F_m}{\sum a \cdot \sum h} [\text{MPa}]$$

$\sum a$ - suma grubości wszystkich 8 spoin [mm]
 $\sum h$ - suma długości wszystkich 8 spoin [mm]

II. Statyczna próba zginania



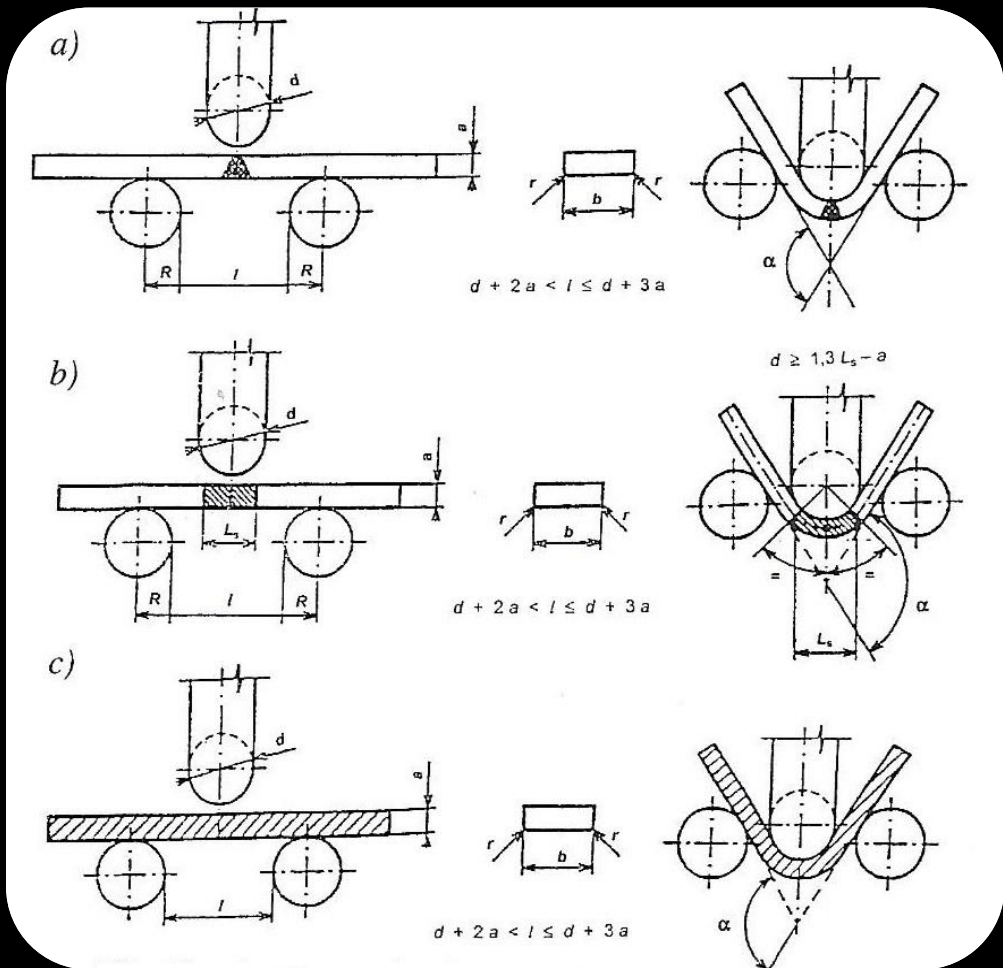
Cel próby

Próba zginania przeprowadzana jest w celu sprawdzenia plastyczności złączy oraz wykrycia ewentualnych niezgodności spawania lub zgrzewania.

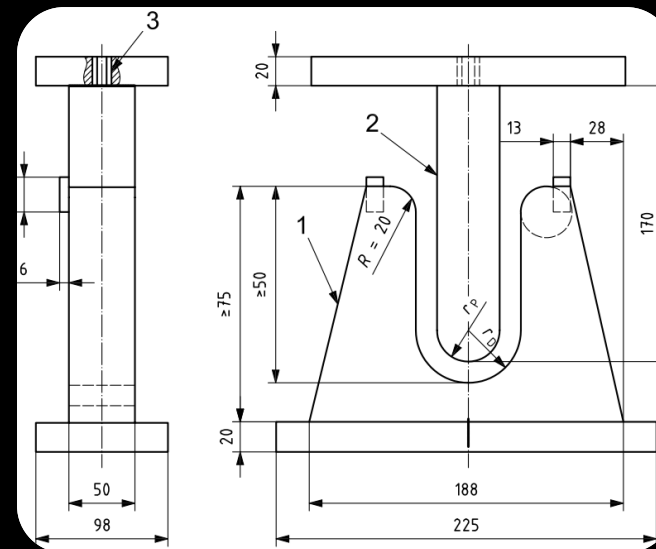
PN-EN ISO 5173:2010 Badanie niszczące spoin w materiałach metalowych – Badanie na zginanie

- Podczas badania próbki nie powinny wykazywać żadnych pojedynczych pęknięć dłuższych niż 3 mm w dowolnym kierunku
- Próbkę znormalizowaną pobiera się wzdłuż lub poprzecznie do osi złącza spawanego i poddaje się ją odkształceniu plastycznemu przez zginanie bez zmiany kierunku gięcia, w ten sposób by jedną powierzchnią złącza lub jego przekroju poprzecznego była rozciągana
- Zależnie od usytuowania płaszczyzny obciążenia można prowadzić zginanie poprzeczne z rozciąganiem od strony
 - Lica
 - Grani
 - Zginanie boczne
 - Wzdłużne

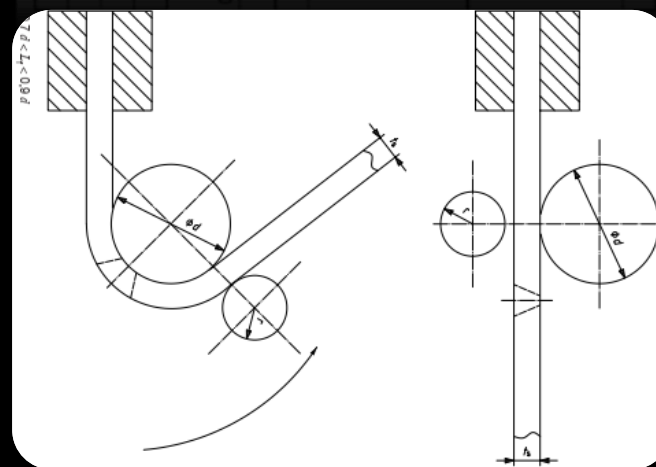
Sposoby realizacji próby zginania



- Metoda próby zginania z trzpieniem gnącym:
- a) próba zginania poprzecznego z rozciąganiem od strony lica lub grani,
 - b) próba zginania bocznego,
 - c) próba zginania wzdłużnego



Urządzenie z trzpieniem gnącym

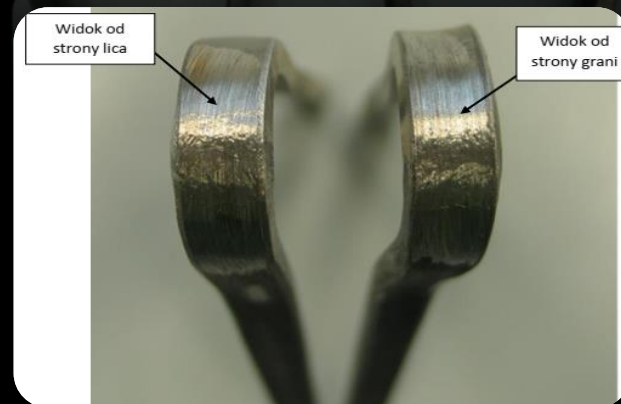
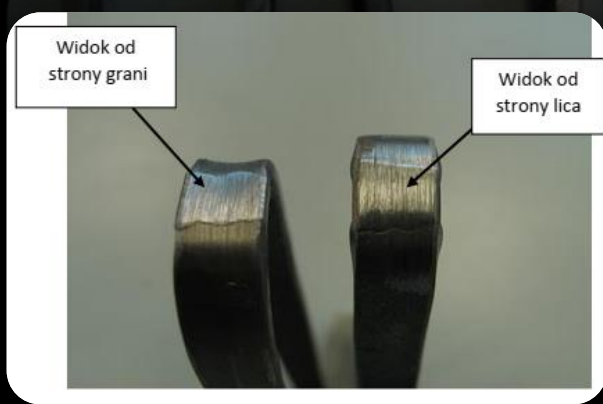


Urządzenie z rolką

Przykładowe rezultaty próby zginania



Urządzenie z trzpieniem gnącym



Próbki po próbie zginania

Próbki 1 oraz 2 zginane od strony lica i od strony grani.

Na podstawie przeprowadzonej próby zginania złączy spawanych przeprowadzonej zgodnie z PN-EN ISO 5173 – 2010 stwierdzono brak niezgodności spawalniczych tj. zgięcie nastąpiło poza spoiną (próbka 1) co sugeruje fakt, iż twardość spoiny jest większe niż próbki 2

III. Próba udarności



CEL PRÓBY: ocena odporności materiału na kruche pękanie. Określenie udarności spoiny, SWC lub łącznej udarności złącza.

PN-EN 875:1999 Spawalnictwo - Badania niszczące spawanych złączy metali -

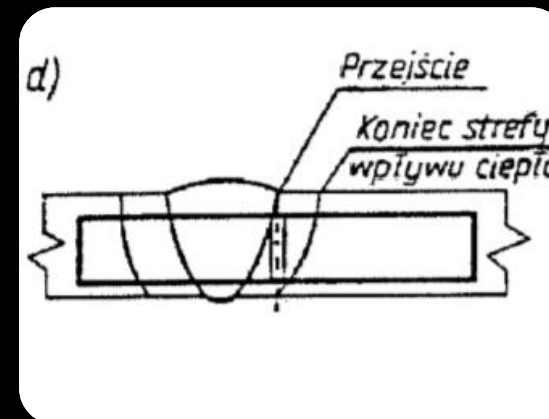
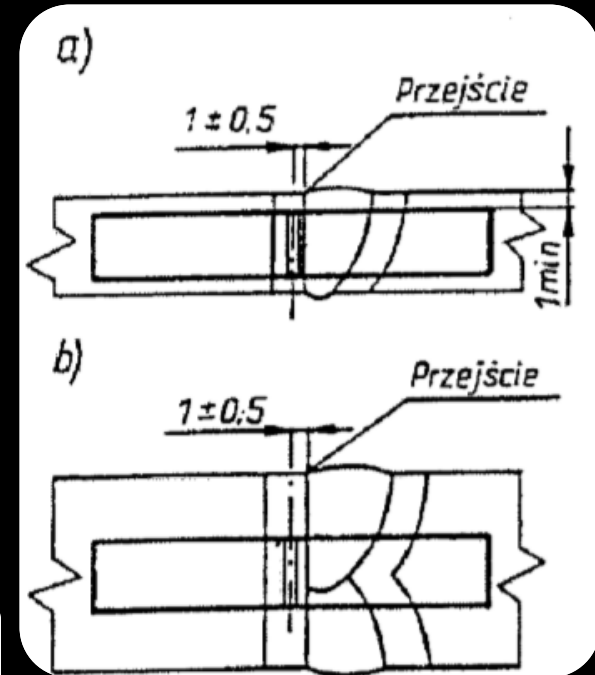
Próba udarności - Usytuowanie próbek, kierunek karbu i badanie

Główne czynniki sprzyjające kruchemu pękaniu:

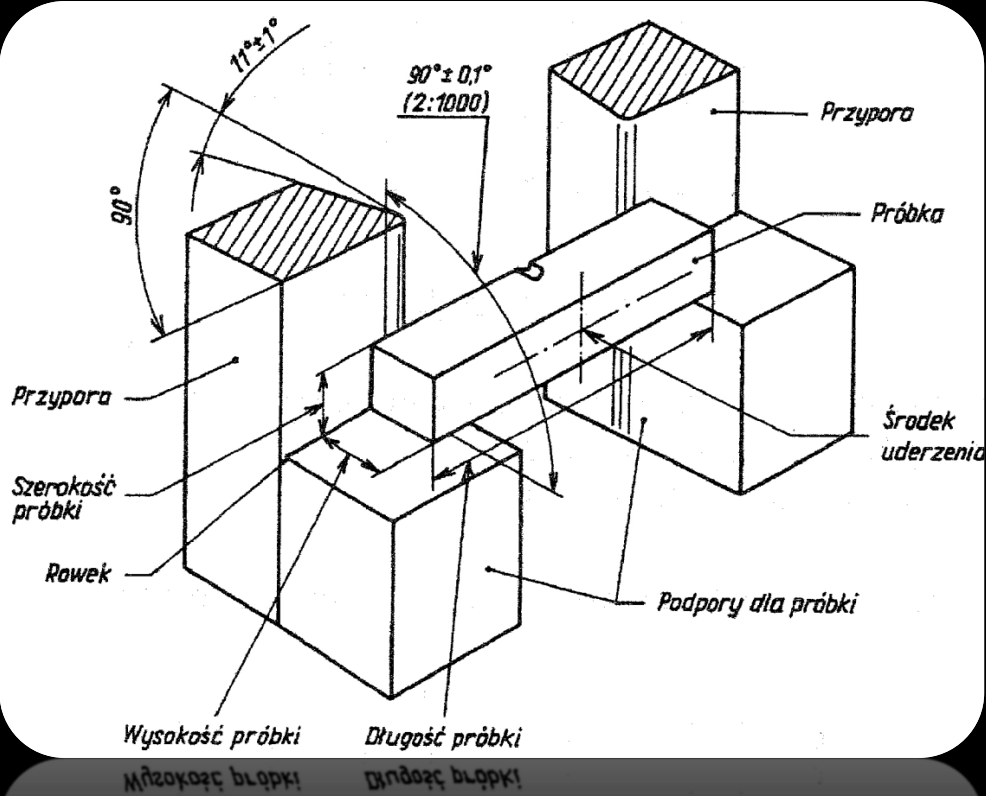
- występowanie ostrego karbu,
- niska temperatura eksploatacji,
- obciążenia udarowe,
- gruboziarnista struktura,
- obecność naprężeń pozostających po spawaniu.

Próbki pobierane w określonych obszarach złącza, karb nacięty w obszarze:

- Metalu spoiny
- SWC
- Na grubości



Idea badania udarności



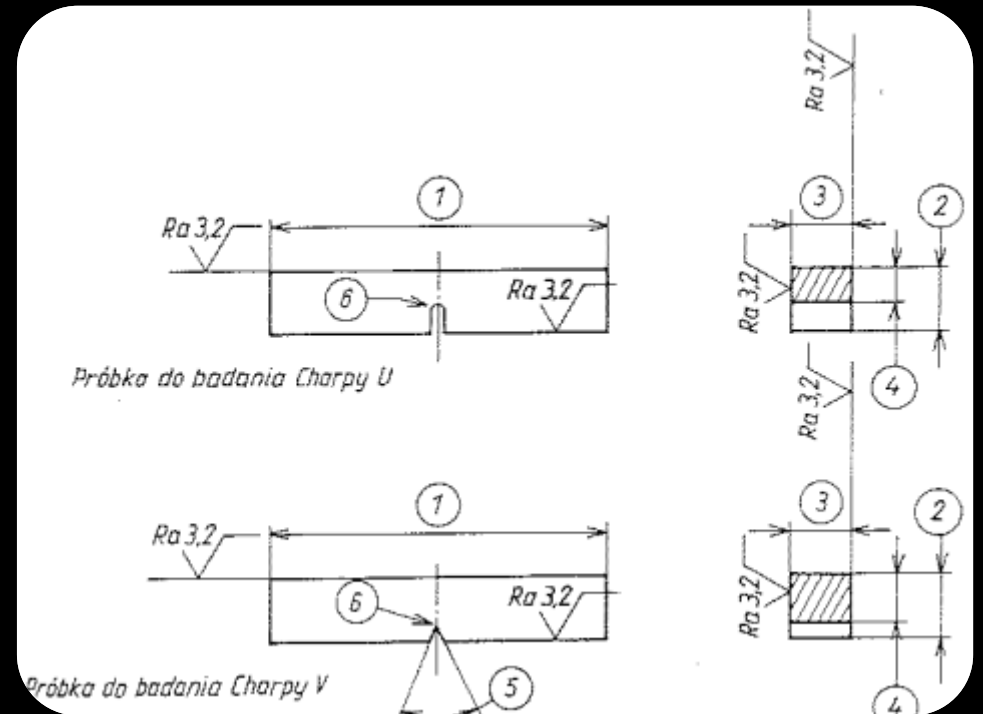
Badania udarności prowadzi się w następujących warunkach:

- w temperaturze otoczenia wg PN-EN 10045-1 ($23 \pm 5^\circ\text{C}$),
- w temperaturach obniżonych,
- w temperaturach podwyższonych.

Miarą udarności jest stosunek pracy, jaka została włożona, aby zniszczyć próbkę, do pola przekroju w miejscu występowania karbu.

$$KCV \text{ lub } KCU = \frac{K}{S_0} [\text{J} / \text{cm}^2]$$

Energia zużyta na złamanie próbki
KCV - próbki z karbem Charpy V [J],
KCU - próbki z karbem Charpy U [J],



IV. Próby twardości - wprowadzenie



SPOSOBY POMIARÓW:

- **Vickersa**

PN-EN ISO 6507-1 „Metale. Pomiar twardości sposobem Vickersa”

- **Brinella**

PN-EN ISO 6506-1 „Metale - Pomiar twardości sposobem Brinella”

- **Rockwella**

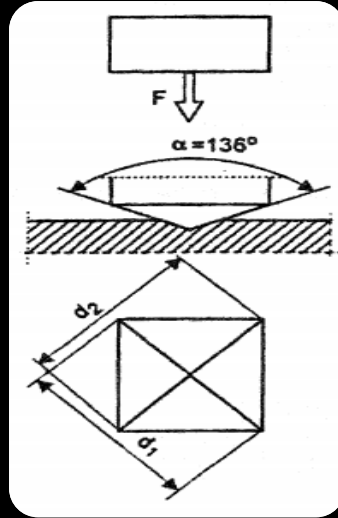
PN-EN ISO 6508-1 „Metale Pomiar twardości sposobem Rockwella”

IV. Próby twardości - wprowadzenie



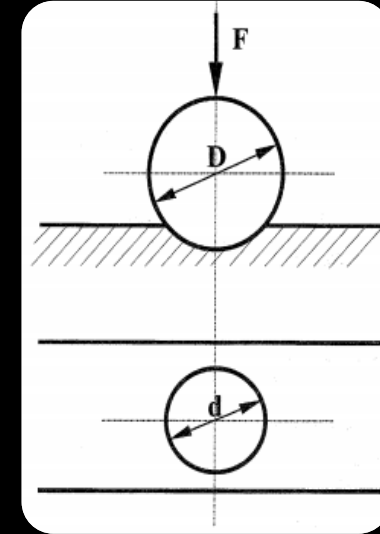
Idea pomiaru twardości sposobem Vickersa

$$HV = 0,189 \cdot \frac{F}{d^2}$$

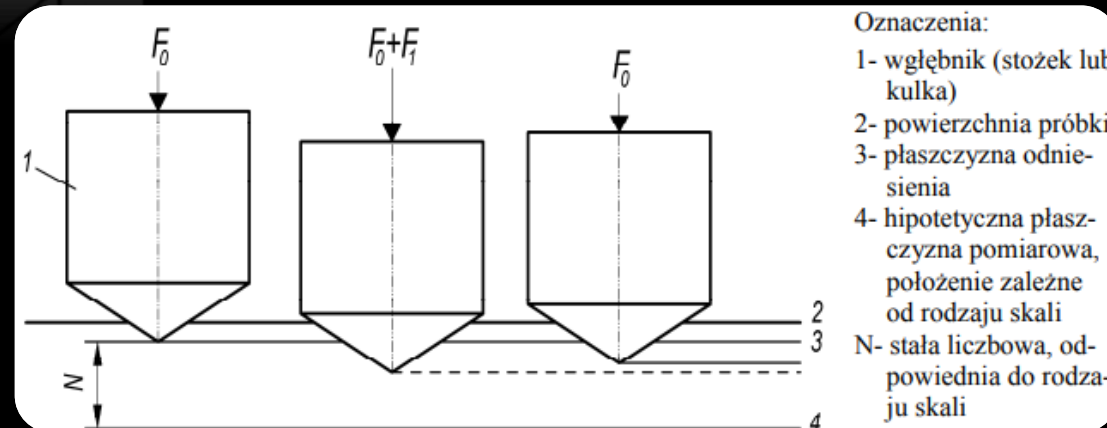


Idea pomiaru twardości sposobem Brinella

$$HB = \frac{0,204 \cdot F}{D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$



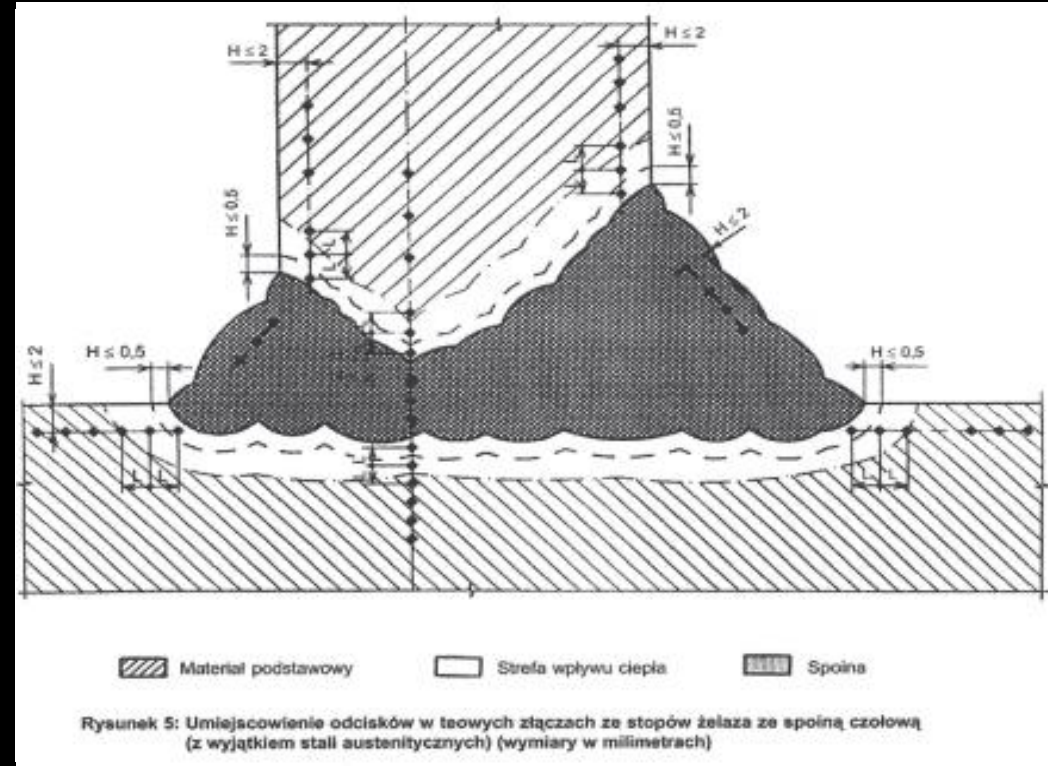
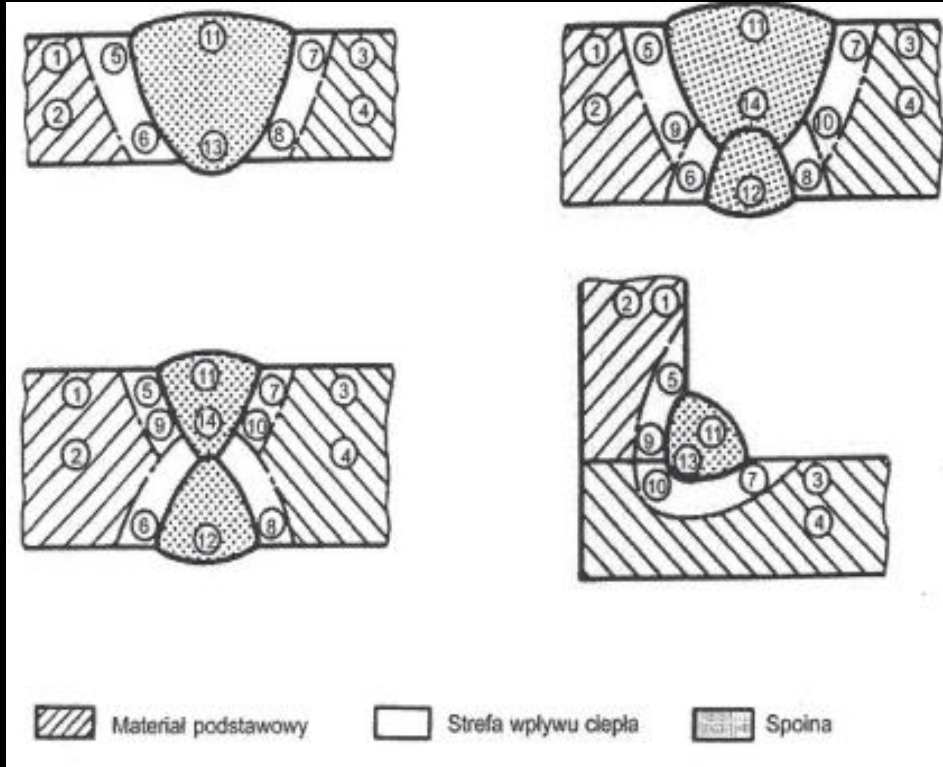
Idea pomiaru twardości sposobem Rockwella



Pomiary twardości złączy spawanych

- PN-EN 1043-1 „Badania niszczące metalowych złączy spawanych. Próba twardości złączy spawanych łukowo.”
- PN-EN 1043-2 „Badania niszczące metalowych złączy spawanych. Próba mikrotwardości złączy spawanych łukowo.”

Przykłady rozmieszczenia obszarów pomiaru twardości za pomocą pojedynczych odcisków (E)



Idea pomiaru twardości złączy spawanych



Tabela. Maksymalna dopuszczalna twardość HV 10 w złączach spawanych

Grupa stali wg PN-CR ISO 15608	Nieobrobione cieplnie	Obrobione cieplnie
1a, 2	380	320
3b	450	380
4.5	380	320
6	-	350
9.1	350	300
9.2	450	350
9.3	450	350

a - jeśli badania twardości są wymagane

b - dla stali $ReH > 890$ MPa powinny być określone specjalne wartości

Pomiar wykonywany w określonych strefach złącza spawanego:

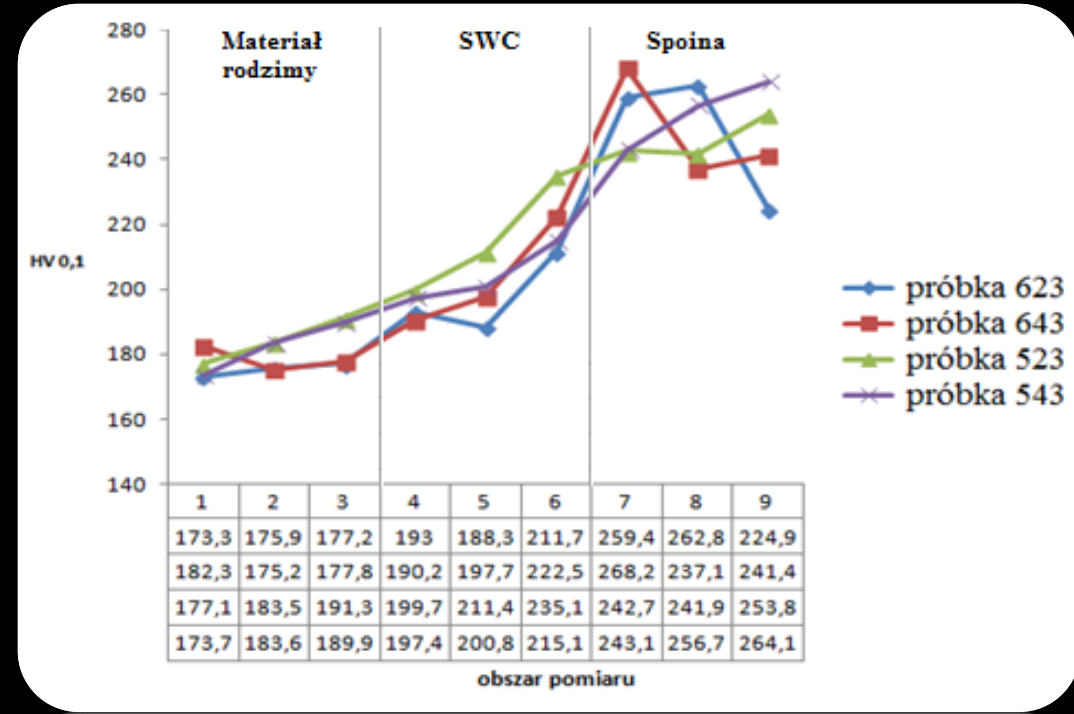
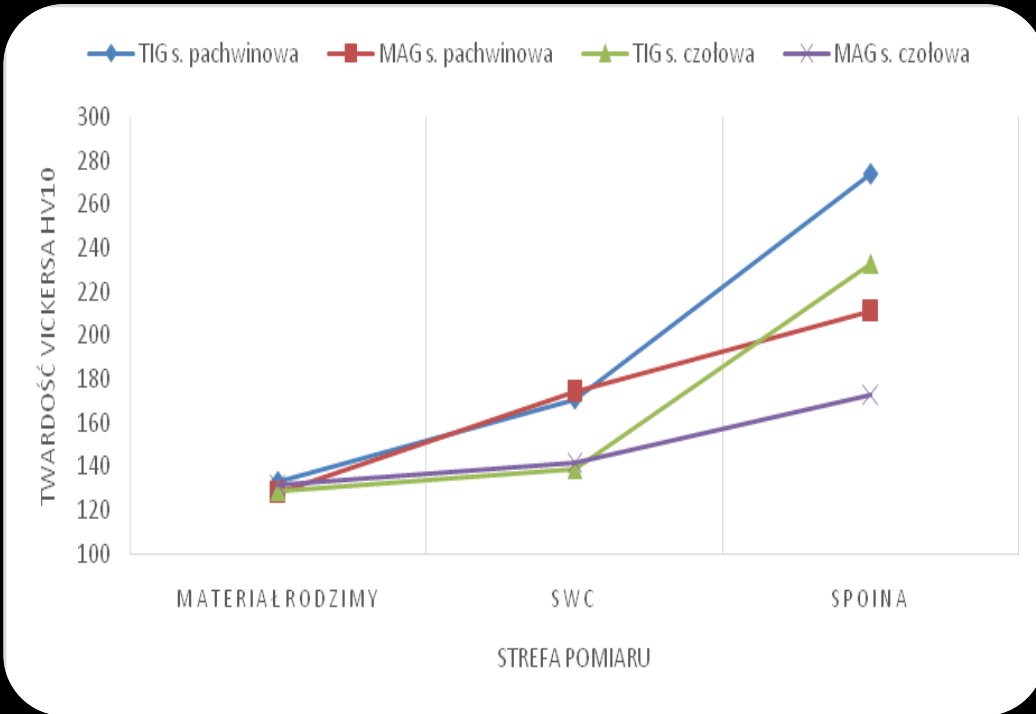
- Spoinie
- Strefie wpływu ciepła (SWC)
- Materiale podstawowym

Każdy rząd odcisków powinien zawierać minimum trzy indywidualne odciski w każdym obszarze.

Dla SWC pierwszy odcisk powinien znajdować się możliwie jak najbliżej linii wtopienia.

Dopuszczalna twardość w zależności od spawanych materiałów podstawowych przedstawia tabela

Przykładowe rezultaty badań twardości



Porównanie wartości twardości w zależności od strefy pomiaru i metody spawania (141 i 135) oraz typu spoiny (pachwinowa, czołowa), materiał podstawowy – stal S355J2

Złącza spawane drutem litym (135) i drutem proszkowym (136). Pozycje spawania PF i PB, stal S355J2
 623 - PF/136, 523 - PF/135
 643 - PB/136, 543 - PB/135

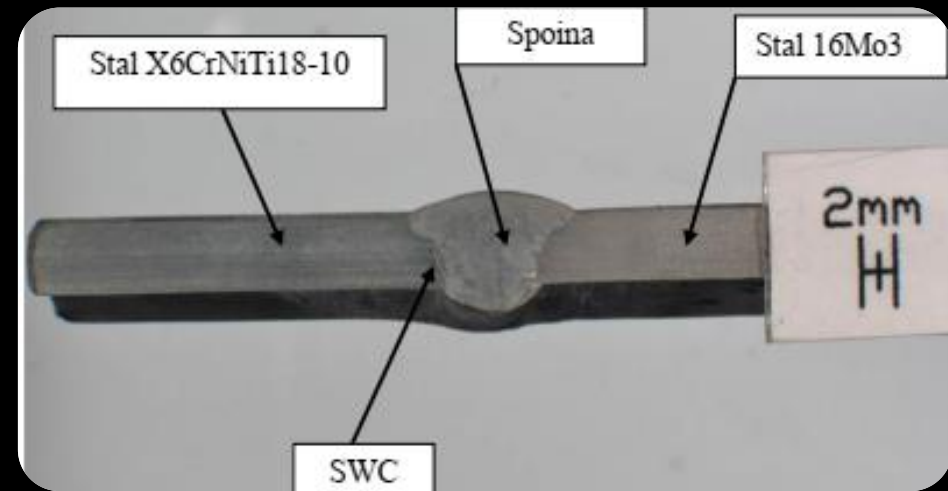
V. Badania metalograficzne



PN-EN ISO 17639:2013-12. Badania niszczące spawanych złączy metali. Badania makroskopowe i mikroskopowe złączy spawanych

Zgląd - odpowiednio przygotowana próbka do badań metalograficznych (makroskopowych lub mikroskopowych).

- Badania makroskopowe
 - Polegają na obserwacji odpowiednio przygotowanych próbek (zglądów) przy powiększeniach większych od 30x
- Badania mikroskopowe
 - Polegają na obserwacji odpowiednio przygotowanych próbek (zglądów) przy powiększeniach większych od 30x, najczęściej wykonywane przy pomocy optycznych mikroskopów metalograficznych, w zakresie powiększeń od 30 do 2000x.
- Procedura
 1. Pobieranie próbek
 2. Szlifowanie zgrubne
 3. Szlifowanie dokładne
 4. Polerowanie (w bad. mikroskopowych)
 5. Trawienie (ujawnianie mikrostruktury)



Makrostruktura różnoimennego złącza doczołowego – rurowego

Zakres stosowania badań metalograficznych



Badania makroskopowe złączy spawanych pozwalają na określenie:

- rodzaju i kształtu złącza (napoiny),
- przybliżonych warunków wykonania złącza (np. metoda, parametry),
- charakteru struktury pierwotnej i wtórnej spoiny wielowarstwowej,
- obecności i rodzaju niezgodności spawalniczych lub wad złącza ujętych w normach EN ISO 6520,
- wielkości i ukształtowania strefy wpływu ciepła,
- makrostruktury i ewentualnych wad w obrębie materiału podstawowego (materiału rodzimego).

Badania mikroskopowe złączy spawanych pozwalają na:

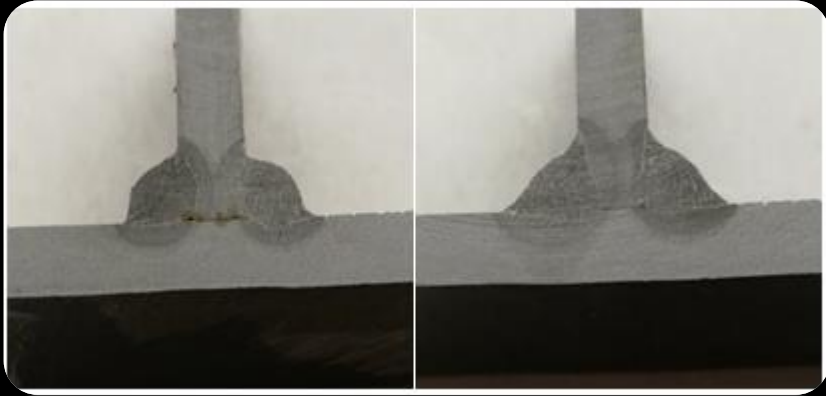
- określenie rodzaju struktur w poszczególnych obszarach złącza spawanego (spoina, SWC, materiał podstawowy),
- identyfikację łączonych materiałów i użytego spoiwa,
- identyfikację niektórych zabiegów obróbki cieplnej i ocenę prawidłowości ich przeprowadzenia,
- wykrycie niezgodności spawalniczych lub wad mikroskopowych złącza spawanego (np. nieciągłości lub nieprawidłowości strukturalnych),
- jednoznaczną identyfikację rodzaju pęknięć makroskopowych.



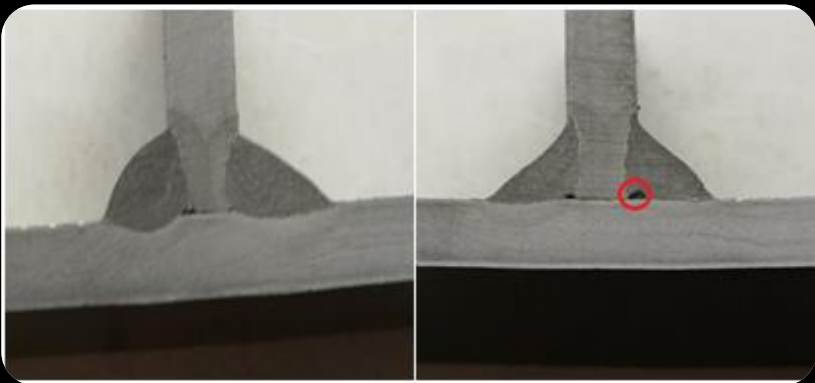
We współczesnym spawalnictwie badania metalograficzne są stosowane

1. w badaniach spawalności (zgrzewalności, lutowalności materiałów przeznaczonych do spawania (zgrzewania, lutowania),
2. przy kontroli kwalifikacji personelu (spawaczy, zgrzewaczy),
3. przy opracowywaniu nowych materiałów dodatkowych do spawania (spoiwa, topniki, mieszanki gazowe),
4. przy opracowywaniu nowych metod spawania, napawania, cięcia termicznego,
5. przy ustalaniu optymalnych warunków spawania, napawania, cięcia termicznego (metoda, technologia, parametry),
6. w bieżącej kontroli procesu spawalniczego (w badaniach złączy lub elementów próbnych),
7. w końcowej kontroli gotowych wyrobów spawanych (zgrzewanych, lutowanych),
8. w badaniach warunków tworzenia się niezgodności i wad spawalniczych,
9. przy ustalaniu przyczyn awarii konstrukcji spawanych, wyrobów spawanych lub napawanych.

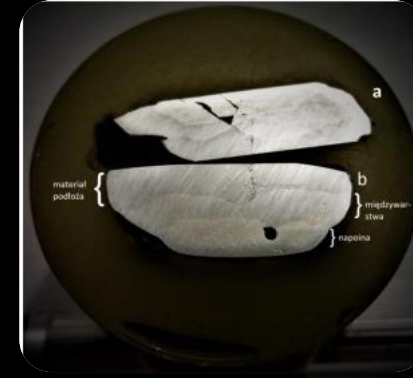
Przykładowe rezultaty badań makroskopowych



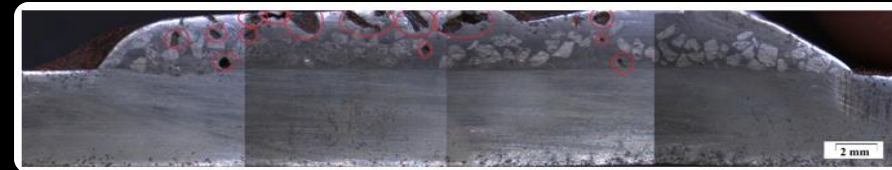
Makrozgłady trawione złączy spawanych drutem litym (MAG), PB i PF



Makrozgłady trawione złączy spawanych drutem proszkowym (MAG), PB i PF



Próbka napawana stellem 1, bez międzywarstwy i z międzywarstwą 308LSi. Przed i po zgnioście.

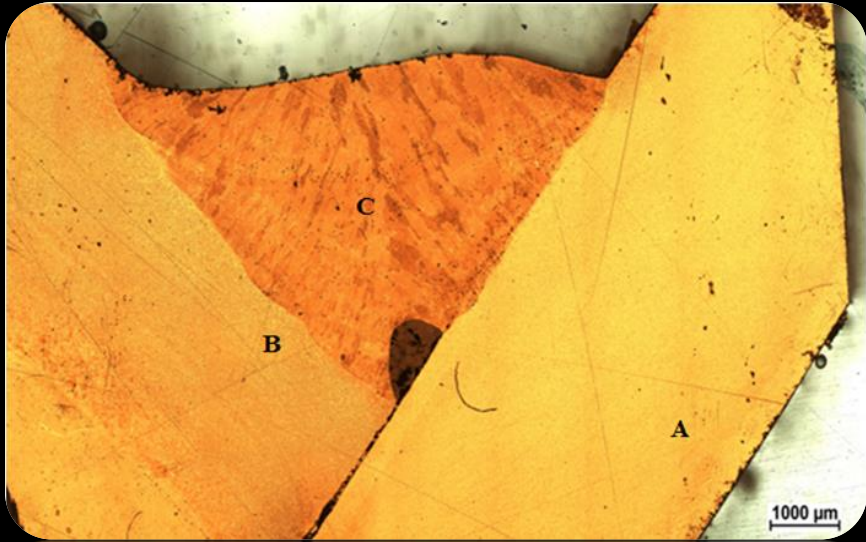


Napoina kompozytowa Fe-WC, napawanie gazowe

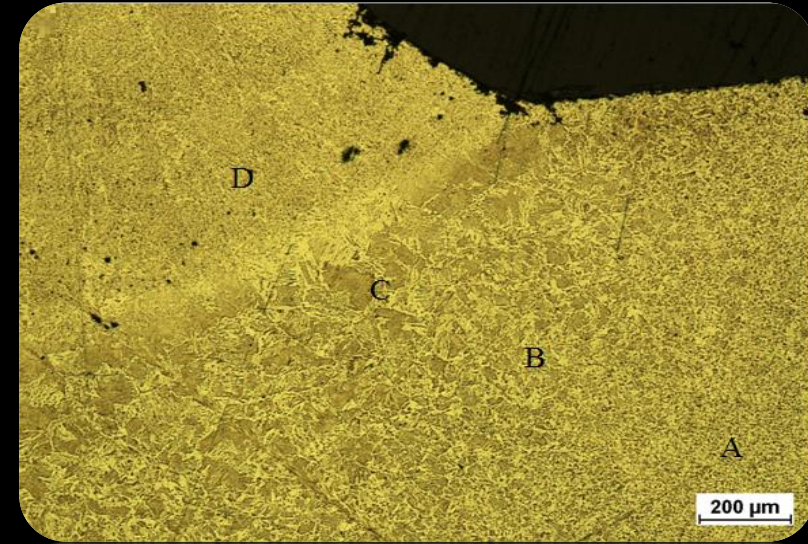


Napoina wykonana drutem proszkowym, grubość podłoża 15 mm

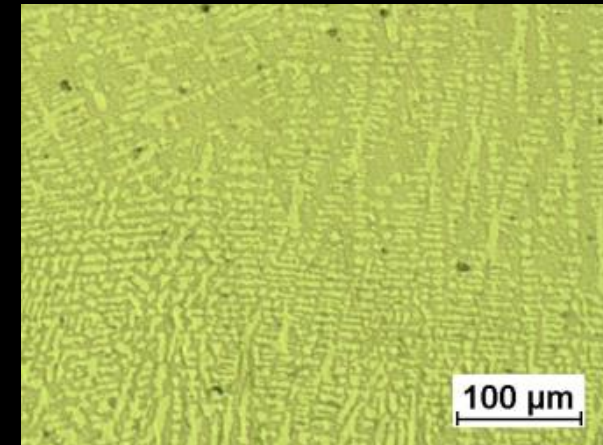
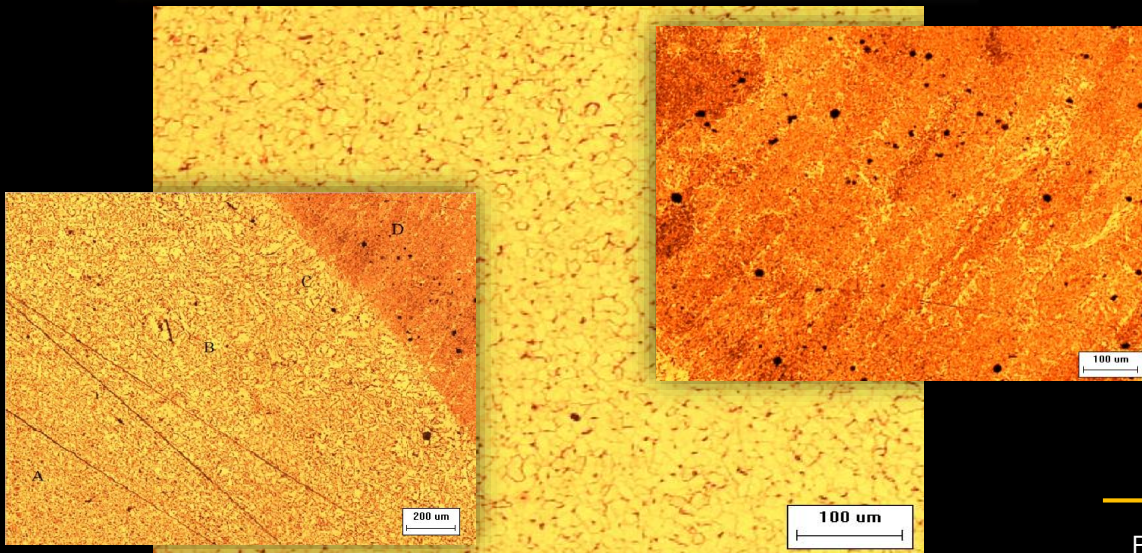
Przykładowe rezultaty badań mikroskopowych



Zdjęcie panoramiczne mikrostruktury spoiny drut proszkowy, PB: A- materiał rodzimy, B - SCW, C - spoina



Mikrostruktura strefy wpływu ciepła połączenia wykonanego drutem litym (próbka 523): A - w obszarze przekryształowania, B – w obszarze normalizacji, C - w obszarze przegrzania, oraz spoiny- D



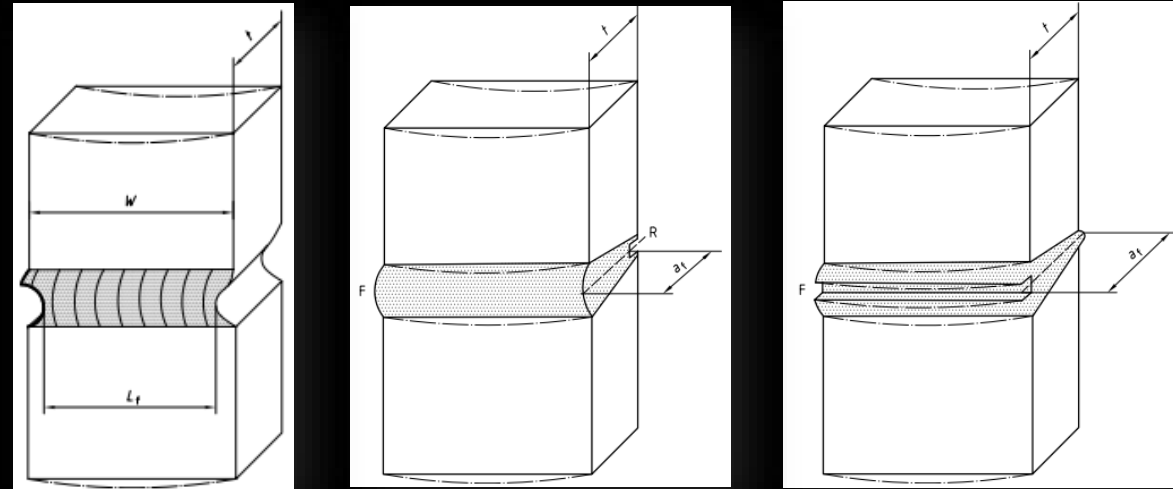
Mikrostruktura napoiny stelitowej Co-Cr-W-C

Próba technologiczna – próba łamania

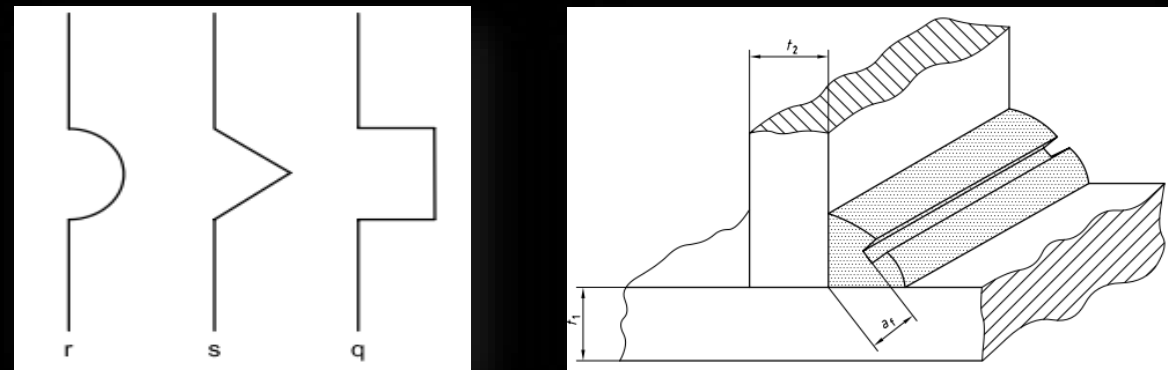


- Cel próby: uzyskanie informacji o typie, rozmiarach i rozkładzie wewnętrznych niezgodności, takich jak pęcherze, pęknięcia, przyklejenia brak przetopu oraz wtrącenia stałe w powierzchni przetopu.
- PN-EN ISO 9017. Badania niszczące spawanych złączy metali -- Próba łamania
- Próbę można ułatwić poprzez usunięcie nadlewów lub nacięcie karbów na obu brzegach spoiny lub w nadlewie spoiny (tzw. Karby wzdluzne)

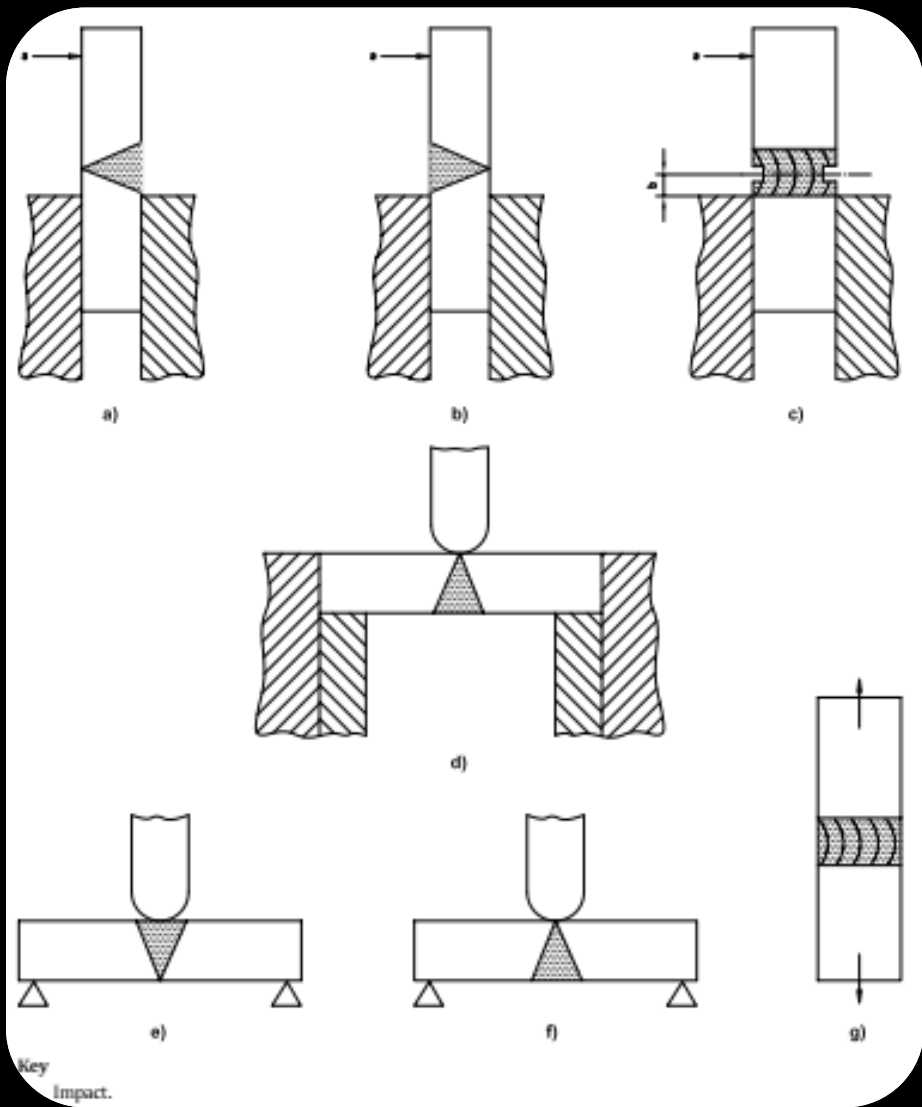
Przygotowanie próbek do próby łamania.



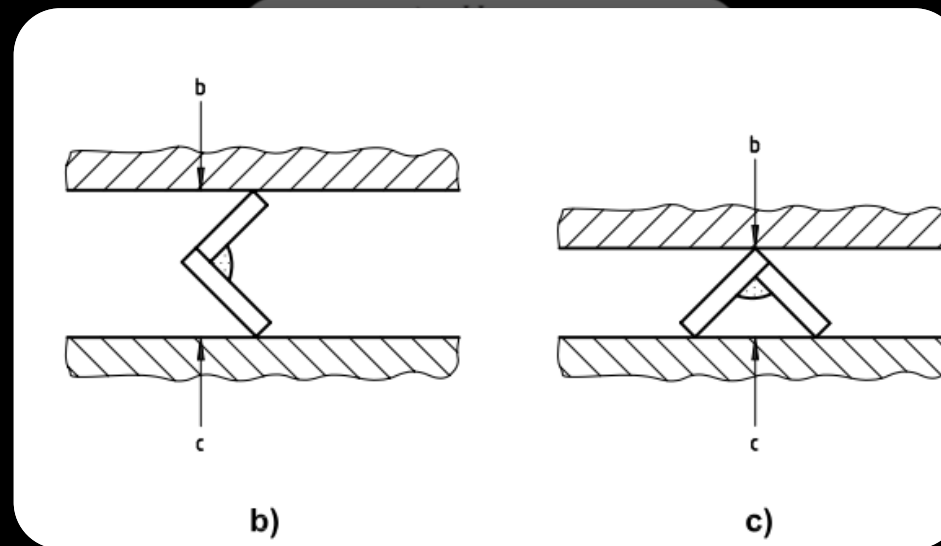
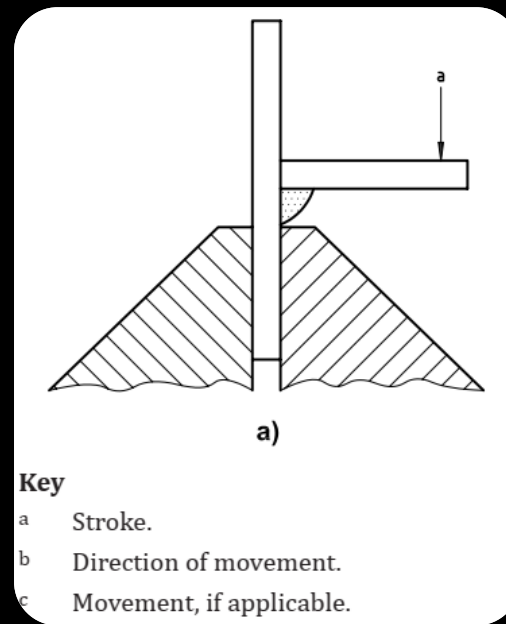
Przykłady nacinanych karbów.



Sposoby realizacji próby



Łamanie złączy ze spoinami czołowymi (BW)

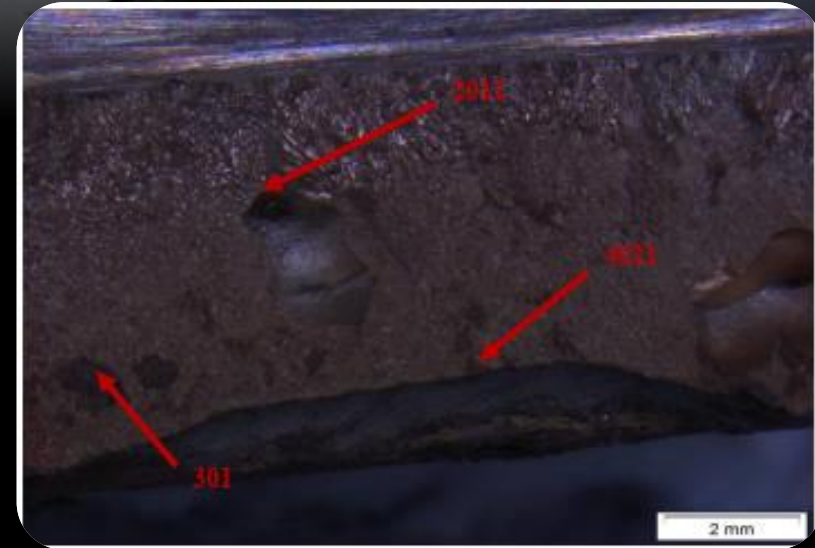


Łamanie złączy ze spoinami pachwinowymi (FW)

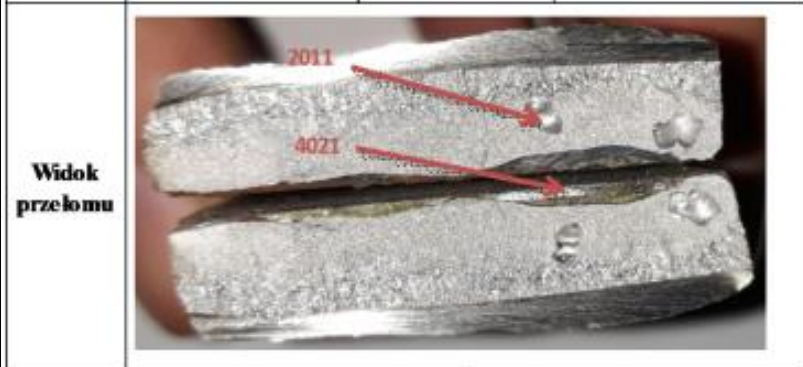
Przykładowe rezultaty próby łamania



Złącza teowe i doczołowe po próbie łamania



Materiał: Stal S235JR	Metoda spawania: 111	Pozycja spawania: PA	Grubość: 5 mm Rodzaj ukosowania: Y Liczba warstw: 2
------------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--



Lp.	Niezgodność	Symbol wg ISO 6520-1
1	Pęcherz gazowy	2011
2	Niepełny przetop grani	4021

Wtrącenie żużla, brak przetopu grani, por gazowy



- Poradnik Inżyniera, Spawalnictwo, Tom I i II, WNT, Warszawa, 2013.
- Krajewski A., Hudycz M., Zapewnienie jakości i kontrola złączy spajanych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2015
- Ferenc K., Spawalnictwo, WNT, Warszawa, 2013
- PN-EN ISO 15607 Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali – Zasady ogólne
- PN-EN ISO 9017. Badania niszczące spawanych złączy metali -- Próba łamania
- PN-EN ISO 15607: Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali - Zasady ogólne
- PN-CR ISO 15608: Spawanie -- Wytyczne systemu podziału materiałów metalowych na grupy
- PN-EN ISO 6520. Spawanie i procesy pokrewne. Klasyfikacja geometrycznych niezgodności spawalniczych w metalach. Spawanie.
- PN-EN ISO 5817. Spawanie - Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązką) - Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ !!!

Badania niszczące przeprowadzane na
złączach spawanych

POLITECHNIKA LUBELSKA
Wydział Mechaniczny
Katedra Inżynierii Materiałowej
dr inż. Mirosław Szala

Projekt „ Politechnika Lubelska – Regionalna Inicjatywa Doskonałości”
– finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego



Ministerstwo
Nauki
i Szkolnictwa
Wyższego

