



MINISTERSTWO EDUKACJI
i NAUKI



Waldemar Kula

**Wykonywanie połączeń spajanych
311[20].Z1.04**

Poradnik dla ucznia

Wydawca

**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2005**

Recenzenci:

mgr inż. Janusz Jasek
mgr Janusz Salmanowicz

Konsultacja:

dr inż. Zbigniew Kramek

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Katarzyna Maćkowska

Korekta:

mgr Edyta Koziół

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 311[20].Z1.04
Wykonywanie połączeń spajanych zawartego w modułowym programie nauczania dla
zawodu technik mechanik.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2005

SPIS TREŚCI

1. Wprowadzenie	4
2. Wymagania wstępne	6
3. Cele kształcenia	7
4. Materiały nauczania	8
4.1. Połączenia klejone	8
4.1.1. Materiały nauczania	8
4.1.2. Pytania sprawdzające	9
4.1.3. Ćwiczenia	10
4.1.4. Sprawdzian postępów	10
4.2. Połączenia lutowane	11
4.2.1. Materiały nauczania	11
4.2.2. Pytania sprawdzające	13
4.2.3. Ćwiczenia	13
4.2.4. Sprawdzian postępów	14
4.3. Połączenia spawane	15
4.3.1. Materiały nauczania	15
4.3.2. Pytania sprawdzające	24
4.3.3. Ćwiczenia	25
4.3.4. Sprawdzian postępów	25
4.4. Przygotowanie materiału do spawania, budowa złącza spawanego, rodzaje złączy i rodzaje spoin	26
4.4.1. Materiały nauczania	26
4.4.2. Pytania sprawdzające	34
4.4.3. Ćwiczenia	34
4.4.4. Sprawdzian postępów	34
4.5. Spawanie gazowe	35
4.5.1. Materiały nauczania	35
4.5.2. Pytania sprawdzające	40
4.5.3. Ćwiczenia	41
4.5.4. Sprawdzian postępów	41
4.6. Spawanie łukowe elektrodą otuloną	42
4.6.1. Materiały nauczania	42
4.6.2. Pytania sprawdzające	44
4.6.3. Ćwiczenia	44
4.6.4. Sprawdzian postępów	45
4.7. Spawanie w osłonie gazów ochronnych	46
4.7.1. Materiały nauczania	46
4.7.2. Pytania sprawdzające	51
4.7.3. Ćwiczenia	51
4.7.4. Sprawdzian postępów	52
4.8. Zgrzewanie elektryczne oporowe	53
4.8.1. Materiały nauczania	53
4.8.2. Pytania sprawdzające	56
4.8.3. Ćwiczenia	56
4.8.4. Sprawdzian postępów	57

4.9. Kontrola złączy spawanych	58
4.9.1. Materiały nauczania	58
4.9.2. Pytania sprawdzające	69
4.9.3. Ćwiczenia	69
4.9.4. Sprawdzian postępów	70
5. Sprawdzian postępów	71
6. Literatura	74

1. WPROWADZENIE

Poradnik będzie Ci pomocny w przyswajaniu wiedzy i umiejętności z zakresu wykonywania połączeń lutowanych, połączeń spawanych, połączeń zgrzewanych, oraz kontroli złączy spawanych.

W poradniku zamieszczono:

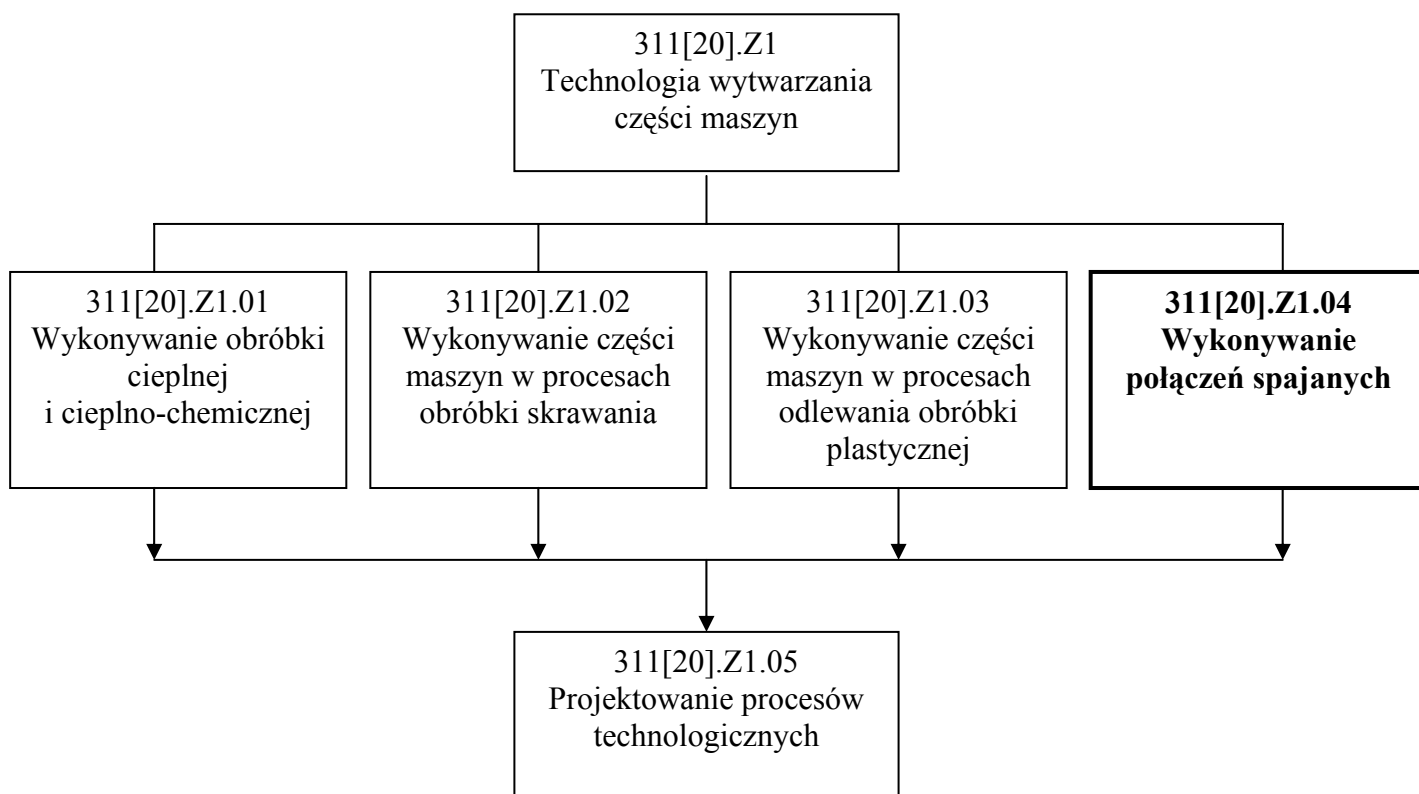
- wymagania wstępne, czyli wykaz niezbędnych umiejętności i wiedzy, które powinieneś mieć opanowane, aby przystąpić do realizacji tej jednostki modułowej,
- cele kształcenia tej jednostki modułowej,
- materiał nauczania (rozdział 4) umożliwia samodzielne przygotowanie się do wykonania ćwiczeń i zaliczenia sprawdzianów. Wykorzystaj do poszerzenia wiedzy wskazaną literaturę oraz inne źródła informacji. Obejmuje on również ćwiczenia, które zawierają:
 - wykaz materiałów, narzędzi i sprzętu potrzebnych do realizacji ćwiczenia,
 - pytania sprawdzające wiedzę potrzebną do wykonania ćwiczenia,
 - sprawdzian teoretyczny,
 - sprawdzian umiejętności praktycznych.
- przykład zadania/ćwiczenia oraz zestaw pytań sprawdzających Twoje opanowanie wiedzy i umiejętności z zakresu całej jednostki. Zaliczenie tego ćwiczenia jest dowodem osiągnięcia umiejętności praktycznych określonych w tej jednostce modułowej. Wykonując sprawdzian postępów powinieneś odpowiadać na pytanie tak lub nie, co oznacza, że opanowałeś materiał albo nie.

Jeżeli masz trudności ze zrozumieniem tematu lub ćwiczenia, to poproś nauczyciela lub instruktora o wyjaśnienie i ewentualne sprawdzenie, czy dobrze wykonujesz daną czynność. Po przerobieniu materiału spróbuj zaliczyć sprawdzian z zakresu jednostki modułowej.

Jednostka modułowa: Wykonywanie połączeń spajanych, której treści teraz poznasz jest jednym z modułów koniecznych do zapoznania się z technologią wytwarzania części maszyn – schemat 1.

Bezpieczeństwo i higiena pracy

W czasie pobytu w pracowni musisz przestrzegać regulaminów, przepisów bhp i higieny pracy oraz instrukcji przeciwpożarowych, wynikających z rodzaju wykonywanych prac. Przepisy te poznasz podczas trwania nauki.



Schemat układu jednostek modułowych

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu nauczania jednostki modułowej powinien umieć:

- korzystać z różnych źródeł informacji,
- wykonywać pomiary wielkości geometrycznych,
- interpretować otrzymane wyniki,
- sprawdzać jakość wykonywanych złączy,
- posługiwać się dokumentacją techniczną,
- rozróżnić gatunki stali.

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- scharakteryzować klejenie,
- określić cel stosowania połączeń klejonych,
- wyjaśnić wpływ zjawiska adhezji na wytrzymałość połączenia klejonego,
- dobrać kleje do spajania różnych materiałów z uwzględnieniem warunków pracy połączenia,
- przygotować materiały do klejenia,
- wykonać połączenie klejone,
- scharakteryzować lutowanie,
- wyjaśnić wpływ zjawiska dyfuzji na wytrzymałość złącza lutowanego,
- dobrać metodę lutowania,
- wykonać połączenie elementów w procesie lutowania miękkiego i twardego,
- scharakteryzować podstawowe procesy spawalnicze,
- wyjaśnić budowę złącza spawanego,
- określić spawalność metali i stopów,
- rozróżnić rodzaje złączy spawanych i rodzaje spoin,
- odczytać oznaczenia spoin, złączy spawanych i elektrod,
- przygotować materiał do spawania,
- rozróżnić urządzenia, przyrządy oraz materiały do spawania gazowego i elektrycznego,
- przygotować stanowisko do spawania gazowego i łukowego ręcznego,
- wykonać połączenie spawane,
- zapobiec odkształceniom i naprężeniom spawalniczym,
- scharakteryzować cięcie gazowe i elektryczne,
- wyjaśnić istotę zgrzewania,
- dobrać metodę zgrzewania do łączenia określonych elementów,
- wykonać połączenie zgrzewane,
- scharakteryzować specjalne metody zgrzewania,
- ocenić jakość wykonanych połączeń spajanych,
- ocenić wybraną technologię spajania pod względem techniczno-ekonomicznym,
- zastosować przepisy bhp, ochrony ppoż. oraz ochrony środowiska podczas wykonywania połączeń spajanych.

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Połączenia klejone

4.1.1. Materiał nauczania

Klejenie jest nowoczesną technologią łączenia różnych elementów, w tym także części maszyn. Rozwój tej technologii jest związany z produkcją coraz to nowszych klejów o znacznie lepszych właściwościach oraz z rozwojem badań wyjaśniających właściwości klejów i połączeń klejonych.

Trwałe połączenie metali o znacznej wytrzymałości złącza można uzyskać klejeniem. Odpowiednio dobrana substancja klejąca rozprowadzona cienką warstwą na uprzednio przygotowanych powierzchniach przewidzianych do połączenia części odznacza się dobrą adhezją, utrzymującą się po skrzepnięciu. Działanie kleju polega głównie na adhezji (przyczepności) oraz kohezji (wewnętrznej spójności).

Proces klejenia metali polega na:

- oczyszczeniu powierzchni metodami chemicznymi lub mechanicznymi,
- dokładnym nałożeniu warstwy kleju (grubości ok. 0,1 mm) na powierzchnie klejone,
- utwardzeniu skleiny w odpowiedniej temperaturze z zachowaniem właściwego nacisku.

Sposób przygotowania powierzchni do klejenia zależy od rodzaju materiału, natomiast przebieg procesu klejenia – od rodzaju kleju.

Klejenie umożliwia łączenie prawie wszystkich materiałów, a więc metali z metalami i niemetalami (drewnem, gumą, tworzywami sztucznymi, szkłem itd.). W niektórych przypadkach klejenie jest praktycznie jedynym sposobem wykonania połączenia, np. w łączeniu bardzo cienkich ścianek lub w łączeniu elementów o bardzo dużej różnicy grubości.

Do podstawowych zalet połączeń klejonych zalicza się:

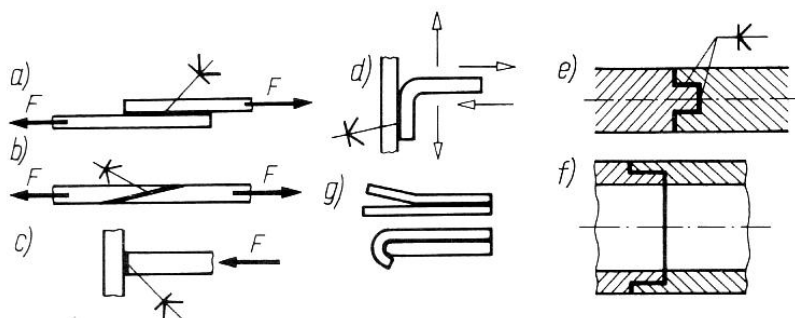
- wykorzystanie pełnej wytrzymałości materiałów łączonych, ponieważ warstwa kleju nie wywołuje naprężeń w materiale i nie osłabia części łączonych,
- uzyskanie zestawu elementów o nienaruszonej powierzchni (bez otworów),
- równomierne rozłożenie naprężeń na całej powierzchni złącza,
- odporność połączeń na korozję,
- zdolność tłumienia drgań itd.

Ponadto klej może uszczelniać złącze, odgrywając rolę uszczelki.

Wśród wad połączeń klejonych należy wymienić:

- możliwość rozwarstwienia połączenia pod wpływem obciążeń,
- małą odporność klejów na zmiany temperatury,
- długi czas utwardzania większości klejów,
- spadek wytrzymałości połączenia z upływem czasu, spowodowany starzeniem się kleju itd.

Przykłady połączeń klejonych przedstawiono na rys. 1. Wśród połączeń zakładkowych pokazano skleiny najkorzystniejsze wytrzymałościowo (rys. 1a, b, e, f). Połączenia klejone czołowo nie powinny być stosowane. Jeżeli jednak jest to konieczne, wówczas należy dążyć, aby skleina pracowała na ściskanie (rys. 1c) lub też zwiększyć przekrój skleiny, np. przez zawinięcie brzegu blachy (rys. 1d).



Rys. 1. Przykłady połączeń klejonych.

Źródło: Rutkowski A.: Części Maszyn. WSiP, Warszawa 1996

Połączenia klejone charakteryzują się małą odpornością na odrywanie, dlatego powinny być projektowane w taki sposób, aby skleina była ścinana lub ściskana, a nie rozciągana i odrywana (rys. 1g).

Do ważniejszych rodzajów klejów stosowanych m.in. w budowie maszyn zalicza się **kleje epoksydowe** (do łączenia metali, szkła, ceramiki i niektórych tworzyw sztucznych oraz do uszczelniania porowatych i popękanych odlewów), **fenolowe** (do łączenia metali, szkła, drewna oraz termoutwardzalnych tworzyw sztucznych), **winyłowe** (do łączenia metali ze sobą, ze szkłem, ceramiką, drewnem oraz tworzywami sztucznymi) i **kauczukowe** (dołączenia gumy ze stalą, mosiądzem lub aluminium).

Nieniszcząca kontrola części klejonych polega na oględzinach zewnętrznych, opukiwaniu i na badaniu ultradźwiękami i promieniami rentgenowskimi. **Kontrola niszcząca** jest wykonywana na wycinkach z gotowych wyrobów lub na próbkach wykonanych równolegle podczas klejenia. Wykonuje się próbki na ścinanie, na oddzieranie i na odrywanie, podobnie jak na próbki klejonych tworzyw sztucznych.

Zasady bezpiecznej pracy podczas klejenia.

Wszystkie operacje w procesie technologicznym klejenia należy wykonywać w rękawicach gumowych oraz w fartuchu szczelnie przylegającym do szyi i przegubu rąk. Wskazane jest pokrywanie skóry rąk, szyi i twarzy kremem ochronnym.

Gdy podczas klejenia ma się do czynienia bezpośrednio z odczynnikami chemicznymi, to należy używać okularów ochronnych. Szczególną uwagę należy zachować przy posługiwaniu się rozpuszczalnikami (szkodliwymi dla zdrowia w tych przypadkach należy pracować przy włączonych wentylatorach i wyciągach).

W pomieszczeniach, w których dokonuje się klejenia, istnieje duże zagrożenie pożarowe i dlatego nie wolno tam palić papierosów ani używać otwartego ognia. Pomieszczenia te powinny być starannie wietrzone.

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Wymień składowe procesu klejenia metali?
2. Opisz, w jaki sposób należy przygotować powierzchnie do klejenia?
3. Wymień zalety połączeń klejonych?
4. Wymień wady połączeń klejonych?
5. Scharakteryzuj badania połączeń klejonych?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Ustalenie kolejności czynności w procesie wykonywania połączenia klejonego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) wyszukać w materiale nauczania i literaturze technicznej informacji o kolejności czynności do wykonania w procesie wykonania połączenia klejonego,
- 2) zapisać kolejności czynności w procesie wykonania połączenia klejonego,
- 3) zaprezentować kolejność czynności w procesie wykonywania połączenia klejonego.

Wypożyczenie stanowiska pracy:

- Poradnik dla ucznia,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia,
- zeszyt przedmiotowy.

Ćwiczenie 2

Wykonanie połączenia klejonego dwóch blach wykonanych ze stopu aluminium o wymiarach 200 mm x 200 mm na zakładkę prostą.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenia powinieneś:

- 1) ustalić kolejność wykonywanych czynności w procesie wykonania połączenia klejonego,
- 2) dokonać doboru kleju do wykonania połączenia,
- 3) przygotować powierzchnie do klejenia,
- 4) przeprowadzić proces klejenia,
- 5) przeprowadzić kontrole wykonanego połączenia na podstawie badań wizualnych,
- 6) zaprezentować wyniki przeprowadzonego ćwiczenia.

Wypożyczenie stanowisk pracy:

- stanowisko dydaktyczne do wykonania połączenia klejonego,
- poradnik dla ucznia,
- literatura zgodna z punktem 6 poradnika dla ucznia,
- zeszyt przedmiotowy.

4.1.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:		
1) wyjaśnić, w jaki sposób należy przygotować powierzchnie do klejenia?	☐	☐
2) opisać składowe procesu klejenia?	☐	☐
3) wskazać 3 rodzaje kleju do wykonania połączenia klejonego?	☐	☐
4) scharakteryzować zalety połączenia klejonego?	☐	☐
5) scharakteryzować wady połączenia klejonego?	☐	☐
6) wykonać połączenie klejone?	☐	☐

4.2. Połączenia lutowane

4.2.1. Materiał nauczania

Charakterystyka i sposoby lutowania

Lutowanie polega na łączeniu metali, pozostających w stanie stałym, za pomocą roztopionego metalu dodatkowego (spoiwa), zwanego lutem. Luty są to materiały o niższej temperaturze topnienia od materiału części łączonych. Rozróżnia się luty miękkie o temperaturze topnienia poniżej 300°C i luty twarde o temperaturze topnienia powyżej 550°C. Roztopiony lut łączy się z materiałem części łączonych dzięki zjawisku kohezji (spójności międzycząsteczkowej) i nieznacznemu dyfundowaniu (przenikaniu) w głąb materiału rodzimego. Przy stosowaniu lutów twardych części łączone należy podgrzać do temperatury powyżej 500°C dla ułatwienia wykonania połączenia.

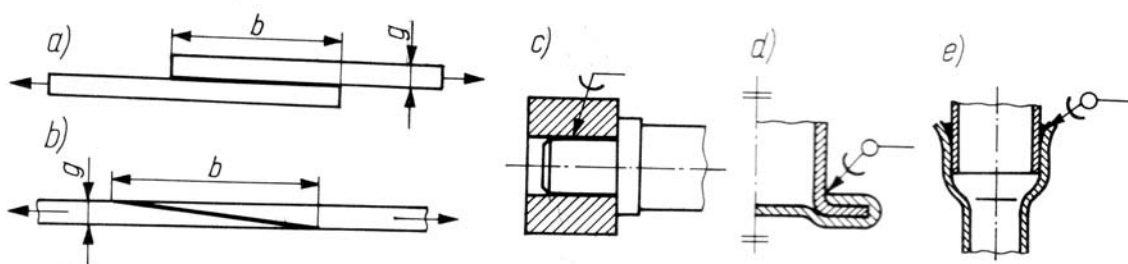
W celu umożliwienia równomiernego rozprządzenia lutu na powierzchniach łączonych należy je starannie oczyścić i odtłuścić. W zależności od rodzaju lutu stosuje się różne topniki (kałafonia, boraks itd.), których zadaniem jest m.in. ostateczne oczyszczenie powierzchni z tlenków.¹

Lutowanie lutami miękkimi (potocznie — lutowanie miękkie) wykonuje się z użyciem lutownicy, palnika gazowego, przez zanurzenie części w roztopionym lucie itp. Do lutowania lutami twardymi (lutowanie twarde) części łączone nagrzewa się prądem elektrycznym, palnikami gazowymi, w piecach itd.

Zastosowanie połączeń lutowanych

Za pomocą lutowania można łączyć prawie wszystkie metale w różnych kombinacjach, elementy metalowe z ceramicznymi itd. Dobór lutu zależy głównie od materiałów części łączonych, warunków pracy połączenia, wymaganej wytrzymałości lutowiny itd.

Lutowanie miękkie stosuje się do połączeń obciążonych niewielkimi siłami, w celu otrzymania połączeń szczelnych (rys. 2) oraz w szerokim zakresie — w elektrotechnice.

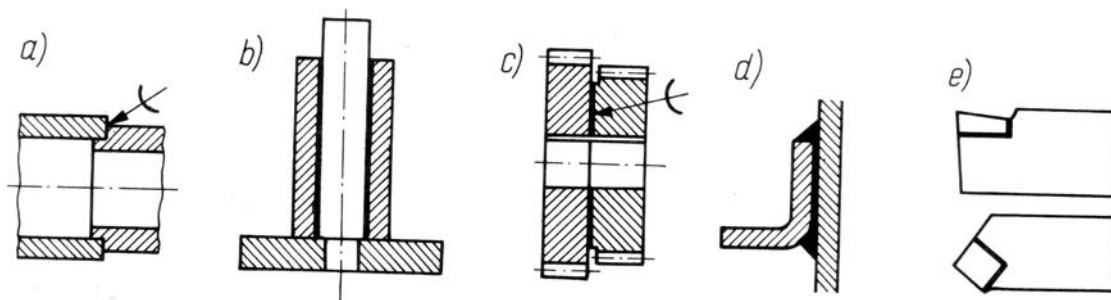


Rys. 2. Połączenia lutowane lutami miękkimi

Źródło: Rutkowski A.: Części Maszyn. WSiP, Warszawa 1996

¹ Rutkowski A.: Części Maszyn. WSiP, Warszawa 1996

Lutowanie twarde umożliwia łączenie blach, kształtowników, części mechanizmów, elementów narzędzi skrawających itd. (rys. 3).



Rys. 3. Połączenia lutowane lutami twardymi

Źródło: Rutkowski A.: Części Maszyn. WSiP, Warszawa 1996

W produkcji seryjnej i masowej lutowanie skutecznie konkuruje z innymi metodami łączenia, ponieważ proces ten jest łatwy do zmechanizowania i zautomatyzowania.

Wytrzymałość połączeń lutowanych. Ze względu na dyfuzję (zjawisko wnikania roztopionego lutu w głąb materiału rodzimego) z metalem łączonym wytrzymałość lutowiny jest większa niż wytrzymałość samego lutu. Zaleca się, aby grubość warstwy lutu wynosiła $0,1 \div 0,2$ mm dla lutów miękkich, a $0,01 \div 0,1$ mm – dla lutów twardych; przy zachowaniu tego warunku uzyskuje się największą wytrzymałość połączenia.

Lutowina może przenosić tylko obciążenia ścinające, natomiast jej wytrzymałość na rozciąganie i zginanie jest niewielka. Wymaga to odpowiedniego ukształtowania połączenia w celu odciążenia lutowiny od sił wywołujących inne naprężenia niż ścinające. Przy obliczaniu wytrzymałości połączeń lutowanych wartość naprężeń dopuszczalnych ustala się na podstawie wytrzymałości lutu na ścinanie R_t , przyjmując współczynnik bezpieczeństwa: $x_m=3$ dla obciążeń stałych oraz $x_m=5$ dla obciążeń zmiennych.

W połączeniach zakładkowych (rys. 2a; 3b) lub czopowych (rys. 2c oraz 3b) możliwe jest spełnienie warunku jednakowej wytrzymałości lutowiny i łączonych materiałów: $S' \cdot k_t' \geq S \cdot k_t$, gdzie S' – pole powierzchni lutowiny.

Rodzaje lutów

Luty dzieli się na miękkie, twarde i szlachetne (srebrne). Luty miękkie są stopami cyny, antymonu i ołowiu o temperaturze topnienia $183 \div 300^\circ\text{C}$ (PN-76/M-69400 i M-69401). Stosuje się również luty niskotopliwe ($t_t = 70 \div 150^\circ\text{C}$), przeznaczone do łączenia materiałów o niskiej temperaturze topnienia lub elementów, które nie powinny się nagrzewać podczas lutowania. Luty twarde są stopami miedzi z cynkiem i innymi składnikami (PN-70/M-69413). Rozróżnia się luty twarde łatwo topliwe ($t_t = 550 \div 875^\circ\text{C}$) i trudno topliwe ($t_t = 875 \div 1100^\circ\text{C}$).

Luty srebrne (PN-80/M-69411) są stopami srebra, miedzi i cynku stosowanymi m.in. do połączeń pracujących w podwyższonych temperaturach, odpornych na korozję oraz w wyrobach precyzyjnych.

Lutospawanie

Jest to odmiana lutowania twardego, wykonywana w sposób podobny do spawania, ale bez nadtapiania materiałów części łączonych. Jako lut stosuje się elektrody lub drut spawalniczy z mosiądzu. Lutospawanie jest stosowane do łączenia materiałów trudno spawalnych (żeliwo szare, brąz, stale wysokowęglowe) oraz dla uniknięcia naprężeń i odkształceń spawalniczych wykonuje się w temperaturze do 850°C .

4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Na czym polega lutowanie?
2. Do jakiej temperatury określamy lutowanie jako miękkie?
3. Powyżej jakiej temperatury określamy lutowanie jako twarde?
4. Podaj zastosowanie połączeń lutowanych?
5. Co to jest lutowanie?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dobieranie lutów i topników do lutowania do wykonania połączenia lutowanego dwóch elementów ze stali ocynkowanej o grubości 0,5 mm o wymiarach 200x200 wykonanych na zakładkę.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) dobrać lut do wykonania połączenia miękkiego zgodnie z PN-76/M-69400 i PN-76/M-69401,
- 2) zanotować parametry techniczne dobranej lutu do wykonania ćwiczenia nr 2,
- 3) przedstawić prezentację wykonanego ćwiczenia z uzasadnieniem doboru lutu i topnika do wykonania połączenia lutowanego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zbiór norm PN-76/M-69400, PN-76/M-69401, PN-70/M-69413, PN-80/M-69411 z zakresu połączeń lutowanych,
- literatura wymieniona w punkcie 6 Poradnika dla ucznia,
- różne rodzaje lutów i topników.

Ćwiczenie 2

Wykonanie połączenia lutowanego dwóch elementów ze stali ocynkowanej o grubości 0,5 mm i wymiarach 200x200 wykonanych na zakładkę.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przygotować stanowisko do wykonania lutowania miękkiego,
- 2) przygotować elementy do wykonania połączenia lutowanego,
- 3) wykonać lutowanie miękkie z zachowaniem przepisów bhp,
- 4) dokonać oceny wizualnej wykonanego połączenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- próbki do wykonania lutowania,
- stanowisko ćwiczeniowe do lutowania,
- lutownica do lutowania,
- materiały pomocnicze do wykonania ćwiczenia.

4.2.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:		
1) wyjaśnić, na czym polega lutowanie miękkie?	☐	☐
2) scharakteryzować lutowanie twarde?	☐	☐
3) wyjaśnić zjawisko kohezji w procesie lutowania?	☐	☐
4) wyjaśnić w jakim celu stosuje się topniki w procesie lutowania twardego?	☐	☐
5) wykonać połączenie lutowane miękkie?	☐	☐
6) dokonać oceny wizualnej wykonanego połączenia lutem miękkim?	☐	☐

4.3. Połączenia spawane

4.3.1. Materiał nauczania

Procesy spawania klasyfikuje się przede wszystkim ze względu na źródło ciepła, wykorzystywanego do stopienia brzegów łączonych elementów. Źródłem ciepła przy spawaniu elektrycznym jest pośrednio energia elektryczna, a bezpośrednio łuk elektryczny, powstający między elektrodą a materiałem rodzimym elementów spawanych.

Spawanie, w czasie którego wykorzystuje się łuk elektryczny jako źródło ciepła, nazywamy **spawaniem łukowym**, w odróżnieniu od **spawania gazowego**, w którym źródłem ciepła jest płomień, powstający ze spalania gazu palnego w atmosferze tlenu lub powietrza.

Źródłem ciepła podczas spawania acetylenowo-tlenowego jest ciepło powstałe ze spalania gazu palnego - acetyleny w atmosferze tlenu. W procesach spawania znajdują również zastosowanie inne źródła ciepła. Są to między innymi procesy spawania z wykorzystaniem łuku plazmowego, wiązki elektronów i promieniowania laserowego.

W zależności od rodzaju użytych elektrod rozróżniamy spawanie łukowe przy zastosowaniu:

- elektrody topliwej,
- elektrody nietopliwej.

W procesach spawania elektrodami topliwymi w osłonie gazów koniec elektrody topliwej i stopiwo są otoczone gazem osłonowym, doprowadzanym w sposób ciągły do strefy jarzenia łuku. Również w procesach spawania elektrodami nietopliwymi, w celu zabezpieczenia jeziora spawalniczego przed wpływem powietrza atmosferycznego, stosuje się osłonę, doprowadzając w sposób ciągły gazy obojętne. We wspomnianych metodach spawania gazowego i łukowego w osłonie gazów spawacz ręcznie prowadzi palnik lub uchwyt spawalniczy.

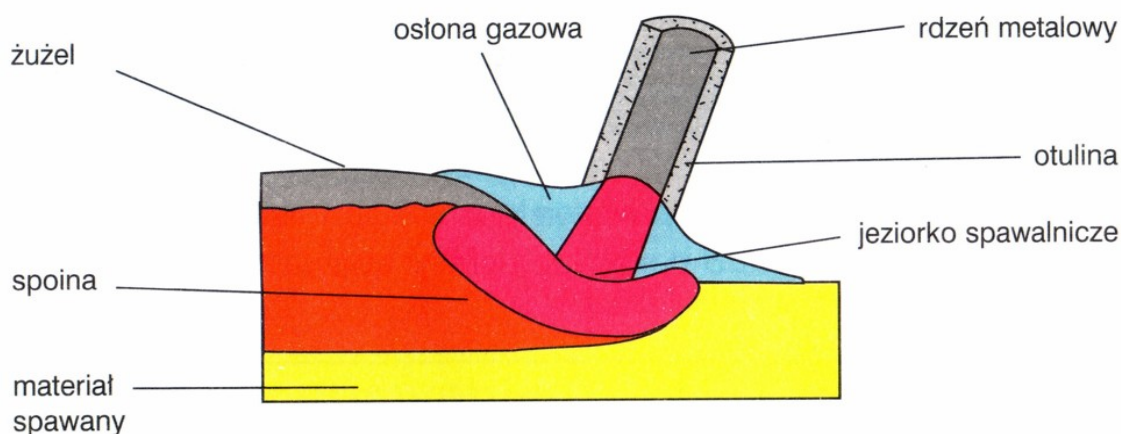
Tab. 1. Oznaczenia liczbowe metod spawania wg normy PN-EN ISO 4063

Nazwa metody spawania	Oznaczenie liczbowe
spawanie łukowe elektrodą otuloną	111
spawanie łukowe samoosłonowe	114
spawanie łukiem krytym drutem elektrodowym	121
spawanie metodą MIG	131
spawanie metodą MAG	135
spawanie łukowe drutem proszkowym w osłonie gazu aktywnego	136
spawanie łukowe drutem proszkowym w osłonie gazu obojętnego	137
spawanie metodą TIG	141
spawanie plazmowe	15
spawanie acetylenowo-tlenowe	311

W niniejszym podręczniku zwrócono uwagę na te metody spawania, które są wykonywane ręcznie lub w sposób częściowo zmechanizowany.

Spawanie łukowe ręczne elektrodą otuloną (Manual Metal Arc Welding) jest rozpowszechnioną metodą łączenia metali. Łączenie tą metodą polega na tym, że ciepło wydzielające się z łuku elektrycznego, jarzącego się pomiędzy końcem elektrody otulonej a elementami spawanymi, stapia koniec rdzenia elektrody otulonej i brzegi łączonych elementów. Topiący się metal z końcówki elektrody otulonej spływa do jeziora spawalniczego.

Ze stopionej elektrody otulonej i z nadtopionych brzegów łączonych elementów metalowych (materiału podstawowego) powstaje spoina.²



Rys. 4. Spawanie łukowe elektrodami otulonymi
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

Stosowane elektrody otulone składają się z metalowego rdzenia i warstwy otuliny. Otulina elektrody zawiera składniki ułatwiające zajarzenie i utrzymujące stabilne jarzenie łuku. Inne składniki otuliny uzupełniają skład chemiczny stopiwa, osłaniają przestrzeń łuku, krople stopiwa i jezioro spawalnicze przed dostępem powietrza atmosferycznego. Dodawane składniki formujące ułatwiają powstanie gładkiego lica spoiny. Do spawania łukowego stosuje się prąd stały i przemienny. Prądem stałym praktycznie można spawać wszystkie metale przy użyciu wszelkiego rodzaju elektrod otulonych.

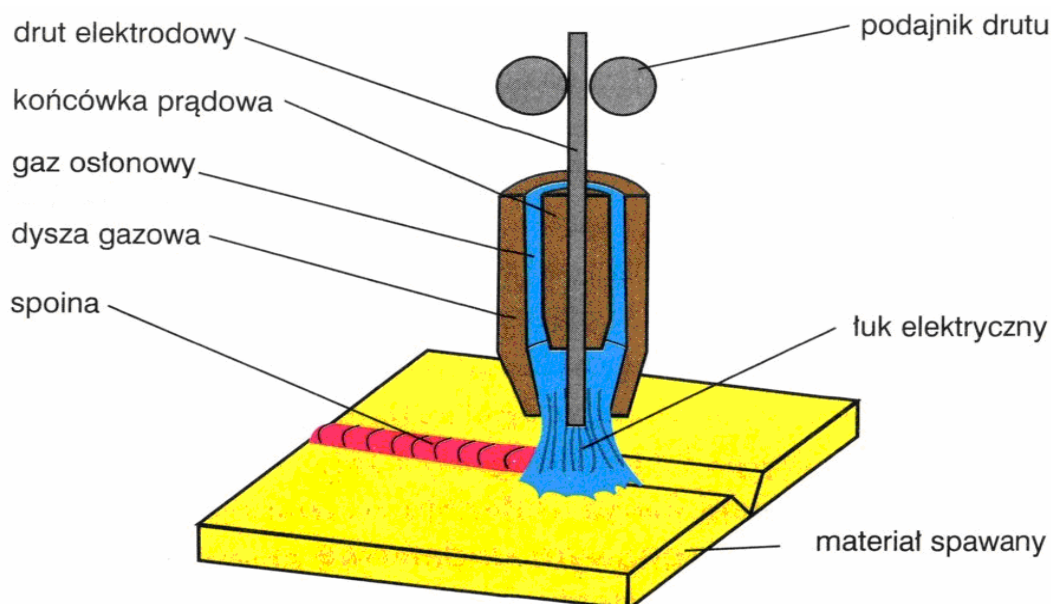
Spawanie łukowe samoosłonowe jest procesem spawania łukowego z dodawaniem spoiwa w postaci elektrody topliwiej o rdzeniu proszkowym - drutu proszkowego. Taki proces spawania nie wymaga dodatkowej osłony gazowej.

Spawanie łukiem krytym drutem elektrodowym (Submerged Arc Welding) jest inną, zmechanizowaną lub zautomatyzowaną odmianą procesu spawania łukowego, w której łuk jarzy się pod warstwą topnika. Spawanie to wykonuje się z materiałem dodatkowym - drutem elektrodowym lub elektrodą taśmową.

Niektóre procesy spawania łukowego przebiegają w osłonie gazów. Są to procesy, w których łuk elektryczny i miejsce spawania są osłonięte strumieniem gazu osłonowego lub znajdują się w przestrzeni wypełnionej tym gazem.

Spawanie metodą MIG (Metal Inert Gas) jest procesem spawania łukowego elektrodą topliwą w postaci litego drutu w osłonie gazów obojętnych, takich jak argon i hel. W tym procesie spawania lity drut pełni jednocześnie funkcję elektrody spoiwa, stąd jego nazwa „drut elektrodowy”. Drut elektrodowy jest podawany mechanicznie do uchwytu elektrodowego. Końcówka drutu, wysuwającego się z uchwytu elektrodowego, stapia się w łuku, jarzącym się między drutem i elementami spawanymi. Jezioro ciekłego metalu i strefa łuku są osłonięte przed dostępem tlenu i azotu z powietrza strumieniem gazu osłonowego, przepływającego od butli przez uchwyt elektrody do strefy jarzenia łuku elektrycznego.

² Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005



Rys. 5. Spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazu obojętnego (metodą MIG, MAG).

W metodzie MIG gazem osłonowym jest argon lub hel.

W metodzie MAG gazem osłonowym jest dwutlenek węgla lub mieszanka gazowa $\text{CO}_2 + \text{Ar}$

Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

Spawanie metodą MAG (Metal Active Gas) jest procesem spawania łukowego elektrodą topliwą w osłonie aktywnych chemicznie gazów lub w osłonie mieszanek gazowych, w których skład zwykle wchodzi: argon, dwutlenek węgla i tlen. Funkcję elektrody topliwą pełni drut. Dodatkowo drut pełni rolę spoiwa.

Łuk elektryczny, jarzący się między elektrodą topliwą a elementami spawanymi, tworzy jezioro ciekłego metalu i topi wysuwającą się z uchwytu elektrodowego końcówkę drutu elektrodowego. Wypływający z uchwytu elektrody strumień gazu osłonowego zabezpiecza jezioro ciekłego metalu i końcówkę drutu elektrodowego przed działaniem tlenu i azotu z powietrza atmosferycznego. Gaz ten wykazuje jednocześnie pewną aktywność w kierunku utleniania powstającej spoiny. W temperaturze łuku spawalniczego zachodzi częściowy rozkład dwutlenku węgla na tlenek węgla i tlen. Powstały z tego rozkładu tlen sprzyja częściowemu utlenianiu stopionego materiału spawanego i stopiwa. Jednakże zawarte w drucie elektrodowym dodatkowe składniki odtleniające natychmiast wiążą powstające tlenki, tworząc z nich na powierzchni spoiny cienką warstwę żużla. Zatem zachodzącego zjawiska nie można uznać za proces negatywny.³

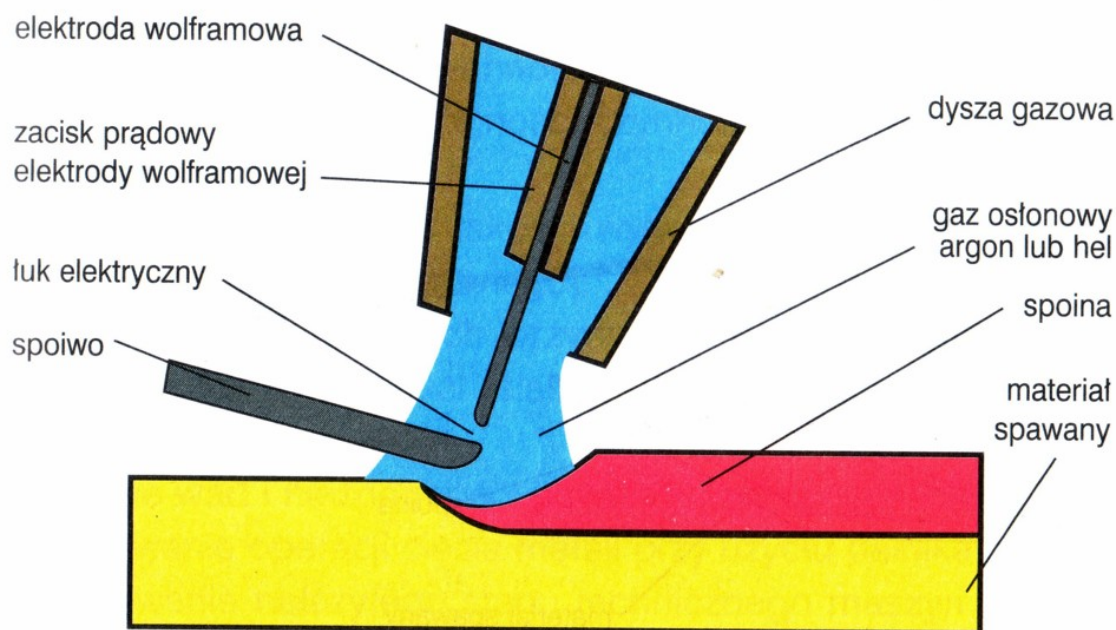
Spawanie metodą TIG (Tungsten Inert Gas) jest procesem spawania łukowego nietopliwą elektrodą wolframową w osłonie gazów obojętnych, np. argonu i helu. Źródłem ciepła w tym procesie jest łuk elektryczny, jarzący się między elektrodą wolframową, zamocowaną w uchwycie spawalniczym, a elementami spawanymi.

Elektroda wolframowa jest metalem trudno topliwym. Dodane do wolframu składniki zwiększają odporność elektrod na wysoką temperaturę i zmniejszają ich zużycie w procesie spawania.⁴

Strumień argonu, przepływający od butli przez uchwyt elektrody do strefy łuku elektrycznego, chroni jezioro ciekłego metalu, końcówkę elektrody nietopliwej i przyległą strefę przed działaniem tlenu i azotu z powietrza.

³ Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

⁴ Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005



Rys. 6. Spawanie elektrodą nietopliwą w osłonie gazu obojętnego (metodą TIG)

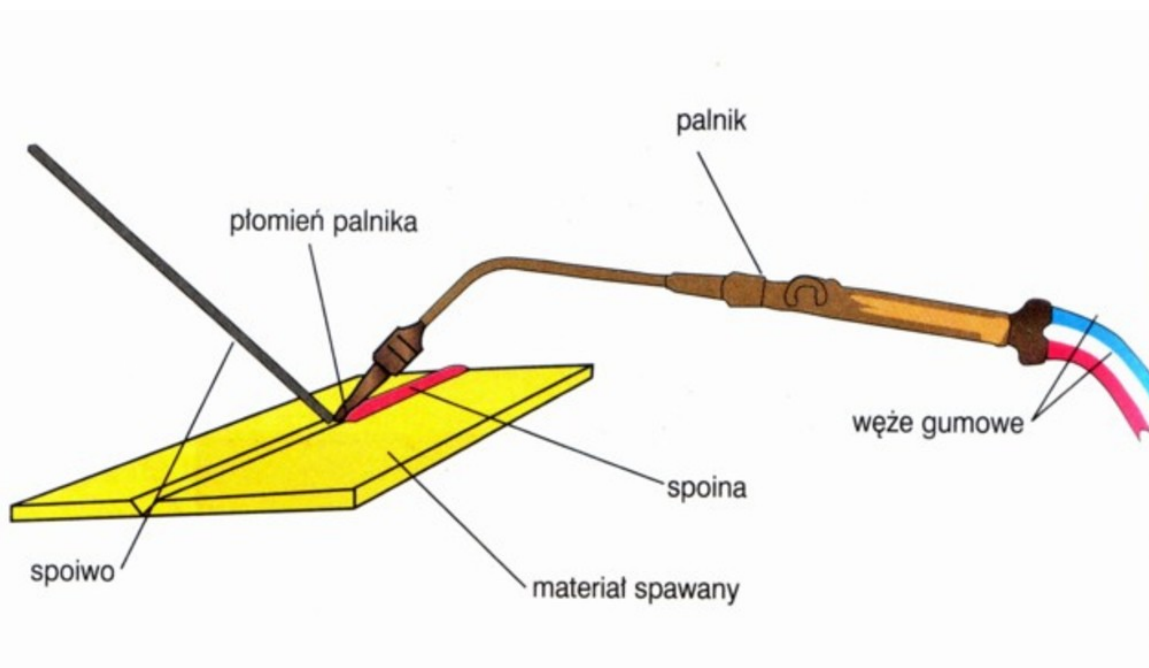
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

Proces spawania metodą TIG wymaga najczęściej ręcznego dodawania spoiwa. Spawanie tą metodą może się również odbywać bez dodawania spoiwa.

Spawanie plazmowe (Plasma Arc Welding) jest procesem spawania łukowego elektrodą nietopliwą w atmosferze gazów ochronnych. Proces ten polega na stapianiu łączonych elementów za pomocą plazmy. Plazmę stanowi strumień zjonizowanego w strefie łuku elektrycznego gazu, elektrycznie obojętnego, w którym silna koncentracja mieszaniny jonów, elektronów i pojedynczych atomów wytwarza bardzo wysokie temperatury, osiągające 15 000° C i więcej. Gazem tym jest argon. Strumień plazmy wypływa z dyszy palnika z bardzo dużą prędkością, przekraczającą 500 m/s. W procesie spawania jezioro ciekłego metalu jest zabezpieczone przed działaniem powietrza atmosferycznego osłoną argonową lub azotową z dodatkiem wodoru.⁵

Spawanie acetylenowo-tlenowe jest procesem łączenia metali, polegającym na stapianiu brzegów łączonych elementów i dodawanego w postaci pręta spoiwa. Potrzebne do tego ciepło uzyskujemy ze spalania gazu palnego - acetylenu - w atmosferze dostarczanego tlenu. Znacznie mniejsze zastosowanie w spawaniu gazowym ma inny gaz palny - wodór.

⁵ Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005



Rys. 7. Spawanie gazowe acetylenowo-tlenowe
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

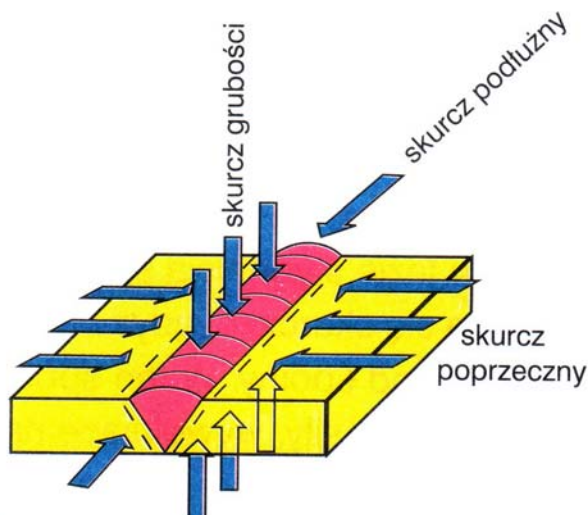
Spawalność metali i ich stopów

Spawalnością nazywa się zespół cech, dzięki którym uzyskuje się poprawne spoiny o dobrych właściwościach. Pojęcie spawalności wiąże się nie tylko z materiałem i stanem materiału, z którego jest wykonana dana konstrukcja, ale również z jej ukształtowaniem i z metodą spawania oraz warunkami, w których proces był prowadzony. Spośród stopów żelaza najłatwiej spawa się stale niskowęglowe o zawartości węgla do 0,25% C (zwłaszcza St0S, St3S, St4S - przeznaczone na konstrukcje spawane). Stale o wyższej zawartości węgla (do 0,4% C) wymagają podgrzewania przy spawaniu do temperatury 200÷300°C; po spawaniu wskazane jest wyżarzanie gotowego wyrobu. Staliwa na ogół dają się spawać tak samo, jak stale o podobnych składach chemicznych. Z uwagi na większą niejednorodność struktury (wtrącenia niemetaliczne, pory) oraz istniejące w odlewie naprężenia własne zaleca się wyżarzanie odprężające przed spawaniem. Do materiałów trudne spawalnych należą stale wysokostopowe, żeliwo szare, stopy miedzi i aluminium. Spawanie żeliwa jest stosowane wyłącznie do naprawy uszkodzonych odlewów.

Zjawisko naprężeń i odkształceń spawalniczych

Proces spawania wymaga miejscowego doprowadzania dużych ilości ciepła. Ciepło płomienia gazowego lub łuku elektrycznego podgrzewa miejscowo spawane doczołowo elementy metalowe i stapia ich brzegi na wąskiej przestrzeni. Rozkład temperatur w łączonych elementach jest nierównomierny.

Wzrost temperatury elementów metalowych powoduje zwiększenie ich wymiarów. Na skutek stygnięcia następuje skurcz liniowy i objętościowy metalu. Powstający skurcz spawalniczy jest znacznie większy od rozszerzalności materiału łączonych elementów. Wymiary złącza spawanego zmniejszają się, następuje skrócenie spawanych elementów. Zmniejsza się też podłużny i poprzeczny przekrój spoiny.

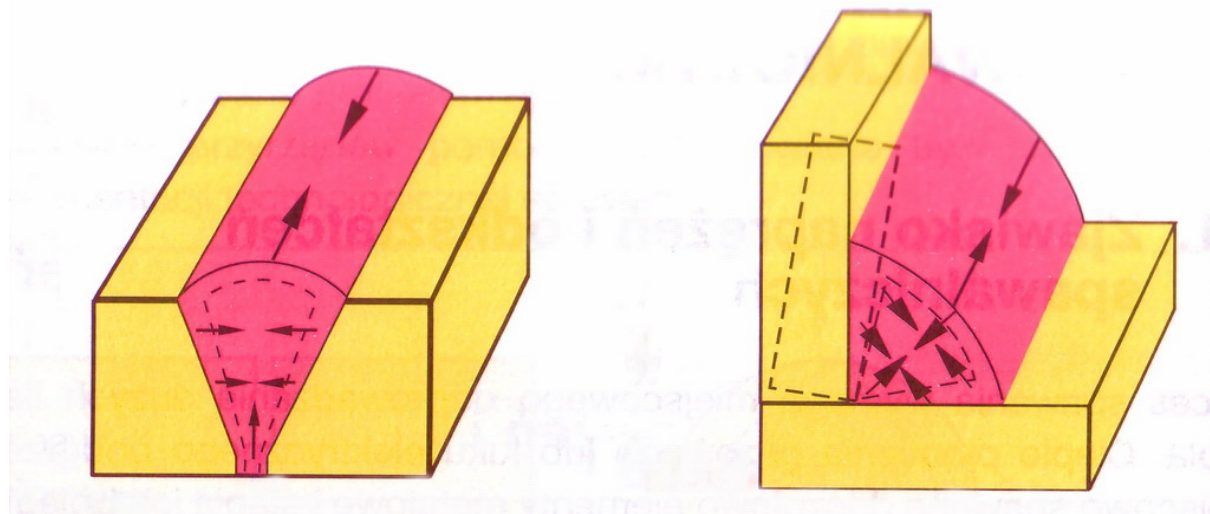


Rys. 8. Kierunki zmian objętościowych w spoinach czołowych przy nagrzewaniu elementów spawanych
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

Spoina łącznie ze strefą nagrzanego materiału kurczy się w kierunkach podłużnym, poprzecznym i kierunku grubości materiału.

Na rysunku 8 przedstawiono kierunki zmian objętościowych spoiny przy nagrzewaniu złącza spawanego. Na rysunku 9 pokazano kierunki zmian objętościowych spoin przy stygnięciu złącza spawanego. Skurcz w kierunku grubości spoiny jest swobodny – spoina w tym kierunku swobodnie się kurczy i nie wywołuje naprężeń wewnętrznych. Skurcz poprzeczny podczas spawania elementów swobodnie leżących może te elementy swobodnie zbliżyć do siebie. W złączach doczołowych i kątowych skurcz poprzeczny wywołuje także odkształcenia kątowe (ugięcie

elementów). W przypadku złączy doczołowych odkształcenie kątowe (ugięcie kątowe) jest uzależnione między innymi od kształtu rowka spawalniczego, liczby warstw spoiny i grubości materiału spawanego. W złączach kątowych odkształcenie kątowe zależy m.in. od rodzaju złącza, grubości spoiny i liczby warstw spoiny.



Rys. 9. Kierunki zmian objętościowych w spoinach czołowych i pachwinowych przy stygnięciu elementów spawanych
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

Skurcz podłużny nie ma większego znaczenia w złączach spawanych wykonywanych krótkimi spoinami. W przypadku długich spoin skurcz podłużny może spowodować pofałdowania, wybrzuszenia i wygięcia. Charakterystyczne jest pofałdowanie blach cienkich, do 4 mm grubości, na skutek skurczu podłużnego. W procesie spawania metal nagrany w miejscu spawania poszczepianych elementów spawanych nie może się wydłużyć. Metal ten w sąsiedztwie metalu o niższej temperaturze, temperaturze otoczenia, zostaje spęczony – powstaje odkształcenie plastyczne. Z kolei w fazie stygnięcia spoina i przyległy do niej materiał podstawowy nie mogą się skurczyć, gdyż uniemożliwia to chłodniejszy metal

w dalszej odległości od spoiny. W ten sposób w pobliżu stygnącej spoiny powstają wewnętrzne siły, wywołujące naprężenia rozciągające, a w dalszej odległości od spoiny - w chłodnym metalu - powstają naprężenia ściskające. Fałdowanie blach cienkich powodują naprężenia ściskające w dalszej odległości od spoiny. W rezultacie fałdowania tych blach ustępują naprężenia rozciągające w spoinie i strefie przyspoinowej oraz naprężenia ściskające w dalszej odległości od spoiny.⁶

Naprężenia ściskające nie powodują pofałdowania sztywniejszych blach grubych. Występujące w złączach spawanych takie same siły wewnętrzne wywołują identyczne naprężenia: rozciągające w spoinie i naprężenia ściskające w dalszej odległości od spoiny. Naprężenia te nie ustąpią, pozostaną w złączu spawanym.

Skurcz objętościowy ma istotne znaczenie przy większych grubościach spawanych elementów. Przy spawaniu cieńszych elementów może być ograniczony do odkształceń wynikających ze skurczu podłużnego i poprzecznego. Skurcz podłużny powoduje skrócenie długości spawanych elementów - wskutek poosiowego skrócenia spoiny. Skurcz poprzeczny kurczy spoinę w poprzek przekroju i „ściąga” połączone elementy. Skutkiem opisanych wyżej sił odkształcających są naprężenia rozciągające i ściskające w złączu spawanym.

Największe naprężenia rozciągające powstają wzdłuż i w poprzek osi spoiny, a jednocześnie w zewnętrznych pasach złącza spawanego powstają naprężenia ściskające. Naprężenia działające w kierunku podłużnym spoiny nazywamy naprężeniami podłużnymi. Naprężenia działające w kierunku prostopadłym do spoiny nazywamy naprężeniami poprzecznymi.

Naprężenia, a w ich następstwie i odkształcenia spawalnicze, wywołane są zarówno zróżnicowaną rozszerzalnością, jak i sztywnością łączonych elementów. Na przykładzie złączy o przekrojach teowych możemy zaobserwować dwa rodzaje odkształceń podłużnych elementów po spawaniu:

- u przy dużej wysokości średnika i małym przekroju pasa w wyniku odkształcenia górna krawędź ścianki pionowej będzie wypukła,
- przy małej wysokości średnika i dużym przekroju pasa o kierunku ugięcia decyduje sztywność pasa – górna krawędź ścianki może być wklęsła.

Łączenie tych samych elementów spoinami pachwinowymi przerywanymi spowoduje mniejsze odkształcenia elementów, a to ze względu na mniejszą objętość materiału nagrzanego podczas spawania. Najogólniej mówiąc, odkształcenia złącza spawanego zależą od ilości do prowadzonego ciepła, przekroju poprzecznego spoiny, sztywności i wielkości konstrukcji.⁷

Szczepianie elementów przed spawaniem umożliwia zachowanie ustalonego ich położenia podczas procesu spawania, przede wszystkim umożliwia zachowanie wymaganego odstępu między elementami. Niewłaściwa kolejność szczepiania elementów powoduje zamknięcie odstępu między brzegami elementów, a nawet zachodzenie ich na siebie. Utrudnia to uzyskanie przetopu i prowadzi do zdeformowania elementów.

Skurcz poprzeczny spoin zależy od kształtu przekroju spoiny i zwiększa się wraz ze wzrostem zróżnicowania szerokości spoiny, na jej grubości. Ten wzrost skurczu w kierunku lica spoiny, szczególnie w spoinach o znacznie zmieniającym się przekroju spoiny, powoduje odchylenie połączonych elementów od powierzchni płaszczyzny. Odchylenie to możemy określić jako odkształcenie kątowe złącza spawanego. Kąt odkształcenia elementów złącza spawanego zależy od:

- ilości ułożonych warstw,
- kolejności układania warstw spoiny,

⁶ Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

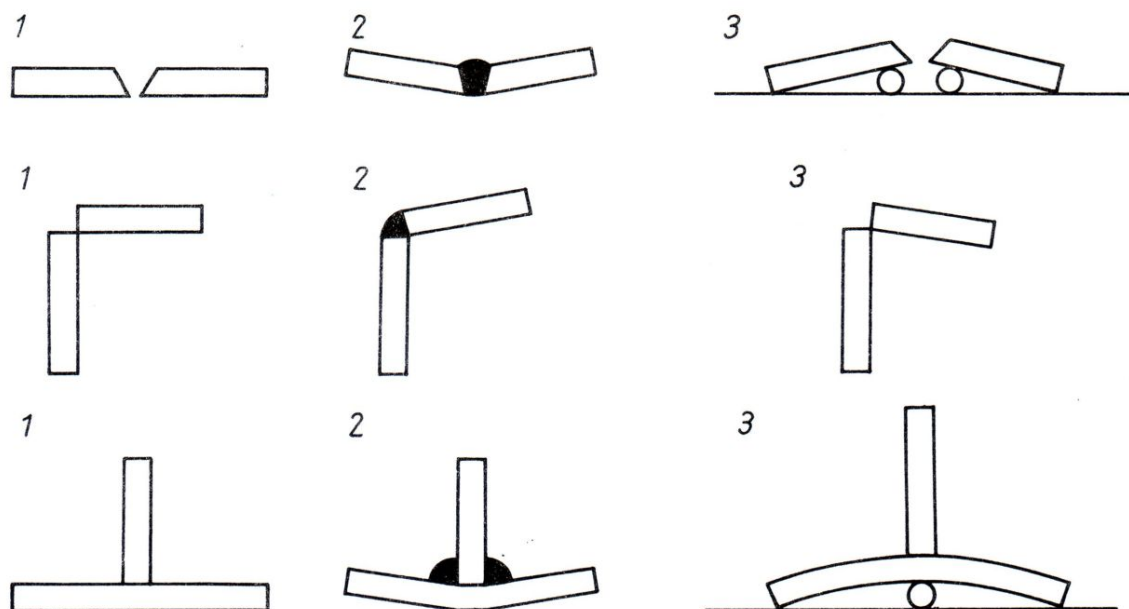
⁷ Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

- długości układanych odcinków spoiny,
- kształtu rowka spawalniczego.

Zapobieganie powstawaniu odkształceń

Skurcz i naprężenia wewnętrzne w pracach spawalniczych są nie do uniknięcia, jednakże przez właściwe zaprojektowanie, dobór materiałów i wykonanie mogą one być bardzo małe.

1. Ważną sprawą jest odpowiedni **podział konstrukcji na zespoły**. Spawać należy najpierw zespoły, by spoiny mogły swobodniej odkształcać dany zespół i w ten sposób wyzwolić wewnętrzne naprężenia. W razie potrzeby należy wyprostować zespół i dopiero składać, szczepiać i spawać gotowy wyrób. Zmniejszenie odkształceń zespołów można otrzymać przez odpowiednie **ustawienie** części przed spawaniem lub **wstępne odkształcenia** części. Powinny one być dokonane w przeciwnym kierunku do kierunku spodziewanych odkształceń. Blachy spawane na V, jeżeli nie są zamocowane, odkształcą się kątowno. Można ustawić blachy pod zamierzonym kątem, tylko w przeciwnym kierunku, tak żeby po spawaniu otrzymać płytę (rys. 10). Podobnie należy postąpić podczas spawania narożnika i teownika.

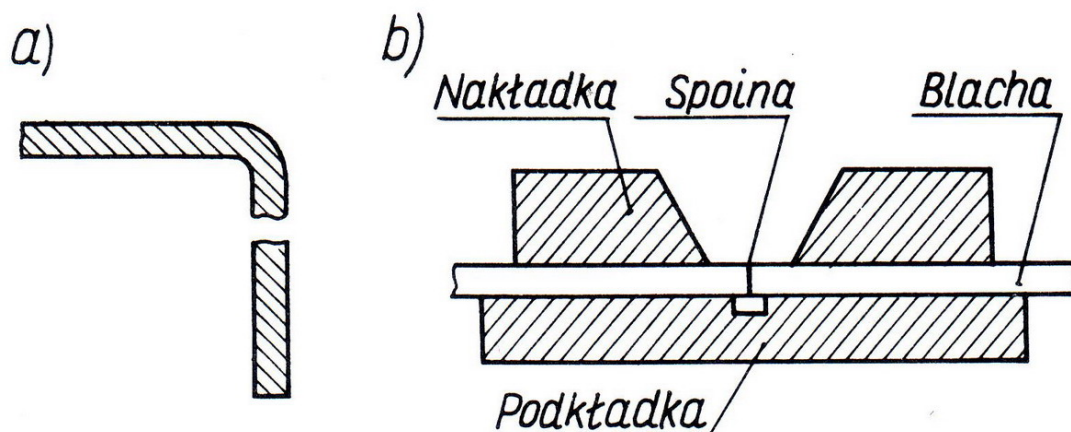


Rys. 10. Odkształcenia blach cienkich

- 1 - ustawienia części zgodnie z rysunkiem, 2 - odkształcenia spowodowane skurczem,
3 - ustawienia części w przeciwnym kierunku do skurczu

Źródło: Hillar J. Jarmoszuk S.: Ślusarstwo i spawalnictwo. WSiP, Warszawa 1995

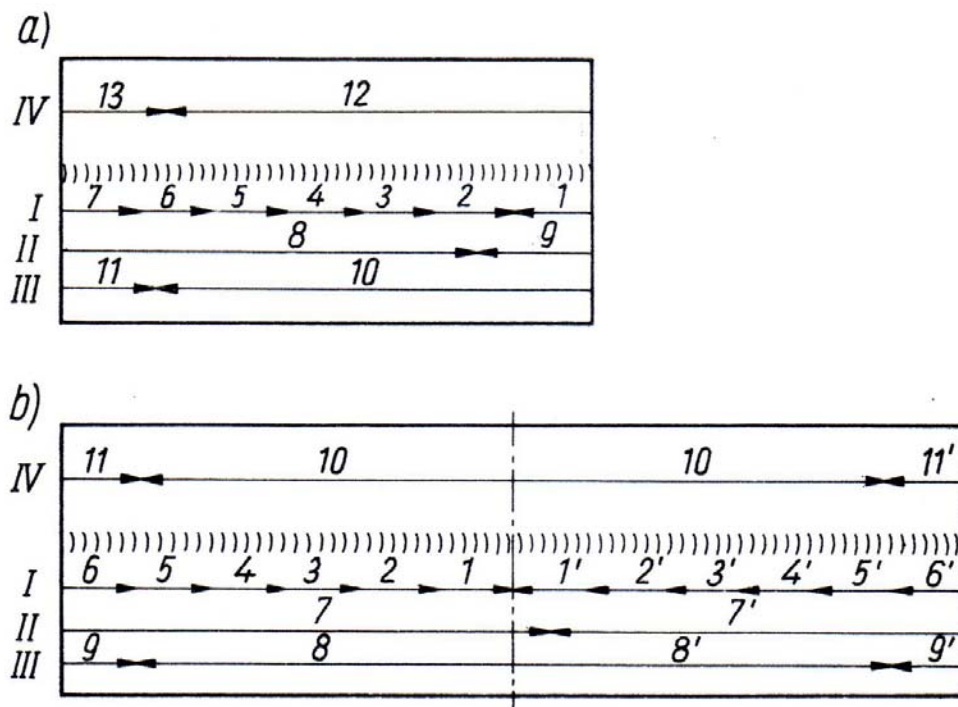
2. W złączy narożnym cienkich blach można uniknąć ich fałdowania przez **zmianę położenia spoiny** (rys. 11a). Należy wygiąć brzeg jednej blachy i połączyć spoinę czołową z drugą blachą. W ten sposób naroża zostają usztywnione, a pofałdowanie blach - zmniejszone. W złączy doczołowym cienkich blach fałdowanie można zmniejszyć przez spawanie w przyrządzie (rys. 11.b). Gruba podkładka i grube nakładki mają na celu szybkie odprowadzenie ciepła, dlatego odkształcenia i naprężenia są mniejsze, ponadto ściśnięte blachy nie mogą się odkształcać.



Rys. 11. Zmniejszenie odkształceń cienkich blach: a) przez zmianę spoiny narażonej na czołową, b) przez spawanie w przyrządzie ustalającym

Źródło: Hillar J., Jarmoszuk S.: Ślusarstwo i spawalnictwo. WSiP, Warszawa 1995

- Wykonanie poprawnego złącza doczołowego blach zależy także od **poprawnego szepienia**. Ważne jest utrzymanie ustalonego odstępu między brzegami blach. Krótkie spoiny do 250 mm można wykonać ścięciem prostym, to znaczy spawać od jednego do drugiego skraju blach. Dłuższe blachy należy spawać jak na rys. 12a. Pierwszy ścieg graniowy należy wykonać tak zwanym ścięciem krokowym, to znaczy odcinkami, jak przedstawiono na rysunku. Ma to na celu utrzymanie tego samego odstępu między blachami, ponadto blachy nie wypaczają się tak jak przy spawaniu jednym ścięciem. Kolejne ścięgi nie mają już takiego wpływu na odkształcenia i dlatego można je wykonywać dłuższymi odcinkami lub jak pokazano na rysunku, ścięgami prostymi.

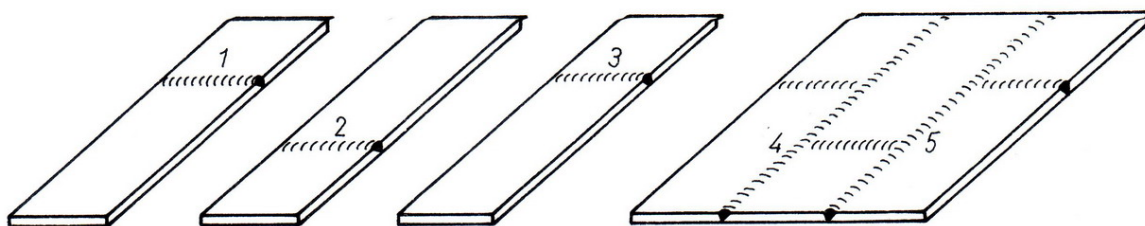


Rys. 12. Wykonywanie spoiny na V z podpawaniem odcinkami: a) przez jednego spawacza, b) przez dwóch spawaczy

I - ścieg graniowy, II i III - kolejne ścięgi, IV - ścieg podpawany

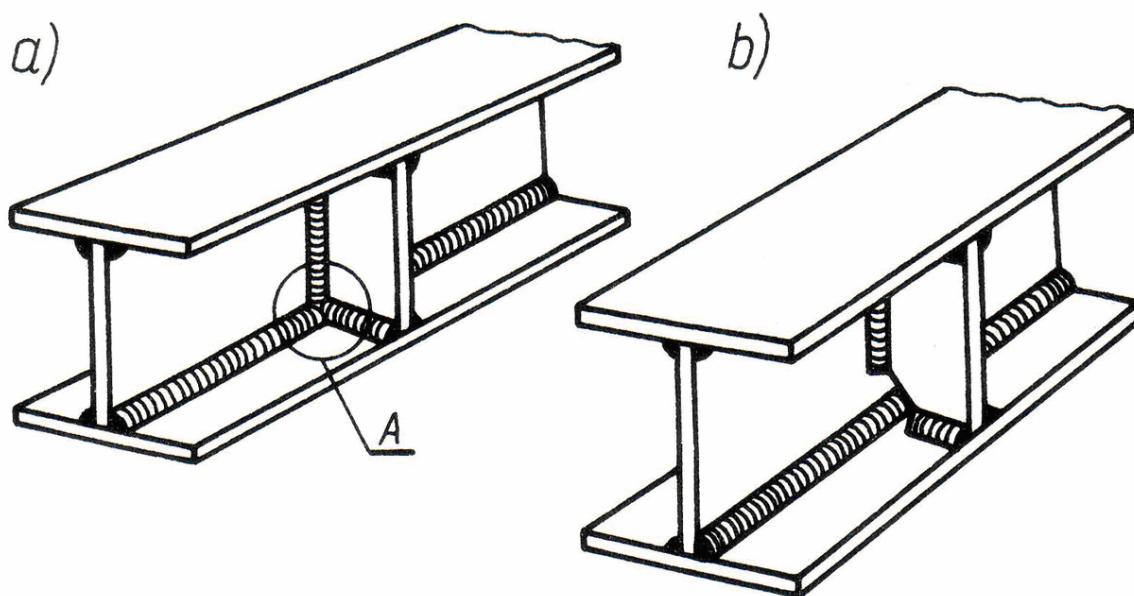
Źródło: Hillar J., Jarmoszuk S.: Ślusarstwo i spawalnictwo. WSiP, Warszawa 1995

4. Należy unikać **skrzyżowania spoin**, gdyż do naprężeń wewnętrznych jednej spoiny dochodzą na styku naprężenia drugiej spoiny. Płytę składającą się z sześciu blach przedstawiono na rys. 13. Spoiny 1 i 3 powinny być przesunięte względem spoiny 2.



Rys. 13. Kolejność spawania płyty

Źródło: Hillar J., Jarmoszuk S.: Ślusarstwo i spawalnictwo. WSiP, Warszawa 1995



Rys. 14. Dźwigar dwuteowy z żebrem usztywniającym: a) nagromadzone spoiny w punkcie A, b) poprawne spawanie żebra

Źródło: Hillar J., Jarmoszuk S.: Ślusarstwo i spawalnictwo. WSiP, Warszawa 1995

4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Dokonaj podziału metod spawania podstawowych?
2. Na czym polega spawanie łukowe?
3. Scharakteryzuj spawanie elektrodą otuloną?
4. Na czym polega różnica pomiędzy spawaniem metodą MAG a MIG?
5. Scharakteryzuj spawanie metodą TIG?
6. Co jest powodem naprężeń i odkształceń spawalniczych?
7. Wymień sposoby unikania odkształceń spawalniczych?
8. Scharakteryzuj pojęcia spawalności metali i ich stopów?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dobór i uzasadnienie metody spawania do wykonania złącza spawanego o grubości 2 mm wykonanego ze stali oznaczonej OH18N9.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) dokonać wnikliwej analizy materiału nauczania określonego w Poradniku dla ucznia,
- 2) wyszukać w literaturze opisu stali oraz zastosowania gatunku OH18N9,
- 3) dokonać doboru metody spawania wraz z podaniem uzasadnienia,
- 4) wyniki 2 ćwiczenia zapisać w zeszycie przedmiotowym,
- 5) zaprezentować wyniki z wykonanego ćwiczenia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Poradnik dla ucznia, norma PN-ISO4063,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- 1) opisać metody spawania do wykonania połączeń spajanych
- 2) zdefiniować spawanie łukowe elektrodą otuloną
- 3) scharakteryzować spawanie metodą MAG i podać oznaczenie liczbowe tej metody zgodnie z normą
- 4) scharakteryzować spawanie metodą TIG i podać oznaczenie liczbowe tej metody zgodnie z normą
- 5) określić na czym polega spawanie gazowe

Tak **Nie**

☐	☐
☐	☐
☐	☐
☐	☐
☐	☐

4.4. Przygotowanie materiału do spawania, budowa złącza spawanego, rodzaje złączy i rodzaje spoin

4.4.1. Materiał nauczania

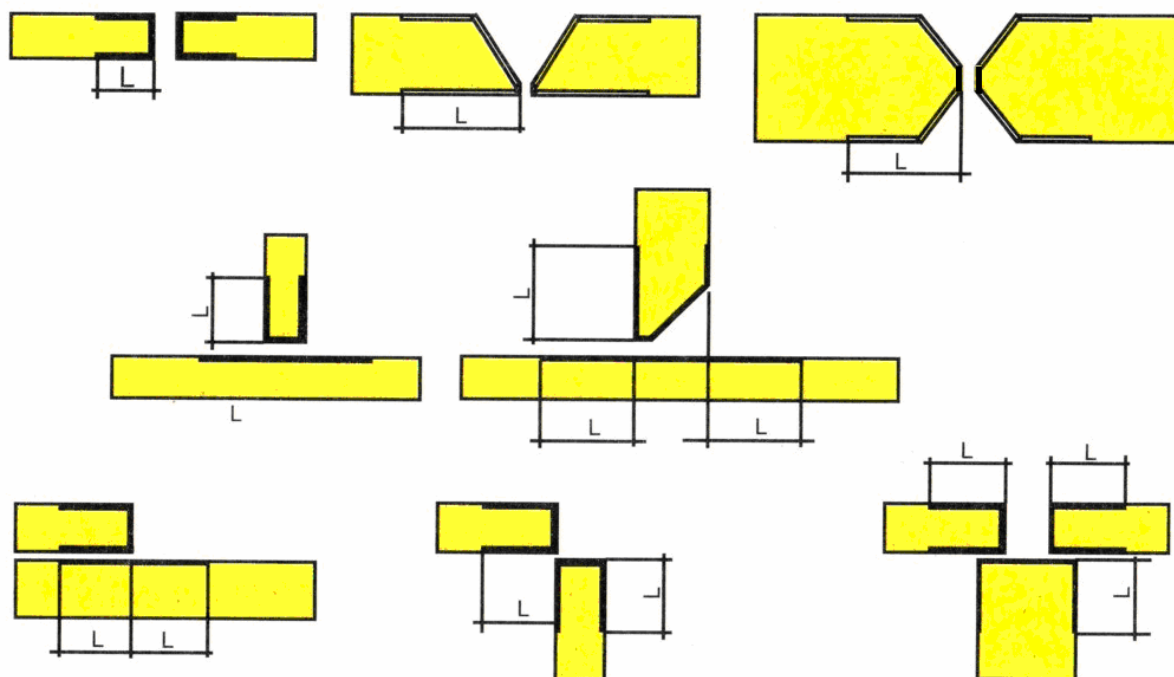
Przygotowanie materiałów do spawania

Właściwe przygotowanie elementów i prawidłowe ich szepienie ma podstawowe znaczenie dla jakości złącza spawanego. Przygotowując materiał do spawania, zwracamy uwagę na dokładne prostowanie i czyszczenie elementów. Duże elementy, niezależnie od grubości, prostuje się w prasach hydraulicznych lub pneumatycznych, walcarkach i maszynach specjalnych. Podczas tej operacji odpada zgorzelina z blach i kształtowników prostowanych w prostownicach walcowych. Grubsze elementy o mniejszych rozmiarach prostuje się w ręcznych prasach śrubowych. Elementy cienkie prostuje się ręcznie na płytach i kowadłach przez młotkowanie na zimno. Kształtowniki takie, jak: kątowniki, ceowniki i teowniki, prostuje się w prasach dostosowanych do profilu wyrobu. Elementy zanieczyszczone w miejscu wykonywania spoin, rdzą, zgorzeliną, tłuszczami, farbami, itp. są przyczyną powstawania w spoinie takich wad, jak pory, pęcherze i przyklejenia spoin. Zanieczyszczenia te w procesie spawania wchodzi w reakcję ze stopionym metalem, co może doprowadzić do jego utlenienia lub uwodornienia. Brzegi łączonych elementów należy dokładnie oczyścić z tych zanieczyszczeń. Czyszczenie może być wykonywane:

- ręcznie: szczotką drucianą, papierem ściernym,
- mechanicznie: przez śrutowanie, szlifierką kątową, szlifierką stołową z tarczą drucianą lub tarczą ścierną,
- chemicznie: przez odtłuszczenie benzyną ekstrakcyjną lub acetonem, wytrawianie (często metali nieżelaznych).

Wszelkie zanieczyszczenia materiału należy usunąć, gdyż w czasie spawania powodują wydzielanie się dużych ilości gazów i tlenków oraz są przyczyną powstawania pęcherzy lub wtrąceń tlenków w spoinie.

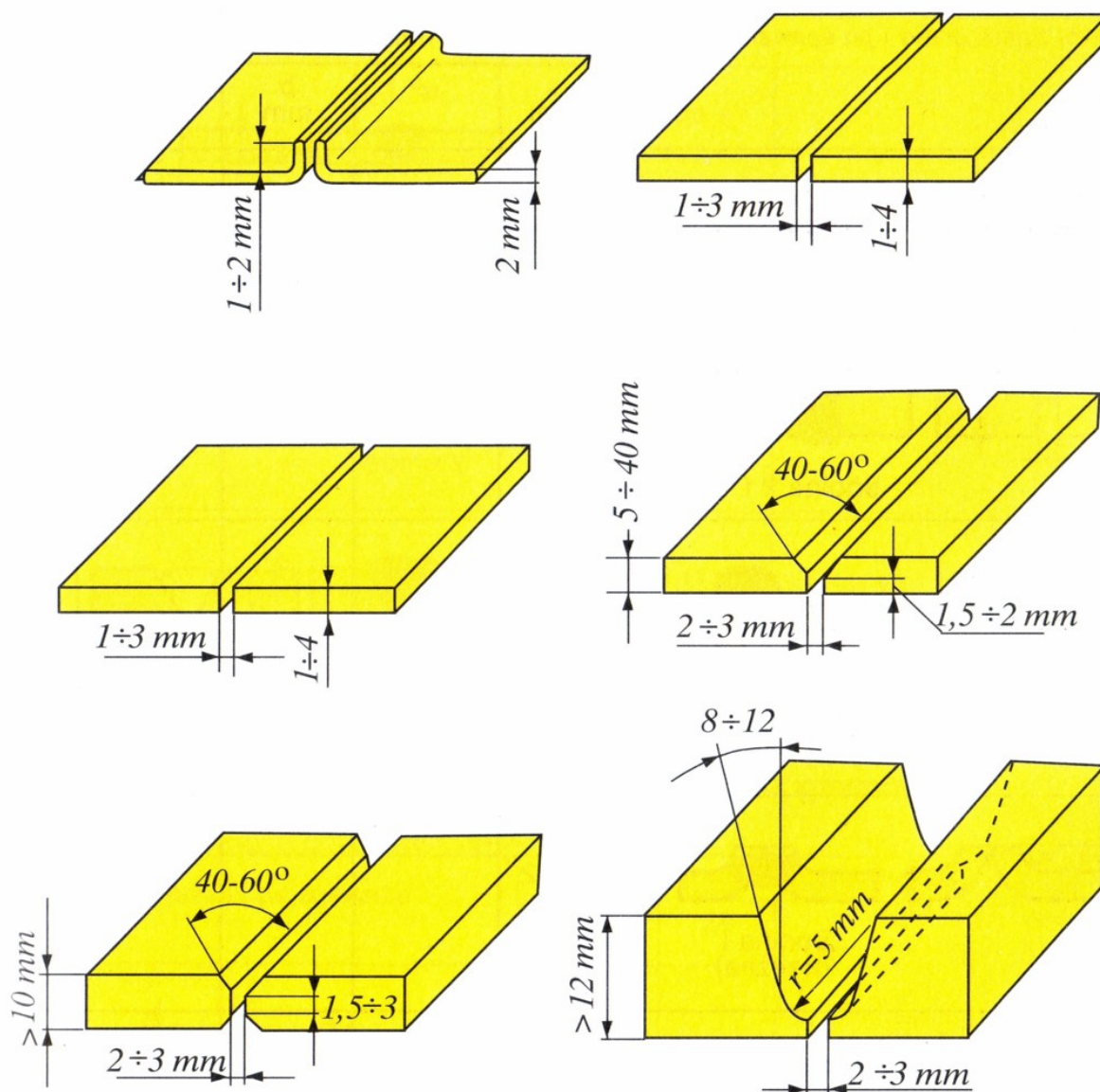
Elementy do spawania ręcznego należy oczyścić na szerokości 10÷25 mm. Na rysunkach powierzchnie czyszczone zaznaczono grubą linią.



Rys. 15. Czyszczenie brzegów elementów przed spawaniem

Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

Elementy z blach cienkich, o grubości do 2 mm, przygotowuje się do spawania wyginając do góry brzegi łączonych elementów. Elementów z blach o grubości do 4 mm, przygotowywanych do spawania, nie trzeba ukosować. Cięcie materiału na elementy do spawania wykonuje się na różnych urządzeniach, biorąc pod uwagę przede wszystkim grubość materiału i rodzaj wyrobu (blachy, rury i materiały kształtowe). Na nożycach dźwigniowych można ciąć blachy o grubości do 4 mm. Palnikiem acetylenowo-tlenowym można przecinać i ukosować blachy ze stali węglowej i niskostopowej, nawet do 600 mm grubości. Przecinarką półautomatyczną do cięcia tlenem można ciąć i ukosować blachy 3÷100 mm grubości. Przecinarka ta może być prowadzona ręcznie, po prowadnicy szynowej lub za pomocą cyrkla. Może być również wyposażona w elektroniczny układ bezstopniowej regulacji i stabilizacji prędkości posuwu. Przecinarką plazmową można przecinać i ukosować blachy ze stali węglowej i wysokostopowej, przecinać odlewy żeliwne, przecinać i ukosować blachy i rury z miedzi, aluminium oraz ich stopów. Na tokarce można przecinać i ukosować rury. Stosuje się również specjalistyczne urządzenia do ukosowania blach i rur. Prawdłowo przeprowadzone cięcie daje gładkie krawędzie. Pomiar kąta ukosowania krawędzi elementów przygotowywanych do spawania wykonujemy kątomierzem uniwersalnym. Spawacz przygotowuje elementy do spawania (lub kontroluje gotowe elementy przygotowane do spawania) według instrukcji technologicznej spawania (WPS).

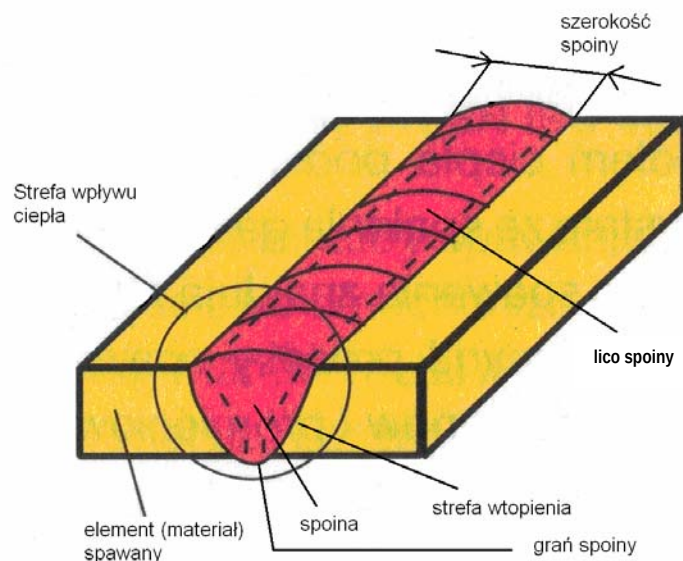


Rys. 16. Przykłady przygotowywania elementów z blach o różnych grubościach.
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

Budowa złącza spawanego

W procesie spawania brzegi łączonych elementów oraz dodawane spoiwo ulegają stopieniu pod wpływem doprowadzonego ciepła.

Dodawane w procesie spawania spoiwo po stopieniu nazywa się **stopiwem**. Stopiwo i stopiony na brzegach łączonych elementów metal po zastygnięciu tworzą **spoinę**. Elementy spawane wraz z łączącą je spoiną nazywa się złączem spawanym. Złącza spawane mogą być wytwarzane z dodanym spoiwem lub bez.

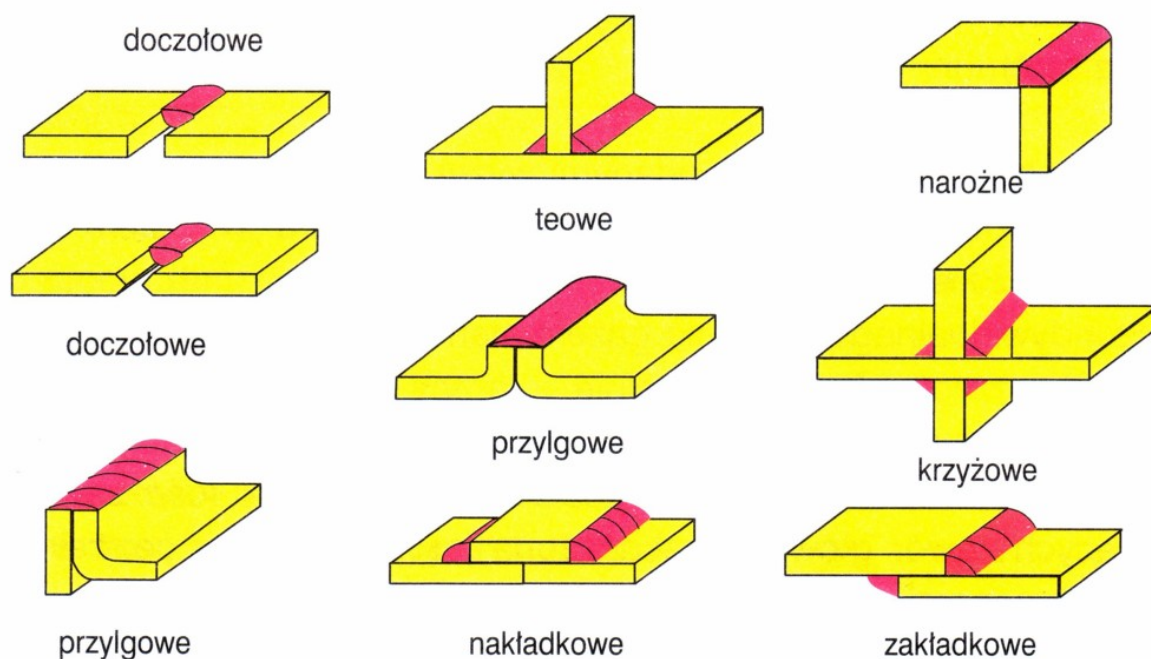


Rys. 17. Złącze spawane

Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

Rodzaje złączy spawanych

Na rysunku 18 pokazano przykłady złączy spawanych spoinami czołowymi i pachwinowymi. Spoiny czołowe łączą elementy ułożone równolegle względem siebie, położone w jednej płaszczyźnie lub na płaszczyznach prostopadłych względem siebie. Spoinami czołowymi łączy się najczęściej złącza doczołowe, a ponadto złącza teowe, krzyżowe i narożne. Spoiny pachwinowe stosuje się przy łączeniu elementów ułożonych na prostopadłych względem siebie płaszczyznach. W przekroju poprzecznym spoina pachwinowa przyjmuje kształt zbliżony do trójkąta równoramiennego. Przeciwprostokątna w tym trójkącie to lico spoiny pachwinowej. Najkorzystniejsze są spoiny pachwinowe wklęsłe i płaskie. Grubość spoiny pachwinowej jednostronnej nie powinna przekraczać 0,7 grubości cieńszego elementu spawanego. Grubość spoiny pachwinowej dwustronnej nie powinna przekraczać 0,5 grubości materiału spawanego, pod warunkiem, że różnica grubości łączonych elementów nie przekracza 3 mm. Spoinami pachwinowymi łączy się złącza kątowe, teowe, krzyżowe, narożne, nakładkowe, zakładkowe.



Rys. 18. Przykłady złączy spawanych
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

Złącza wykonane spoinami czołowymi i pachwinowymi mogą mieć identyczne nazwy. Złącza o tym samym kształcie mogą być wykonywane różnymi spoinami. Różnica polega na odmiennym przygotowaniu elementów do łączenia spoinami czołowymi. Elementy w tym wypadku na ogół powinny być ukosowane.

Rodzaje spoin i ich oznaczanie

W zależności od przeznaczenia połączeń spawanych rozróżnia się następujące rodzaje spoin:

- nośne (mocne), przenoszące duże obciążenia,
- szczelne, zapewniające szczelność połączenia, a w przypadku zbiorników ciśnieniowych – także przenoszenie obciążeń,
- złączne (sczepne), stosowane do łączenia elementów konstrukcyjnych nieznacznie obciążonych, a także do wstępnego mocowania części spawanych w połączeniach mocnych i szczelnych.

Uzyskanie połączeń mocnych lub szczelnych zależy w dużej mierze od jakości wykonania spoin. W przypadku specjalnych wymagań dotyczących jakości spoin (np. przy spawaniu rurociągów) wykonuje się odpowiednie badania kontrolne nieniszczące, np. radiograficzne, falami ultradźwiękowymi itp.

Ze względu na kształt spoin oraz ich położenie w stosunku do łączonych części rozróżnia się spoiny czołowe i pachwinowe oraz rzadziej stosowane: otworowe, punktowe i brzeżne (rys. 19).

Spoina			Znak spoiny	Przekrój spoiny	Spoina			Znak spoiny	Przekrój spoiny
	I	II			brzeżna		JL		
Czołowa jednostronna	V	V		pachwinowa	płaska				
	1/2 V	V			wklęsta				
	Y	Y			wypukła				
	1/2 Y	Y		otworowa	podłużna x)				
	U	Y			okrągła x)				
	1/2 U	U		punktowa					
x) Wg PN – przy tym samym znaku spoiny różnicowanie obu spoin następuje przez ich widok na rysunku i wymiarowanie									

Rys. 19. Rodzaje spoin (wg PN-EN 22553:1997)
 Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

Spoiny czołowe stosuje się do łączenia stykowego blach, prętów, kształtowników, rur itp. Rodzaj spoiny (I, V, Y, U itd.) dobiera się w zależności od charakteru obciążenia, grubości blach oraz innych wymagań konstrukcyjno-technologicznych. Przy spawaniu czołowym jest wymagane odpowiednie przygotowanie krawędzi elementów.

Wymiary ukosowań zależą od grubości blach oraz od metody spawania i są ujęte w normach (m.in. PN-75/M-69014, PN-73/M-69015).

Do łączenia cienkich blach stosuje się spoiny brzeżne, powstające przez stopienie odwiniętych krawędzi blach, bez użycia dodatkowego metalu.

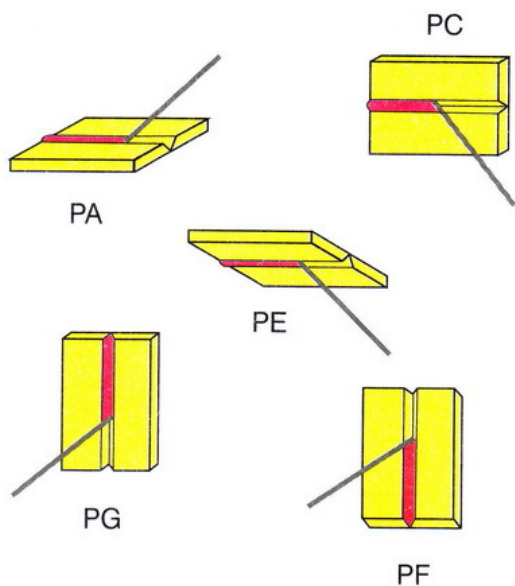
Spoiny otworowe i punktowe wykonuje się przeważnie w celu wzmocnienia spoin pachwinowych przy łączeniu szerokich elementów. Ich wykonanie jest dość kosztowne, dlatego są stosowane rzadko.

Zasady rysowania połączeń spawanych na rysunkach części maszyn oraz oznaczania i wymiarowania spoin są podane w normach PN-EN 22553:1997 i PN-EN 24063:1993.

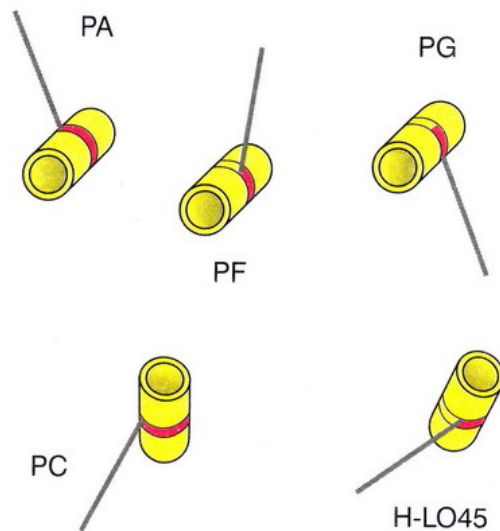
Pozycje spawania:	
Blach	
Spoiny czołowe	
PA	podolna
PC	naścienna
PG	pionowa z góry w dół
PE	pułapowa
PF	pionowa z dołu do góry
Spoiny pachwinowe	
PA	podolna
PB	naboczna
PG	pionowa z góry w dół
PD	okapowa
PF	pionowa z dołu do góry
Rur	
PA	Rura: obrotowa, Oś: pozioma, Spoina: podolna
PC	Rura: stała, Oś: pionowa, Spoina: naścienna
PF	Rura: stała, Oś: pozioma, Spoina: pionowa z dołu do góry
PG	Rura: stała, Oś: pozioma, Spoina: pionowa z góry w dół
H-L045	Rura: stała, Oś: pochylona, Spoina: pionowa z dołu do góry
J-L046	Rura: stała, Oś: pochylona, Spoina: pionowa z góry w dół
Spoiny pachwinowe	
PA	Rura: obrotowa, Oś: pochylona, Spoina: podolna
PB	Rura: obrotowa, Oś: pozioma, Spoina: naboczna
PB	Rura: stała, Oś: pionowa, Spoina: naboczna
PD	Rura: stała, Oś: pionowa, Spoina: okapowa
PF	Rura: stała, Oś: pozioma, Spoina: pionowa z dołu do góry
PG	Rura: stała, Oś: pozioma, Spoina: pionowa z góry w dół

Przykłady podstawowych pozycji spawania przedstawiono na rysunku 15.

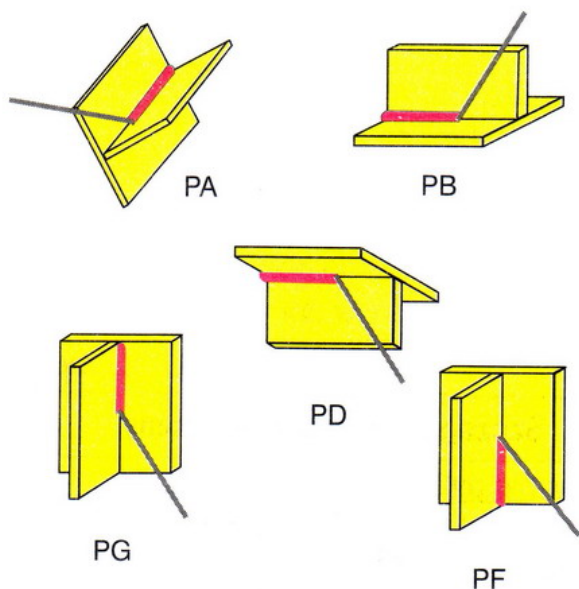
Spoiny czołowe na blachach



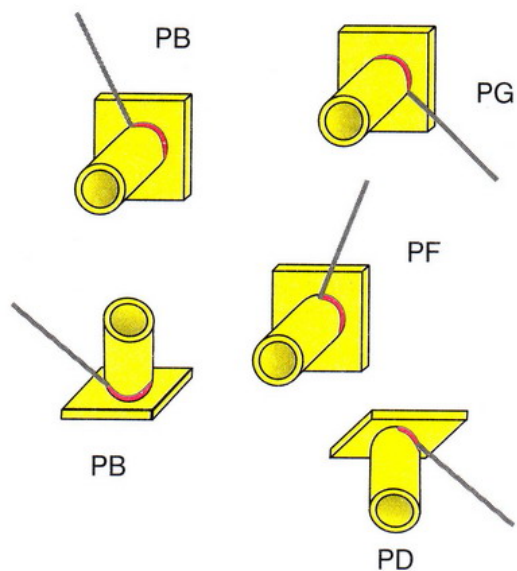
Spoiny czołowe na rurach



Spoiny pachwinowe na blachach



Spoiny pachwinowe na rurach



Rys. 20. Przykłady podstawowych pozycji spawania blach i rur spoinami czołowymi i pachwinowymi według normy PN-EN ISO 6947
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. W jaki sposób usuwamy zanieczyszczenia z powierzchni przygotowywanych elementów do spawania?
2. Do jakiej grubości elementy spawane pozostają nieukosowane?
3. Opisz budowę złącza spawanego?
4. Podaj rodzaje złączy spawanych?
5. Podaj rodzaje spoin?
6. Scharakteryzuj podstawową dokumentację stosowaną w procesie spawania?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Przygotowanie materiału do wykonania złącza spawanego doczołowo ze spoiną jednostronną wykonaną z stali St3S o grubości o 8 mm dla metody spawania 135.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) wyszukać w literaturze technicznej i poradniku dla ucznia informacji o sposobie przygotowania elementów do spawania,
- 2) wykonać szkic przygotowania elementów do złącza spawanego doczołowo,
- 3) ustalić szczegóły dotyczące wymiarów przygotowania elementów do złącza spawanego,
- 4) zapisać wyniki w zeszycie przedmiotowym wykorzystując instrukcje technologii spawania WPS.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Poradnik dla ucznia,
- normy dotyczące przygotowania brzegów do spawania,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

4.4.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:		
1) wyjaśnić w jaki sposób usuwamy zanieczyszczenia z powierzchni elementów przygotowanych do spawania?	☐	☐
2) podać rodzaje łączy spawanych zgodnie z normą?	☐	☐
3) opisać sposoby przygotowania złączy spawanych doczołowo blach o grubości 10 mm?	☐	☐
4) wykonać szkic przygotowanych elementów o grubości 12 mm do spawania doczołowego?	☐	☐
5) podać rodzaje spoin ze względu na kształt ukosowania spawanych elementów?	☐	☐

4.5. Spawanie gazowe

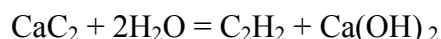
4.5.1. Materiał nauczania

Gazy stosowane w spawalnictwie

W procesach spawania najpowszechniej stosowanymi gazami są acetylen oraz niezbędny do jego spalania tlen. Niekiedy stosuje się inne gazy, np. metan.

Do wytwarzania acetyleny używa się karbidu otrzymywanego w łuku elektrycznym z tlenkiem wapnia i koksu.

Działanie wody na karbid powoduje wydzielanie się acetyleny i powstanie wodorotlenku wapnia. Reakcja jest egzotermiczna i przebiega wg wzoru:



Urządzenie do wytwarzania acetyleny, zwane wytwornicą, ma postać zbiornika, w którym zachodzi reakcja między węglikiem wapnia i wodą. Wytworzony w wytwornicy acetylen należy następnie oczyścić z pyłu oraz usunąć z niego parę wodną, siarkowodor i inne zanieczyszczenia.

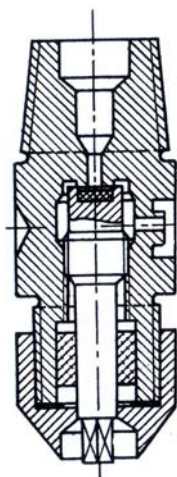
W praktyce z 1 kg karbidu można otrzymać około 300 l acetyleny (C_2H_2) w temperaturze 0°C i pod ciśnieniem ok. 0,1 MPa. Wartość opałowa acetyleny w porównaniu z innymi gazami jest znaczna i wynosi $54,5 \text{ MJ/m}^3$.

Acetylen jest niebezpieczny w użyciu ze względu na skłonność do wybuchu w przypadku wymieszania z tlenem lub powietrzem. Mieszanina acetyleny z tlenem wybuchu pod ciśnieniem atmosferycznym, gdy zawartość C_2H_2 wynosi $2,8 \div 93\%$. Czysty acetylen również może wybuchnąć, jeżeli zostanie ogrzany w stanie sprężonym. Jest on również niebezpieczny w zetknięciu z tlenkami miedzi. Z tych powodów używając acetyleny należy zachować wielką ostrożność i ściśle stosować się do odpowiednich przepisów bhp.

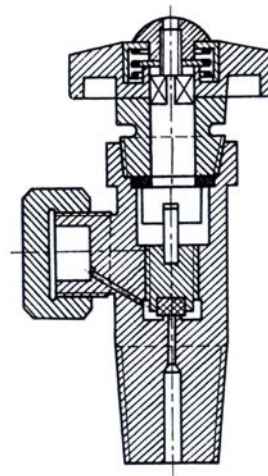
Acetylen przechowuje się przy ciśnieniu 1,5 MPa w butlach stalowych wypełnionych masą porowatą i acetonem, w którym bardzo łatwo się on rozpuszcza. Zajmuje on ok. 50% objętości butli. Zadaniem masy porowatej jest powiększenie powierzchni wydzielania acetonu i ułatwienie w ten sposób rozpuszczania się w nim acetyleny, a podczas rozładowywania butli – równomiernego jego wydzielania. Masa porowata i acetylen wypełniają butlę równomiernie.

Butla do magazynowania acetyleny jest zamknięta zaworem (rys. 21) odkręcanym za pomocą kwadratowego klucza. Dla odróżnienia butle acetylenowe maluje się na żółto i oznacza czarnym napisem: ACETYLEN.

W celu uzyskania najwyższej temperatury płomienia spalanie gazów odbywa się w atmosferze czystego tlenu.



Rys. 21. Zawór butli acetylenowej



Rys. 22. Zawór butli tlenowej

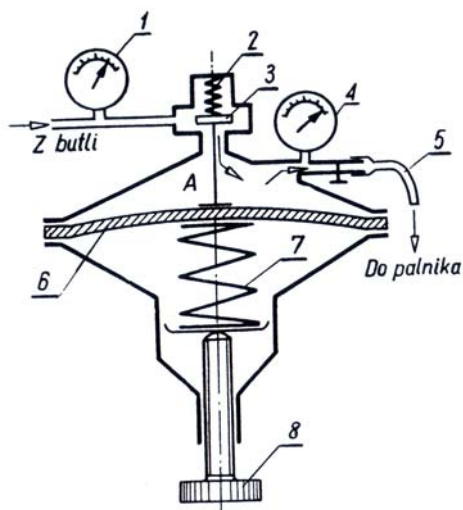
Źródło: Okoniewski S.: Technologia Maszyn. WSiP, Warszawa 1999

Tlen jest przechowywany w stalowych butlach (malowanych na niebiesko) przy nadciśnieniu 15 MPa. Naładowana butla zawiera zwykle około 6m^3 gazu w warunkach normalnych, tj. gdy rozprężymy go do ok. 0,1 MPa w temperaturze 15°C . Butla tlenowa jest zamknięta zaworem mosiężnym przedstawionym na rys. 22. Zawory w urządzeniach tlenowych nie powinny być smarowane tłuszczami, gdyż w zetknięciu ze sprężonym tlenem tłuszcze spalają się wybuchowo. W armaturze tlenowej zawory można smarować tylko wodą. W razie dużego zapotrzebowania tlen pobiera się z kilku butli połączonych ze zbieraczem miedzianymi rurkami.

Reduktory

Zadaniem reduktorów jest obniżanie ciśnienia gazów pobieranych z butli do ciśnienia roboczego i następnie utrzymywanie go bez zmian przez cały czas pracy urządzenia, mimo że ciśnienie w butli maleje w miarę jej opróżniania.

Zasadę działania reduktora przedstawiono na rys. 23. Grzybek 3 pod naciskiem górnej sprężyny 2, dociskany do zaworu, zamyka dopływ acetyleny z butli. Manometr 1 mierzy ciśnienie panujące w butli. W celu otwarcia zaworu śrubą 8, za pośrednictwem sprężyny 7, należy wywrzeć nacisk na przeponę 6, która powoduje uniesienie grzybka zaworu. Otwarcie zaworu umożliwia przedostanie się gazu do przestrzeni A, w której następuje rozprężenie. Manometr 4 mierzy ciśnienie gazu po rozprężeniu. Z komory A gaz przedostaje się przewodem 5 do palnika.



Rys. 23. Schemat reduktora

Źródło: Okoniewski S.: Technologia Maszyn. WSiP, Warszawa 1999

Jeżeli wskutek zużycia gazu ciśnienie w butli zmaleje, zmaleje również nacisk wywierany przez gaz na przeponę 6. W wyniku tego sprężyna 7 uniesie ją nieco wyżej, a tym samym szerzej otworzy się zawór 3, przez który wejdzie większa ilość gazu. Zwiększony dopływ gazu spowoduje utrzymanie się ciśnienia na poprzednim poziomie, dzięki czemu warunki pracy palnika nie ulegną zmianie.

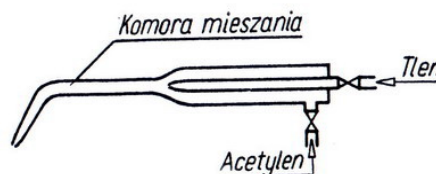
Reduktory do tlenu i acetyleny są zbudowane jednakowo. Różnią się tylko sposobem zamocowania ich na zaworze butli. Reduktory do acetyleny przymocowuje się do butli za pomocą obejmującego zawór strzemiączka oraz śruby. Pracują one przy nadciśnieniu do 1,5 MPa. Reduktory tlenu pracują przy nadciśnieniu do 15 MPa. Mocuje się je do butli za pomocą nakrętki nakręcanej na gwintowany wylot zaworu. Odmienne sposoby zamocowywania reduktorów mają na celu wykluczenie pomyłek i są spowodowane względami bezpieczeństwa.

Palniki

Warunkiem dobrego spalania gazów jest dobre ich wymieszanie z tlenem. Do tego celu służą palniki. Zależnie od sposobu działania rozróżniamy palniki wysokiego oraz niskiego ciśnienia.



Rys. 24. Schemat palnika wysokiego ciśnienia



Rys. 25. Schemat palnika niskiego ciśnienia

Źródło: Okoniewski S.: Technologia Maszyn. WSiP, Warszawa 1999

Schemat palnika wysokiego ciśnienia przedstawiono na rys. 24. W palnikach tych oba mieszające się gazy są doprowadzane pod prawie jednakowym ciśnieniem, wynoszącym 0,1÷0,2 MPa. Przewody doprowadzające gazy do palnika łączy się ze sobą w komorze mieszania.

Gdy różnica ciśnień między tlenem i acetylenem jest znaczna, stosuje się palniki niskiego ciśnienia (rys. 25). Jest to urządzenie smoczkowe, w którym podczas przepływu przez środkową dyszę gazu o wyższym ciśnieniu następuje zasysanie ze zbiornika drugiego -gazu o niskim ciśnieniu. Zwykle gazem o wyższym ciśnieniu jest tlen pobierany z butli, a gazem o niskim ciśnieniu - acetylen.

Płomień acetylenowo-tlenowy

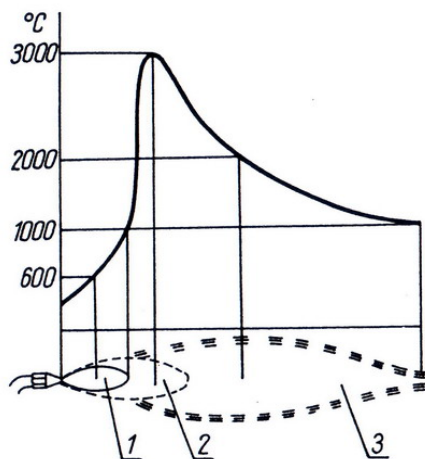
Wynik spawania w głównej mierze zależy od regulacji płomienia acetylenowo-tlenowego.

Płomień acetylenowo-tlenowy (rys. 26) można podzielić na trzy następujące strefy, licząc od wylotu palnika: jądro 1, stożek 2 oraz kietę 3. W jądrze płomienia zachodzi częściowa dysocjacja (rozpad acetyleny na wodór i węgiel, którego rozżarzone cząsteczki świecą jaskrawym, oślepiającym blaskiem). Poczynając od granicy jądra w stożku płomienia zaczyna się spalanie wodoru na parę wodną i węgla na tlenek węgla. W tej strefie, jak widać na wykresie, panuje najwyższa temperatura. W kicie płomienia następuje spalanie tlenku węgla – powstałego w środkowej części płomienia - na dwutlenek węgla. W tej części płomienia spalanie następuje przy częściowym udziale tlenu pobieranego z powietrza. Palący się tlenek nadaje płomieniowi charakterystyczne niebieskawe zabarwienie.

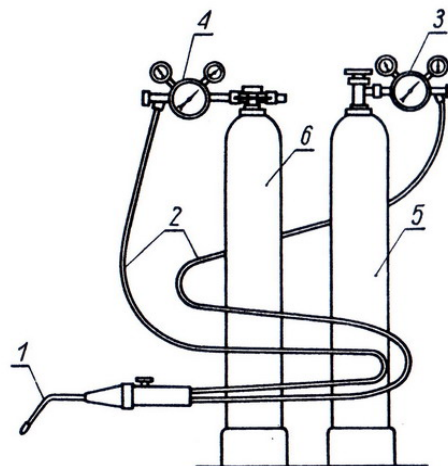
Stanowisko robocze do spawania gazowego

Palnik 1 (rys. 27) jest połączony przewodami gazowymi 2 z reduktorami 3 i 4. Reduktor 3 obsługuje butlę tlenową 5, a reduktor 4 – butlę 6, zawierającą acetylen. Na niektórych stanowiskach roboczych zamiast butli z acetylenem stosuje się wytwornicę acetylenową, wyposażoną zazwyczaj w oczyszczacz oraz bezpiecznik wodny.

W skład wyposażenia stanowiska roboczego wchodzi jeszcze: stół roboczy, taboret dla spawacza, narzędzia pomocnicze i odzież ochronna.



Rys. 26. Płomień acetylenowo-tlenowy



Rys. 27. Zespół urządzeń do spawania gazowego

Zródło: Okoniewski S.: Technologia Maszyn. WSiP, Warszawa 1999

Podstawowymi narzędziami pomocniczymi na stanowisku roboczym spawacza są: komplet kluczy do mocowania zaworów na butlach oraz otwierania butli z acetylenem. Młotek ze stali, zakończony na jednym końcu ostro, a na drugim płasko, służy do odbijania żuźla ze spoiny. Szczotka z cienkiego drutu stalowego jest przeznaczona do oczyszczania spoiny.

Zadaniem odzieży ochronnej jest ochrona spawacza przed szkodliwym wpływem warunków pracy. Ze względu na charakter procesu spawacz powinien być zabezpieczony

przed promieniowaniem płomienia i stopionego metalu oraz przed odpryskami metalu i topnika. Z tego powodu spawacz na stanowisku spawania gazowego używa do ochrony oczu okularów zaopatrzonych w przyciemnione szkła. Przed wpływem ciepła i odprysków stopionych metali chronią spawacza rękawice skórzane, fartuch oraz specjalne ubranie.

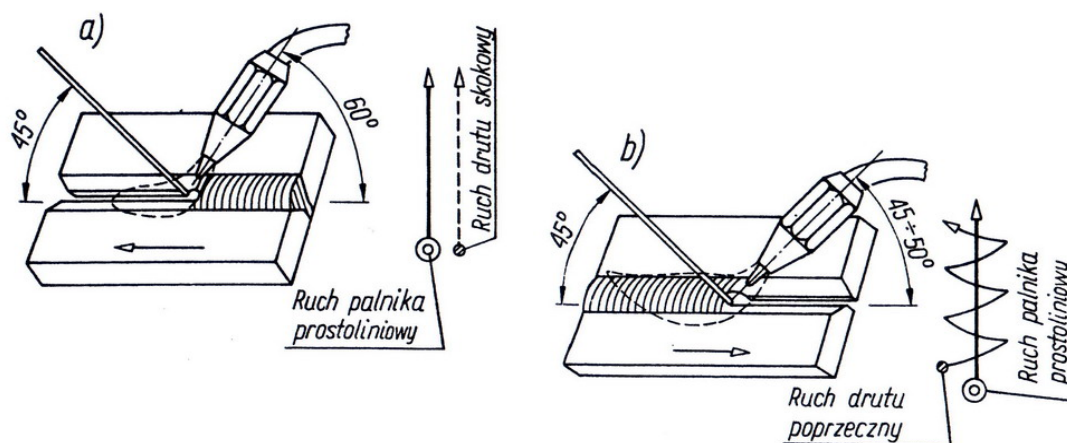
Stanowisko robocze spawacza osłania się zasłonami w celu ochrony otoczenia przed wpływem promieniowania.

Metody spawania

W praktyce stosuje się kilka metod spawania gazowego. Różnią się one między sobą głównie sposobem przesuwania palnika i spoiwa. Niezależnie od sposobu spawania palnik trzyma się w prawej ręce, a spoiwo - w lewej. Najczęściej stosuje się: spawanie w lewo, spawanie w prawo oraz spawanie w górę.

Spawanie w lewo (rys. 28a) stosuje się głównie do blach, których grubość nie przekracza 4 mm. Podczas spawania palnik trzymany w prawej ręce przesuwa się w lewo, a spoiwo trzymane w lewej ręce wyprzedza palnik w swym ruchu wzdłuż spoiny. Płomień palnika jest stale skierowany na materiał jeszcze nie spawany.

Spawanie w prawo (rys. 28b) stosuje się głównie do blach grubości przekraczającej 4 mm. Palnik wyprzedza spoiwo, a płomień jest skierowany stale na spoinę. Dzięki temu jej chłodzenie przebiega powolniej, mniejsza jest zatem możliwość powstania naprężeń spawalniczych.



Rys. 28. Zasada spawania: a) w lewo, b) w prawo

Źródło: Okoniewski S. : Technologia Maszyn. WSiP, Warszawa 1999

Cięcia gazowe – charakterystyka.

Procesem pokrewnym procesom spawalniczym jest cięcie metali, polegające na wypalaniu lub wytapianiu w nich szczeliny.

Cięcie gazowe polega na spalaniu w strumieniu tlenu wzdłuż linii cięcia metalu ogrzanego do odpowiedniej temperatury. Muszą być przy tym spełnione następujące warunki:

- metal przeznaczony do cięcia powinien w podwyższonej temperaturze łatwo tworzyć tlenki, a powstające produkty reakcji powinny bez trudu wypływać ze szczeliny;
- temperatura reakcji powinna być niższa od temperatury topnienia przecinanego metalu;
- temperatura topnienia powstałych tlenków powinna być niższa od temperatury topnienia metali;
- przewodnictwo cieplne metalu powinno być niewielkie ze względu na konieczność nagrzania go w określonym miejscu do wysokiej temperatury.

Z tych powodów nie wszystkie metale można ciąć metodą gazową. Jest ona stosowana do cięcia stali zawierającej niewielkie ilości węgla. np. do cięcia elementów kotłów, konstrukcji stalowych, taboru kolejowego, okrętów.

Stanowisko pracy do spawania i przecinania gazowego

Stanowisko pracy spawacza i przecinacza ręcznego gazowego należy wyposażać w:

- stół spawalniczy z uniwersalnym uchwytem do mocowania elementów z blach i rur w różnych pozycjach,
- wieszak (zaczep) do odkładania palnika,
- naczynie z wodą,
- stołek z regulowaną wysokością siedziska, punkty zasilania gazami spawalniczymi: tlenem i acetylenem, np. butle napełnione gazami z zamontowanym osprzętem,
- palnik z przewodami (węzami) spawalniczymi,
- bezpieczniki przyreduktorowe lub przypalnikowe,
- przybory (wałeczki) do czyszczenia palnika,
- urządzenia wentylacji stanowiskowej lub wyciągi stanowiskowe podłączone do instalacji wyciągowej ogólnej,
- narzędzia ślusarskie: młotki, cęgi lub szczypce, szczotki druciane stalowe,
- szafkę narzędziową.

Organizując stanowisko pracy spawacz i przecinacz gazowy sprawdzają:

- stan techniczny wszystkich składników stanowiących wyposażenie stanowiska spawalniczego,
- zgodność wyposażenia z przeznaczeniem stanowiska do spawania lub cięcia gazowego,
- ustawienie parawanów (zasłon), jeśli jest to wymagane,
- zewnętrzny stan techniczny butli z gazami spawalniczymi: tlenem i acetylenem,
- sprawność osprzętu spawalniczego: reduktorów tlenowych i acetylenowych, bezpieczników, przewodów: tlenowego i acetylenowego oraz palnika,
- poziom wody w naczyniu do studzenia palnika,
- oświetlenie stanowiska pracy,
- funkcjonowanie wentylacji stanowiskowej wyciągowej i nawiewnej ogólnej.

Przed rozpoczęciem prac spawalniczych należy spełnić podstawowe warunki bezpieczeństwa na stanowisku pracy spawacza:

- organizować stanowisko pracy zgodnie z wymaganiami bhp i ochrony środowiska,
- sprawdzić kompletność wymaganego wyposażenia technicznego stanowiska pracy,
- sprawdzić sprawność techniczną całego wyposażenia technicznego na stanowisku pracy,
- sprawdzić zabezpieczenie stanowiska spawalniczego pod względem przeciwpożarowym.

4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Podaj gazy stosowane do spawania gazowego?
2. Opisz stanowisko pracy do spawania gazowego?
3. Jakie zadania w butli acetylenowej spełnia masa porowata?
4. Scharakteryzuj metodę spawania gazowego w lewo?
5. Scharakteryzuj metodę spawania gazowego w prawo?
6. Podaj podstawowe zasady bhp na stanowisku do cięcia i spawania gazowego?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dobór metody spawania gazowego do spawanego złącza doczołowego o grubości 5 mm.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z metodami spawania gazowego,
- 2) zapoznać się z zastosowaniem metod spawania gazowego,
- 3) dokonać doboru metody spawania wraz z podaniem uzasadnienia wyboru metody.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- Poradnik dla ucznia,
- plansze dotyczące spawania gazowego, filmy,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Wykonanie połączenia spawanego doczołowo o grubości 1,5 mm metodą spawania gazowego w lewo.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją bhp podczas spawania gazowego,
- 2) przygotować stanowisko do spawania gazowego zgodnie z warunkami bhp,
- 3) założyć odzież ochronną do wykonania połączenia spawanego,
- 4) zapalić płomień w palniku i dokonać jego regulacji,
- 5) wykonać połączenie spawane metodą spawania gazowego w lewo,
- 6) wykonać ocenę wizualną złącza spawanego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcje bhp, sprzęt ochrony osobistej spawacza,
- wyposażenie stanowiska do spawania gazowego,
- plansze dotyczące spawania gazowego,
- sprzęt ochrony osobistej spawacza.

4.5.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:		
1) scharakteryzować gazy stosowane do spawania gazowego?	☐	☐
2) scharakteryzować acetylen do spawania gazowego?	☐	☐
3) opisać budowę butli acetylenowej i podać bilans zawartości butli?	☐	☐
4) przygotować stanowisko do spawania gazowego zgodnie z przepisami bhp?	☐	☐
5) ustawić płomień acetylenowo-tlenowy do spawania gazowego?	☐	☐
6) przygotować elementy do wykonania połączenia spawanego gazowo?	☐	☐
7) wykonać połączenie spawane gazowo w lewo?	☐	☐

4.6. Spawanie łukowe elektrodą otuloną

4.6.1. Materiał nauczania

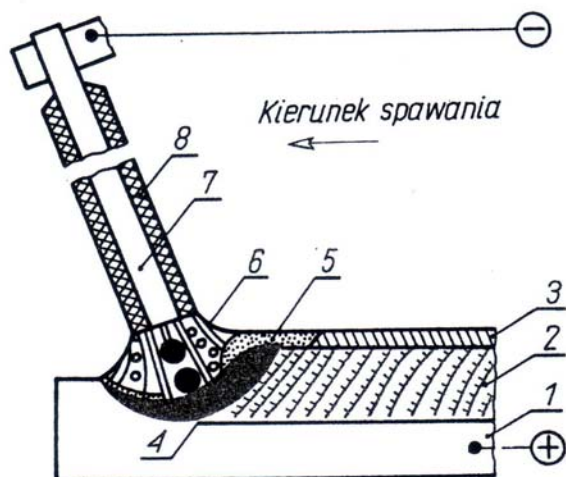
Podczas **spawania elektrycznego** łukowego źródłem ciepła jest łuk elektryczny, jarzący się między elektrodą a spawanym elementem.

Łuk elektryczny powstaje na skutek zjonizowania gazów otaczających elektrodę i spawany element. W praktyce zajarzenie łuku jest uzyskiwane w wyniku zetknięcia elektrody z łączonym elementem i następnie odsunięcia jej na odległość 3÷6 mm. Temperatura w łuku elektrycznym wynosi ok. 5000°C, co umożliwia topienie końca elektrody oraz materiału rodzimego.

Łuk elektryczny może być zasilany prądem stałym, wytwarzanym przez spawarki prostownikowe, albo prądem przemiennym, wytwarzanym przez spawarki transformatorowe. Parametry prądu zasilającego łuk elektryczny wynoszą: natężenie 30÷600 A, napięcie 20÷35 V.

Rdzeń elektrod otulonych stanowi spoiwo, a warstwę zewnętrzną - otulina. Skład chemiczny i właściwości spoiwa są dostosowane do materiału rodzimego wykonywanego złącza. Natomiast otulina może zawierać:

- substancje wiążące (np. szkło wodne, kaolin, szkło potasowo-sodowe) poszczególne składniki;
- składniki ułatwiające stabilne jarzenie się łuku elektrycznego,
- składniki żużlotwórcze,
- składniki gazotwórcze,
- składniki odtleniające stopiwo i stopiony materiał rodzimy,
- składniki uszlachetniające spoinę.



Rys. 29. Schemat spawania elektrodą otuloną

1 - materiał rodzimy, 2 - spoina, 3 - warstwa skrzepniętego żużła, 4 - jeziorko ciekłego metalu, 5 - warstwa ciekłego żużła, 6 - łuk elektryczny, 7 - rdzeń elektrody (spoiwo), 8 - otulina

Źródło: Bartosiewicz J.: Obróbka i montaż części maszyn. WSiP, Warszawa 1995

Podczas spawania elektrodą otuloną (rys. 29) łuk elektryczny 6 jarzy się między rdzeniem 7 elektrody a materiałem rodzimym 1, topieniu ulega koniec elektrody oraz materiał rodzimy, w wyniku czego tworzy się tzw. jeziorko 4. Topieniu i spalaniu otuliny towarzyszy powstawanie warstwy ciekłego żużła 5 oraz gazów, które chronią stopiony metal przed utlenianiem. Po przesunięciu elektrody w kierunku wskazanym strzałką następuje krzepnięcie metalu – powstaje spoina 2, pokryta warstwą skrzepniętego żużła 3, którą można łatwo

usunąć za pomocą drucianej szczotki lub młotka.

Elektrody otulone są stosowane do spawania ręcznego. Spawanie elektrodą otuloną jest metodą uniwersalną, umożliwia bowiem łączenie elementów o różnej grubości w dowolnej pozycji spawania. Spawanie elektrodą otuloną zapewnia ponadto dobrą jakość spoin, jest jednak mało wydajne.

Podział elektrod

Elektrody otulone dzieli się w zależności od ich grubości otuliny, stopnia uzysku stopiwa oraz przeznaczenia. W zależności od **grubości otuliny** rozróżnia się elektrody:

- **cienko otulone**, o grubości otuliny poniżej 20% średnicy rdzenia,
- **średnio otulone**, o grubości otuliny 20÷40% średnicy rdzenia,
- **grubo otulone**, o grubości otuliny powyżej 60% średnicy rdzenia.

Produkowane elektrody o dużym stopniu uzysku mają grubość otuliny ok. 100% średnicy rdzenia, a nawet i więcej.

W zależności od składu chemicznego elektrody dzieli się na:

- elektrody o otulinie **kwaśnej (A)**,
- elektrody o otulinie **kwaśno-rutylowej (AR)**,
- elektrody o otulinie **rutylowej (R)**,
- elektrody o otulinie **rutylowej (RR)** - (grubootulona),
- elektrody o otulinie **zasadowej (B)**,
- elektrody o otulinie **celulozowej (C)**,
- elektrody o otulinie **utleniającej (O)**,
- elektrody o otulinie **innego rodzaju (S)**.

W zależności od **przeznaczenia** elektrody dzieli się na:

- **połączeniowe**, do spawania stali węglowych niestopowych i nisko-stopowych (EA, EAR, ER, ERR, EB, EC, EO, ES),
- do spawania stali **niskostopowych i wysokostopowych (ES)**,
- do **napawania (EN)**,
- do spawania **żeliwa (EŻ)**,
- do spawania **metali nieżelaznych**.

Dobór parametrów spawania

Jednym z ważniejszych parametrów spawania jest **natężenie prądu spawania**. Wartość prądu dobiera się w zależności od średnicy elektrody, pozycji spawania, grubości przedmiotu spawanego, rodzaju materiału oraz rodzaju spoiny.

Podstawowym czynnikiem podczas doboru prądu spawania jest **średnica elektrody**. Natężenie prądu spawania dobiera się do 1 mm średnicy elektrody i przyjmuje się następujące wartości:

- do elektrod o średnicy 2 mm - 25÷30 A na 1 mm średnicy,
- do elektrod o średnicy 2÷4 mm - 30÷40 A na 1 mm średnicy,
- do elektrod o średnicy 4÷6 mm — 40÷60 A na 1 mm średnicy.

Spawacz powinien dobierać natężenie prądu spawania zgodnie z instrukcją spawania WPS.

Stanowisko pracy do spawania łukiem elektrycznym

Stanowisko pracy do spawania łukiem elektrycznym należy wyposażyć w:

- stół spawalniczy z uniwersalnym uchwytem do mocowania elementów z blach i rur w różnych pozycjach,

- wieszak (zaczep) do bezpiecznego odkładania uchwytu spawalniczego,
- dywanik izolacyjny gumowy (dielektryczny), izolujący spawacza od podłoża – ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym,
- stół z regulowaną wysokością siedziska,
- źródło prądu spawania (np. prostownik spawalniczy) z osprzętem,
- urządzenia wentylacji stanowiskowej – wyciągi stanowiskowe podłączone do wspólnej instalacji wyciągowej lub indywidualne urządzenia filtracyjno-wentylacyjne,
- pojemnik na odpadki elektrod otulonych,
- narzędzia ślusarskie: młotki, szczypce lub cęgi, szczotki druciane stalowe,
- szafkę narzędziową.

Organizując stanowisko pracy spawacz ręczny łukiem elektrycznym sprawdza:

- stan techniczny wszystkich składników należących do wyposażenia stanowiska spawalniczego,
- zgodność wyposażenia z przeznaczeniem stanowiska do spawania ręcznego łukowego,
- ustawienie parawanów (zasłon, ekranów),
- zewnętrznie stan techniczny urządzeń spawalniczych wraz z osprzętem,
- oświetlenie stanowiska pracy,
- funkcjonowanie wentylacji stanowiskowej wyciągowej i nawiewnej ogólnej,
- zamocowanie kowadełka masy,
- zamocowanie uchwytu spawalniczego, łączników, szybkozłączek „euro”,
- wyposażenie stanowiska w urządzenie do bezpiecznego zawieszania uchwytu spawalniczego,
- działanie wentylacji stanowiskowej,
- stan techniczny narzędzi i ułożenie ich na stanowisku pracy,
- ustawienie parawanów lub zasłon,
- dobranie szkieł filtracyjnych i ich założenie do tarczy spawalniczej lub przyłbicy,
- w przypadku stanowiska do spawania łukowego elektrodami otulonymi sprawdza, czy w wyposażeniu stanowiska jest pojemnik na resztki (ogarki) elektrod otulonych.

4.6.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Na czym polega spawanie elektryczne elektrodą otuloną?
2. Scharakteryzuj budowę elektrody otulonej.
3. Jakie zadania spełnia otulina w procesie spawania elektrodą otuloną?
4. Jakie mamy rodzaje elektrod ze względu na rodzaj otuliny?
5. Jakie przepisy bhp muszą być zachowane podczas spawania elektrodą otuloną?

4.6.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Odczytywanie oznaczenia elektrod i podanie zastosowania.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) wyszukać informacje odnośnie klasyfikacji i przeznaczenia elektrod,
- 2) odczytać oznaczenia z opakowania elektrod,

- 3) dokonać interpretacji oznaczeń zgodnie z normą dotyczącą klasyfikacji elektrod,
- 4) dokonać zastosowania określonej elektrody.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- norma dotycząca klasyfikacji elektrod otulonych, PN-EN499,
- opakowanie z elektrodami, kilka rodzajów,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Wykonanie połączenia spawanego elektrodą otuloną w pozycji spawania nabocznej (PB) złącza teowego o grubości 5-6 mm.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją bhp podczas spawania łukowego elektrodą otuloną,
- 2) przygotować stanowisko do spawania łukowego elektrodą otuloną zgodnie z warunkami bhp,
- 3) środki ochrony osobistej do wykonania połączenia,
- 4) założyć odzież ochronną do spawania łukowego elektrodą otuloną,
- 5) ustalić parametry spawania do wykonania złącza teowego ze spoiną pachwinową,
- 6) wykonać połączenie spawane w pozycji roboczej łukowo elektrodą otuloną.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- ilustracja bhp podczas spawania łukowego elektrodą otuloną,
- stanowisko do spawania łukowego elektrodą otuloną,
- odzież ochronna do spawania elektrodą otuloną,
- instrukcja WPS dla wykonania połączenia spawanego.

4.6.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:		
1) dokonać klasyfikacji elektrod otulonych do spawania łukowego ze względu na rodzaj otuliny?	☐	☐
2) przygotować stanowisko pracy do spawania łukowego elektrodą otuloną?	☐	☐
3) dobrać odzież ochronną do spawania łukowego elektrodą otuloną?	☐	☐
4) ustawić parametry spawania do wykonania złącza teowego w pozycji roboczej PB?	☐	☐
5) wykonać złącze teowe ze spoiny podwinowej metodą spawania łukowego elektrodą otuloną w pozycji spawania pianowej PF?	☐	☐

4.7. Spawanie w osłonie gazów ochronnych

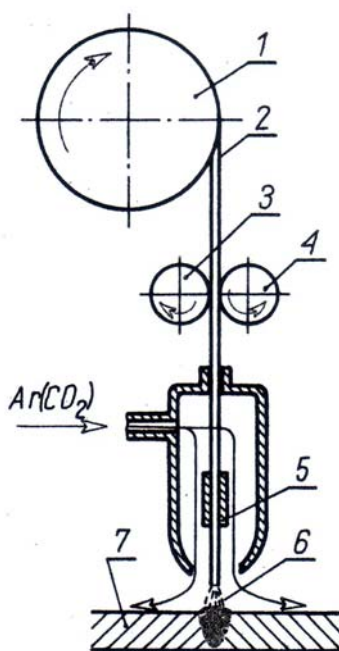
4.7.1. Materiał nauczania

Podczas spawania elektrodą topliwą w osłonie gazowej łuk oraz ciekły metal są chronione przed działaniem powietrza — osłona gazowa odgrywa więc rolę niejako otuliny czy topnika, stosowanych w metodach uprzednio opisanych. Funkcję elektrody spełnia drut spawalniczy odwijany z bębna.

Schemat spawania elektrodą topliwą w osłonie gazowej przedstawiono na rys. 30.

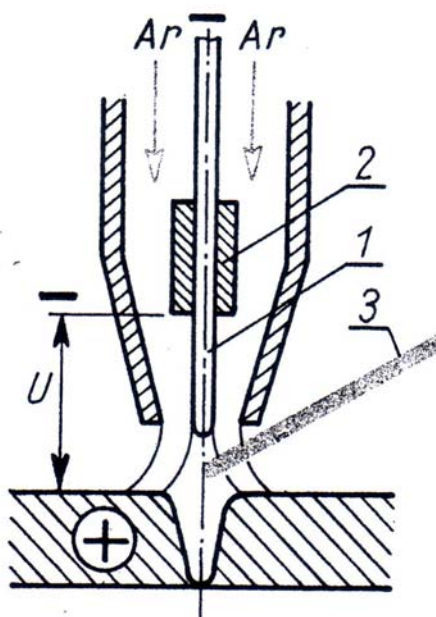
W zależności od rodzaju gazu rozróżnia się dwie metody spawania:

- w atmosferze gazów aktywnych chemicznie, takich jak dwutlenek węgla lub mieszanina argonu z tlenem i dwutlenkiem węgla, nazywaną metodą MAG (Metal Active Gas Welding); metoda ta jest stosowana do łączenia blach małej i średniej grubości ze stali niestopowej; ponieważ dwutlenek węgla reaguje z ciekłym metalem, spoiwo (drut spawalniczy) powinno zawierać odpowiednią ilość odtleniaczy - ok. 1,1÷1,6% Mn oraz 0,7÷1,0% Si;
- w atmosferze gazów obojętnych chemicznie (argon, hel), nazywaną metodą MIG (Metal Inert Gas Welding); metoda ta jest stosowana do spawania elementów ze stali stopowych oraz metali nieżelaznych i ich stopów.



Rys. 30. Schemat spawania elektrodą topliwą w osłonie gazowej

1-bęben, 2-drut spawalniczy, 3 i 4 - rolki podajnika drutu spawalniczego, 5 - tuleja doprowadzająca prąd do elektrody (drutu spawalniczego), 6 - luk elektryczny, 7 - spawany element



Rys. 31. Schemat spawania elektrodą nietopliwą w osłonie gazowej

1 - elektroda wolframowa, 2 - tuleja doprowadzająca prąd do elektrody, 3 - spoiwo

Źródło: Bartosiewicz J.: Obróbka i montaż części maszyn. WSiP, Warszawa 1995

Spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazowej odbywa się półautomatycznie lub automatycznie. Spośród jego zalet należy wymienić:

- dużą wydajność, kilkakrotnie większą niż w przypadku ręcznego spawania elektrodą otuloną,
- niski koszt - o ile są stosowane tanie gazy aktywne,
- możliwość obserwacji łuku elektrycznego,
- możliwość spawania w dowolnej pozycji,
- dobrą jakość spoiny i małe odkształcenia w złączu spawanym,
- wyeliminowanie konieczności usuwania warstwy żużla ze spoiny.

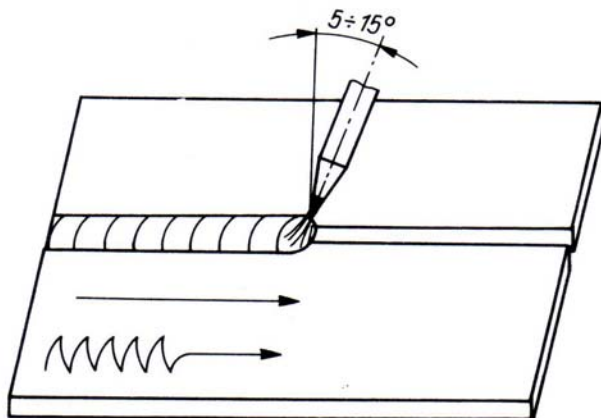
Spawanie elektrodą nietopliwą w osłonie gazów obojętnych jest nazywane metodą TIG (Tungsten Inert Gas Welding). W metodzie tej elektroda, wykonana zazwyczaj z wolframu, służy tylko do zajarzania i utrzymywania łuku elektrycznego.

Spoiwo, w postaci pręta lub drutu odwijanego z bębna, jest doprowadzane w strefę łuku elektrycznego pod kątem około 15° (rys. 31). Spawanie może być wykonywane także bez spoiwa – spoina powstaje wtedy na skutek krzepnięcia uprzednio stopionego materiału rodzimego.

Spawanie elektrodą nietopliwą w osłonie gazów obojętnych może się odbywać półautomatycznie lub automatycznie. Jest stosowane do łączenia blach grubości $g = 1 \div 10$ mm ze stali wysokostopowych oraz metali nieżelaznych i ich stopów.

Technika spawania

Blachy o grubości do 4 mm można połączyć jednym ściegiem. **Spoiny jednościegowe** na cienkich blachach wykonuje się prowadząc uchwyt spawalniczy ruchem jednostajnym postępowym, bez wykonywania ruchów poprzecznych (rys. 32). Spoiny jednościegowe na blachach grubszych wykonuje się prowadząc uchwyt spawalniczy ruchami bocznymi.



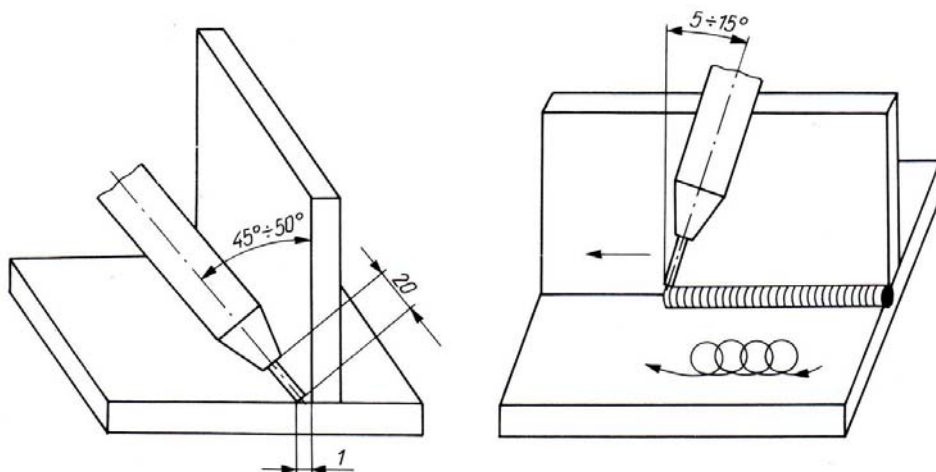
Rys. 32. Spawanie jednościegowe w pozycji podolnej

Źródło: Hillar J., Jarmoszuk S.: Ślusarstwo i spawalnictwo. WSiP, Warszawa 1995

Spawanie w pozycji podolnej

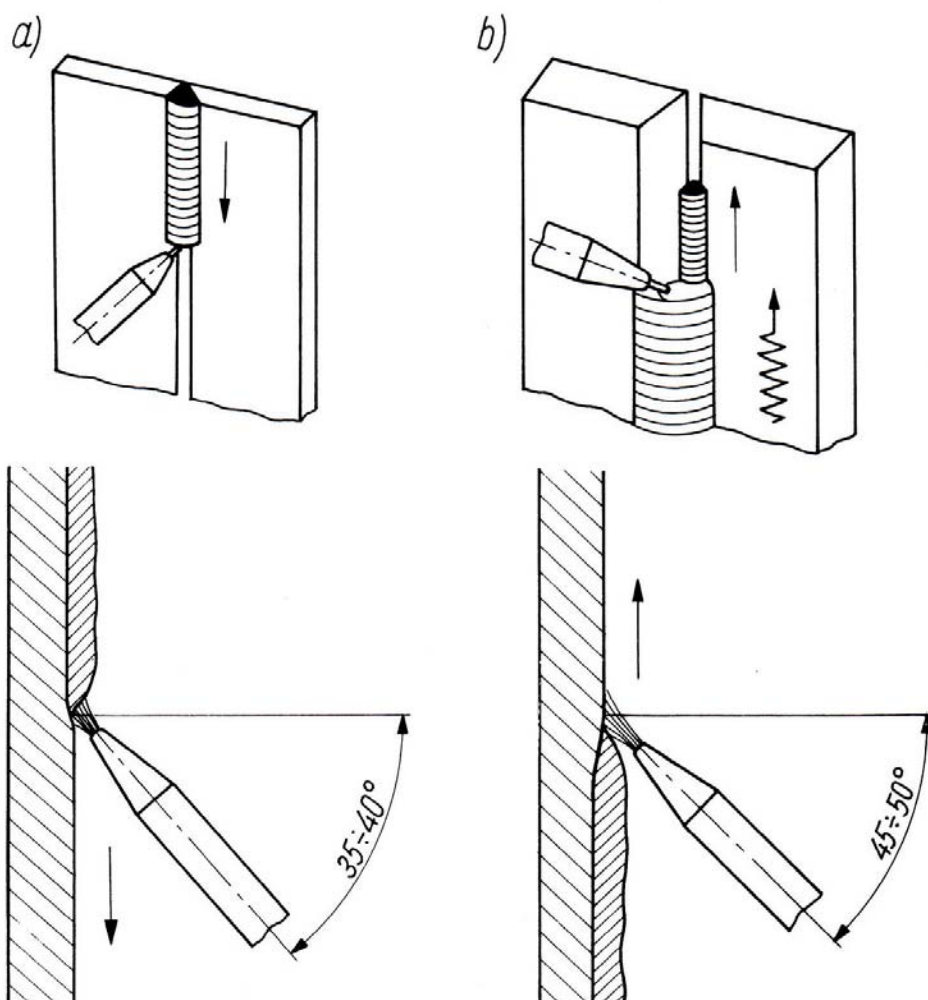
Blachy powyżej 4 mm grubości ukosuje się i spawa wielościegowo. Liczba ściegów zależy od grubości blachy, rodzaju spoiny i pozycji spawania.

Spoiny pachwinowe są wykonywane **jednościegowo i wielościegowo**.



Rys. 33. Wykonywanie spoin pachwinowych

Źródło: Hillar J., Jarmoszuk S.: Ślusarstwo i spawalnictwo. WSiP, Warszawa 1995

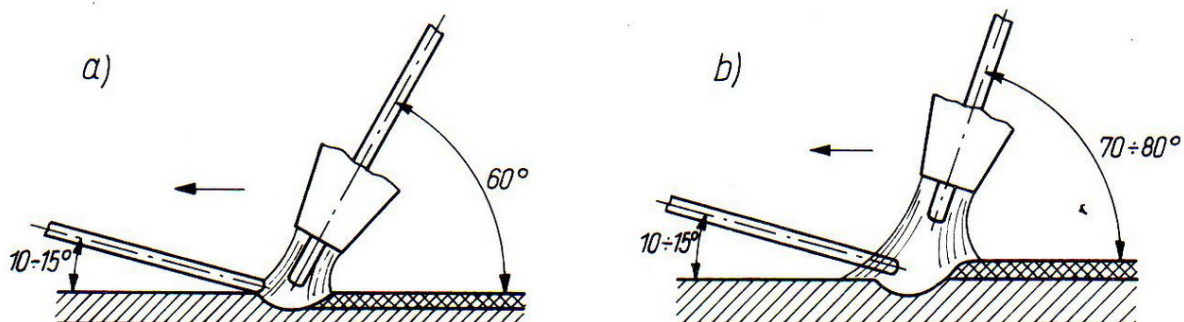


Rys. 34. Technika wykonywania spoin czołowych w pozycji pionowej: a) z góry na dół, b) z dołu do góry

Źródło: Hillar J., Jarmoszuk S.: Ślusarstwo i spawalnictwo. WSiP, Warszawa 1995

Technika spawania metodą TIG

Uzyskanie dobrej spoiny bardzo zależy od **właściwego ustawienia** uchwytu spawalniczego i pałeczki spoiwa względem materiału spawanego. Jeżeli ustawienie dyszy gazowej jest niewłaściwe, to płynna kąpiel jeziora jest niedostatecznie chroniona przed dostępem powietrza. Dla różnych grubości materiału najlepsze wyniki spawania elektrodą nietopliwą uzyskuje się przy ustawieniu uchwytu spawalniczego jak na rys. 35.



Rys. 35. Pochylenie uchwytu spawalniczego: a) przy blachach cienkich, b) przy blachach grubych
Źródło: Hillar J., Jarmoszuk S.: Ślusarstwo i spawalnictwo. WSiP, Warszawa 1995

Wymagania bhp wobec spawacza na stanowisku pracy.

Do wykonywania powierzonej pracy spawacz powinien przystąpić właściwie ubrany. Nie wolno mu podejmować pracy, jeśli ma jakiegokolwiek wątpliwości co do jej bezpiecznego wykonania. W takim wypadku powinien zgłosić się do bezpośredniego przełożonego po wskazówkę. Przed rozpoczęciem pracy spawacz powinien:

- wysłuchać instruktażu zwierzchnika w zakresie bhp,
- zapoznać się z dokumentacją techniczną wykonawczą: instrukcją technologiczną spawania oraz okresowo z innymi instrukcjami znajdującymi się na stanowisku pracy,
- przemyśleć bezpieczny przebieg wykonywania powierzonej pracy,
- sprawdzić wyposażenie stanowiska w niezbędne pomoce warsztatowe, narzędzia pracy i ochrony indywidualne,
- przygotować stanowisko pracy do realizacji zadania (podtrzymki, uchwyty, oświetlenie stanowiskowe),
- sprawdzić stan techniczny urządzeń i osprzętu spawalniczego,
- jeśli istnieje konieczność korzystania z narzędzi elektrycznych, zapoznać się z instrukcjami bezpiecznego ich stosowania,
- sprawdzić system ustawiania elementów do szepiania i spawania,
- sprawdzić czy stanowisko pracy jest pozbawione materiałów palnych, skoncentrować swoją uwagę tylko na zasadniczych wykonywanych czynnościach,

Przez racjonalną organizację stanowiska pracy spawacza rozumiemy bezpieczne i łatwe wykonywanie pracy dzięki zastosowaniu odpowiedniego wyposażenia i zastosowaniu właściwych środków ochronnych przed czynnikami:

- niebezpiecznymi, w szczególności urazowymi,
- szkodliwymi i uciążliwymi, jak: zapylenie, hałas, mikroklimat, oświetlenie, duże i zbędne obciążenie fizyczne pracownika.

Małe elementy spawa się na stole spawalniczym, wykonanym z materiału niepalnego. Duże przedmioty lub ciężkie przedmioty (o masie ponad 25 kg) powinny być przemieszczane za pomocą urządzeń transportu pionowego i poziomego. Szczególną wagę należy

przywiązywać do organizacji stanowisk pracy poza spawalnią. Stanowisko spawania na otwartej przestrzeni wymaga zabezpieczenia przed opadami atmosferycznymi. Otoczenie stanowiska spawania powinno być chronione przed promieniowaniem tuku elektrycznego. Stanowiska spawania i cięcia tukiem elektrycznym organizowane poza spawalnią powinny być osłonięte nieprzeźroczystymi parawanami lub ściankami chroniącymi osoby postronne przed szkodliwym promieniowaniem łuku elektrycznego. Ścianki i parawany są wykonywane wyłącznie z materiałów niepalnych i nie powodujących odblasków. Zgodnie z zasadami bhp miejsce pracy należy utrzymywać w czystości i porządku, a powierzone urządzenia, osprzęt spawalniczy, narzędzia i przyrządy sprawdzać przed przystąpieniem do pracy oraz utrzymywać w czystości i zdolności do pracy. Ewentualne niedomagania należy zgłaszać przełożonym (instruktorom).

Obowiązkiem pracownika jest zapoznanie się z instrukcjami obsługi wszystkich urządzeń technicznych znajdujących się na stanowisku pracy. Spawacz powinien ustawiać i mocować spawane elementy w taki sposób, aby nie spadły lub nie przesunęły się w czasie spawania. Przed rozpoczęciem spawania należy włączyć wentylację stanowiskową, aby usuwać gazy spawalnicze bezpośrednio ze stanowiska spawacza. Obowiązkiem spawacza jest stosowanie bezpiecznych metod pracy, zapewnienie dobrej organizacji, wykonywanie tylko tych zadań, które zlecił przełożony. W razie zaistnienia sytuacji nietypowych należy bezzwłocznie zwrócić się do swojego bezpośredniego zwierzchnika po wytyczne do dalszego postępowania. W myśl przepisów bhp nie wolno wykonywać prac, których nie zlecił przełożony.

Prace spawalnicze wykonywane w ramach robót budowlanych, rozbiórkowych, remontowych i montażowych prowadzone bez wstrzymania ruchu zakładu pracy lub jego części, powinny być organizowane w sposób nie narażający spawaczy na niebezpieczeństwa i uciążliwości oraz prowadzone z zastosowaniem szczególnych środków ostrożności. Pracodawca i osoba kierująca spawaczami powinni protokolarnie ustalić szczegółowe warunki bhp i podział obowiązków w tym zakresie. Spawacze powinni być poinformowani o niezbędnych środkach ostrożności i wykonywać prace na podstawie pisemnego zezwolenia pracodawcy.

Zabronione jest wykonywanie prac spawalniczych na urządzeniach znajdujących się pod ciśnieniem oraz użytkowania nie oczyszczonych naczyń po materiałach łatwo palnych lub trujących (toksycznych). Prace spawalnicze wewnątrz zbiorników, w kanałach, studniach, studzienkach kanalizacyjnych, wnętrzach urządzeń technicznych i wszelkich zamkniętych przestrzeniach, do których wejście odbywa się przez włazy i otwory o niewielkich rozmiarach lub jest utrudnione w inny sposób, w ciasnych pomieszczeniach mogą być wykonywane na podstawie pisemnego zezwolenia pracodawcy. Do prac spawalniczych w zbiornikach można przystąpić po stwierdzeniu, że zostały spełnione następujące wymagania:

- zbiornik opróżniono i wstępnie oczyszczono przez przemycie, przedmuchanie parą wodną, nietoksycznym gazem obojętnym lub powietrzem,

Przedmuchiwanie tlenem zbiorników czyszczonych przed pracami spawalniczymi jest niedopuszczalne.

- odłączono dopływ do zbiornika czynników, substancji i materiałów, z zewnątrz,
- znajdujące się wewnątrz zbiornika urządzenia ruchome, grzejniki, i inne, mogące stworzyć zagrożenie, odłączono od źródeł zasilania,
- w przypadku pracy w zbiorniku, związanej z zagrożeniem pożarowym, zastosowano niezbędne środki ochrony przeciwpożarowej.
- na czas trwania prac spawalniczych miejsce usytuowania zbiornika zostało zabezpieczone przed potencjalnymi zagrożeniami i wyłączone zostały z ruchu lub unieruchomione wszelkie urządzenia techniczne stanowiące takie zagrożenie,

- przed rozpoczęciem prac spawalniczych wewnątrz zbiornika sprawdzono powietrze w zbiorniku na zawartość tlenu, gazów i par substancji toksycznych oraz palnych,
- zapewniono wymagane środki ochrony zbiorowej i/lub indywidualnej,
- zapewniono do oświetlenia wnętrza zbiornika lampy elektryczne o bezpiecznym napięciu,
- pomocnik spawacza przez cały czas obserwuje prace spawacza.

4.7.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Na czym polega spawanie w osłonie gazów ochronnych?
2. Jakie gazy ochronne stosuje się do spawania w osłonie gazów aktywnych?
3. Jakie gazy ochronne stosuje się do spawania w osłonie gazów obojętnych?
4. Co oznacza spawanie metodą MAG?
5. Co oznacza spawanie metodą TIG?
6. W jaki sposób dobieramy parametry spawania do metody MAG i TIG?

4.7.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wykonanie połączenia spawanego z blach stalowych St3S o grubości 6 mm metodą spawania 135.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją spawania w osłonie gazów aktywnych metodą 135,
- 2) przygotować stanowisko do spawania w osłonie gazów aktywnych metodą 135,
- 3) założyć odzież ochronną zgodnie z przepisami bhp
- 4) ustawić parametry spawania dla poprawnie wykonanego połączenia spawanego,
- 5) wykonać połączenie spawane doczołowo w pozycji dolnej z blach stalowych o gatunku St3S,
- 6) przeprowadzić kontrole wizualną wykonanego połączenia spawanego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja bhp podczas obsługi urządzeń do spawania w osłonie gazów ochronnych,
- stanowisko do spawania w osłonie gazów aktywnych metodą MAG,
- literatura wymieniona w punkcie 6 Poradnika dla ucznia,
- odzież ochronna do wykonania ćwiczenia.

Ćwiczenie 2

Wykonanie połączenia teowego spawanego z blach aluminiowych w osłonie gazów obojętnych metodą 141.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) zapoznać się z instrukcją do spawania w osłonie gazów obojętnych metodą 141,
- 2) przygotować stanowisko zgodnie z przepisami bhp,
- 3) zapoznać się z instrukcją WPS do wykonania połączenia teowego z blach aluminiowych,
- 4) założyć odzież ochronną zgodnie z przepisami bhp,
- 5) ustawić parametry spawania dla poprawnego wykonania połączenia spawanego,

- 6) wykonać połączenie spawane teowe z aluminium w pozycji ubocznej.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcja bhp podczas obsługi urządzeń do spawania metodą 141,
- stanowisko do spawania w osłonie gazów obojętnych metodą 141,
- literatura wymieniona w punkcie 6 Poradnika dla ucznia,
- środki ochrony osobistej do realizacji ćwiczenia.

4.7.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:		
1) wyjaśnić na czym polegają odkształcenia i naprężenia spawalnicze?	☐	☐
2) scharakteryzować sposoby unikania odkształceń i naprężeń spawalniczych?	☐	☐
3) przygotować stanowisko do spawania w osłonie gazów aktywnych metodą 135?	☐	☐
4) dobrać parametry do spawania w osłonie gazów aktywnych metodą 135?	☐	☐
5) wykonać połączenie spawane w osłonie gazów aktywnych metodą 135?	☐	☐
6) przygotować stanowisko do spawania w osłonie gazów obojętnych metodą 141?	☐	☐
7) dobrać parametry i wykonać połączenie spawane?	☐	☐

4.8. Zgrzewanie elektryczne oporowe

4.8.1. Materiał nauczania

Charakterystyka i sposoby zgrzewania

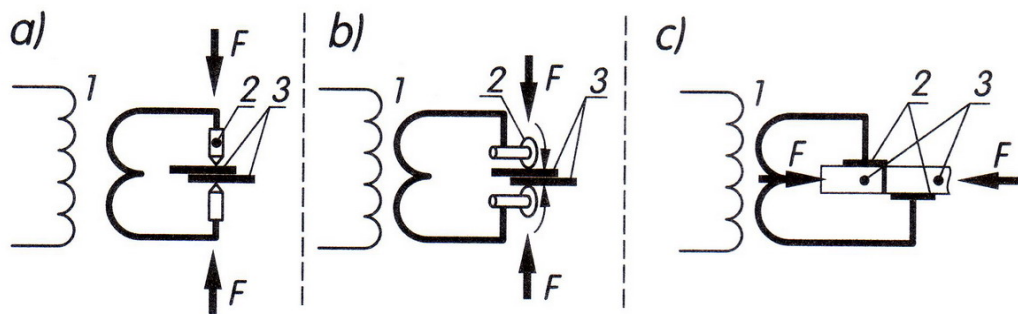
Zgrzewanie metali polega na powstawaniu na powierzchniach styku łączonych części wspólnych ziarn, będących wynikiem dyfuzji i reskrystalizacji sąsiadujących ziarn metalu. Skuteczność procesu zgrzewania zależy głównie od siły docisku, temperatury i czasu trwania procesu. Najczęściej części łączone są nagrzewane prawie do temperatury topnienia (do tzw. stanu ciastowości), a następnie dociskane z odpowiednią siłą.

W zależności od sposobu nagrzewania części łączonych rozróżnia się zgrzewanie:

- gazowe (np. palnikiem acetylenowo-tlenowym),
- elektryczne: iskrowe lub oporowe (zwarciowe),
- termitowe (spalanie mieszaniny tlenków metali i sproszkowanego aluminium), umożliwiające bardzo szybkie nagrzanie części,
- tarciove (ciepło wytwarza się przez tarcie powierzchni styku przy zastosowaniu odpowiedniego docisku).

Połączenie zgrzewane uzyskuje się również przez wywarcie dużego nacisku na zimno lub innymi metodami, stosując zgrzewanie zgmiotowe, wybuchowe lub ultradźwiękowe.

Do łączenia elementów maszyn najczęściej stosuje się zgrzewanie elektryczne. Podczas zgrzewania oporowego (rys. 36) przedmioty łączone są dociskane przez cały czas trwania procesu elektrodami – rys. 36a, b (zgrzewanie punktowe i liniowe) lub bezpośrednio – rys. 36c (zgrzewanie czołowe); w tym przypadku elektrody są wykonane, np. w postaci obejm zaciskanych na zgrzewanych elementach. Docisk części utrzymuje się jeszcze przez krótki czas po wyłączeniu prądu.



Rys. 36. Zgrzewanie oporowe: a) punktowe, b) liniowe, c) czołowe

1 – transformator, 2 – elektrody, 3 – części łączone

Źródło: Bartosiewicz J.: Obróbka i montaż części maszyn. WSiP, Warszawa 1995

Podczas zgrzewania iskrowego (czołowego) po włączeniu prądu przedmioty są zbliżane do siebie. W tworzonej szczelinie powstaje łuk elektryczny, w którym topią się powierzchnie styku. Po nagrzaniu całej powierzchni łączonych części przerywa się dopływ prądu i dopiero wówczas wywiera się silny docisk części aż do ich zgrzania. Zgrzewanie iskrowe stosuje się do łączenia części o nierównych (lub niedokładnie oczyszczonych) powierzchniach styku.

Zgrzewanie elektryczne wykonuje się na specjalnych maszynach (zgrzewarkach), dostosowanych do rodzaju zgrzewania i materiału łączonych części. Do zgrzewania metali o małej oporności (Al, Cu i ich stopy) niezbędne są nowoczesne zgrzewarki automatyczne, w których zarówno czas przepływu prądu i trwania nacisku, jak i wartości natężenia prądu i siły nacisku są sterowane bardzo precyzyjnie przez układy elektroniczne.

Materiały zgrzewane

Najłatwiej zgrzewa się metale o jednakowym lub zbliżonym składzie chemicznym, np. stale niestopowe oraz stale niestopowe ze stalami stopowymi lub narzędziowymi itp. Zgrzewanie w stanie plastycznym stopów o różnych składach chemicznych jest możliwe tylko wtedy, gdy tworzą one ze sobą roztwory stałe lub wchodzi w związki chemiczne. Przy odpowiednim prowadzeniu procesu zgrzewania możliwe jest więc zgrzewanie różnych metali, tworzyw termoplastycznych (np. polietylenu), a nawet metali i materiałów niemetalowych, np. stopów aluminium ze szkłem (za pomocą ultradźwięków).

Rodzaje i zastosowanie połączeń zgrzewanych

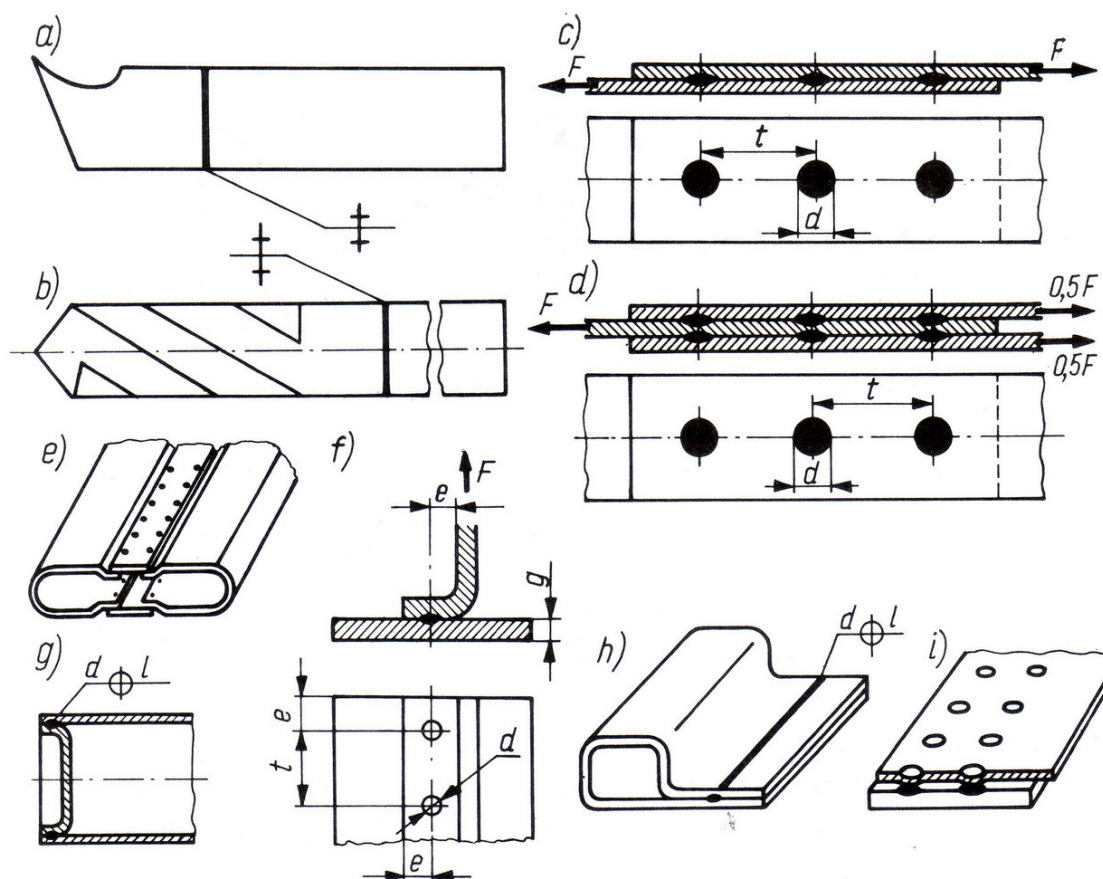
Do podstawowych rodzajów zgrzewania zalicza się zgrzewanie czołowe, punktowe, liniowe i garbowe.

Zgrzewanie czołowe stosuje się do łączenia prętów, odkuwek i innych elementów, w których zgrzeina obejmuje całe pole powierzchni styku. Tą metodą można wykonywać, np. narzędzia skrawające: noże tokarskie (rys. 37a) lub wiertła do głębokich otworów (rys. 37b), łącząc część skrawającą narzędzia ze stali narzędziowej z trzonkiem ze stali węglowej.

Zgrzewanie punktowe jest najczęściej stosowane do łączenia cienkich blach (rys. 37c, d, e), blach z różnymi kształtownikami (rys. 37f) itp. Wprowadzenie nowoczesnych zgrzewarek automatycznych o wydajności do 200 zgrzein na minutę powoduje, że zgrzewanie punktowe jest stosowane głównie w produkcji wielkoseryjnej, m.in. w przemyśle samochodowym, kolejowym itp.

Elektrody stosowane w zgrzewaniu liniowym mają kształt krążków; obracają się one ruchem jednostajnym, co powoduje mechaniczny przesuw łączonych blach. Zgrzewanie liniowe umożliwia wykonywanie połączeń szczelnych z cienkich blach: rur ze szwem, pojemników (rys. 37g), a także połączeń kształtowych (rys. 37h), stosowanych w różnych dziedzinach przemysłu.

Zgrzewanie garbowe jest odmianą zgrzewania punktowego. Garby mają najczęściej kształt czaszy kulistej i służą m.in. do usztywnienia części wykonanych z cienkich blach. W zgrzewaniu garbowym elektrody płaskie (płytkowe) dociskają łączone części, powodując miejscowe nagrzanie blach (garbów) i uzyskanie zgrzein punktowych (rys. 37i). Garby powinny być na tyle sztywne, aby uległy tylko częściowemu zgnieceniu.



Rys. 37. Przykłady zastosowań zgrzein

Źródło: Bartosiewicz J.: Obróbka i montaż części maszyn. WSiP, Warszawa 1995

Wymiary zgrzein⁸

Wymiary zgrzein punktowych przyjmuje się wg normy PN-74/M-69021, z której wyjątki są podane w tabeli 2. Rozstaw zgrzein punktowych jest uzależniony od odkształcalności cieplnej części łączonych, dostępu elektrod do punktu zgrzewanego, upływu prądu przez zgrzeiny wcześniej wykonane itp.

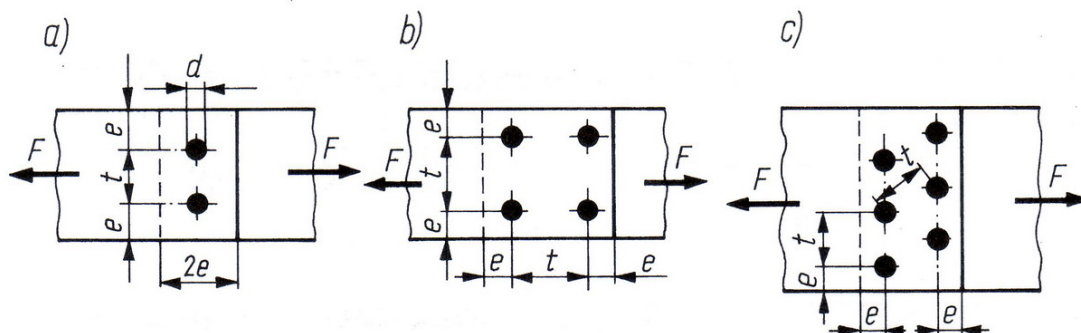
Tab. 2. Wymiary zgrzein (wg PN-74/M-69021)

Grubość blach zgrzewanych	mm	0,5	1	1,5	2	2,5	3
Średnica zgrzeiny równa średnicy roboczej elektrody		4	5	6	7	8	9
Przy różnej grubości blach średnicę elektrody dobiera się: - gdy stosunek $g_2/g_1 \leq 1,5$ – wg blachy cieńszej (o grubości g_1), - gdy $1,5 < g_2/g_1 \leq 3$ – różne średnice elektrod z obu stron, wg tabelki							

Zaleca się przyjmować (rys. 38):

- $t \geq 3d$ oraz $t \geq 60$ mm – przy łączeniu 2 ścianek,
- $t \geq 4d$ oraz $t \geq 80$ mm – przy łączeniu 3 ścianek,
- odległość środka zgrzein od krawędzi ścianek $e \geq 2d$.

⁸ Bartosiewicz J.: Obróbka i montaż części maszyn. WSiP, Warszawa 1995



Rys. 38. Rozmieszczenie zgrzein punktowych w złączach rozciąganych [wg PN]
 Źródło: Rutkowski A.: Części Maszyn. WSiP, Warszawa 1996

Oznaczanie, zasady wymiarowania i uproszczenia rysunkowe połączeń zgrzewanych są podane w normach PN-EN 22553:1997 i PN-EN ISO 4063:2002.

4.8.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie materiały możemy łączyć w procesie zgrzewania elektrycznego oporowego?
2. Na czym polega zgrzewanie oporowe punktowe?
3. Na czym polega zgrzewanie oporowe liniowe?
4. Jakie czynności należy wykonać przed dokonaniem zgrzewania oporowego?
5. Wymień elementy składowe procesu zgrzewania oporowego punktowego.

4.8.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Wykonanie połączenia zgrzewanego oporowo punktowego blach stalowych o grubości 1 mm.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) przygotować dwa elementy do wykonania ćwiczenia (blachy stalowe St3S grubości 1 mm i wymiarach 200x200),
- 2) ustalić parametry zgrzewarki oporowej punktowej,
- 3) założyć odzież ochronną do wykonania ćwiczenia szczególnie (okulary, fartuch, rękawice),
- 4) wykonać proces zgrzewania dwóch elementów,
- 5) dokonać badań wizualnych wykonanego połączenia szczególnie rozstawu zgrzein.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko do zgrzewania oporowego punktowego,
- instrukcja obsługi zgrzewarki punktowej,
- instrukcja bhp do spawania, zgrzewania oporowego i punktowego,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

4.8.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz :		
1) wyjaśnić charakterystykę i sposoby zgrzewania oporowego?	☐	☐
2) podać zastosowanie zgrzewania oporowego?	☐	☐
3) przygotować elementy do zgrzewania oporowego liniowego?	☐	☐
4) przygotować elementy do zgrzewania oporowego punktowego?	☐	☐
5) wykonać połączenie zgrzewane stosując odpowiednie rozmieszczenie zgrzein?	☐	☐
6) dokonać oceny wizualnej wykonanego połączenia zgrzewanego punktowo?	☐	☐

4.9. Kontrola złączy spawanych

4.9.1. Materiał nauczania

Wiadomości ogólne

Jakość wykonania złączy spawanych decyduje o trwałości i niezawodności eksploatacyjnej wyrobów. Z tego powodu jakość należy kontrolować we wszystkich fazach procesu spawania. W poszczególnych fazach procesu wytwarzania złączy występują różne czynniki, które w różny sposób wpływają na ich jakość. W procesach produkcyjnych należy zapewnić kontrolę przed, w czasie i po zakończeniu spawania. W wielu wypadkach uzasadnione jest kontrolowanie jakości złączy spawanych również w fazie eksploatacji wyrobów.

Niezwykle dynamicznie rozpowszechniają się systemy zarządzania jakością, przedstawione w normach europejskich serii PN-EN ISO 9000 i PN-EN 729.

Wynika to z ukierunkowania się wytwórcy na ciągłe doskonalenie swoich wyrobów i potrzebę zaspokojenia wymagań i oczekiwań klienta. O zaakceptowaniu wyrobu ostatecznie decyduje klient. Systemy zarządzania jakością stwarzają warunki ciągłego doskonalenia procesów produkcyjnych. Celem wytwórców jest zdobycie zaufania i zadowolenie klienta. Wytwórca stosujący system zarządzania jakością wzbudza zaufanie do prowadzonych procesów i jakości swoich wyrobów. Ostatecznym rezultatem funkcjonowania systemu jest sukces wytwórcy.

Z opracowaniem i wdrożeniem systemu zarządzania jakością wiąże się szereg zadań⁹, m. in.:

- określenie wymagań i oczekiwań odbiorcy wyrobów i usług,
- ustanowienie przez wytwórcę polityki jakości i ustalenie celów dotyczących jakości,
- określenie procesów i związanej z nimi odpowiedzialności,
- zapewnienie wystarczającej liczby odpowiednich pracowników do wykonywania produkcji spawalniczej, sprawowania nadzoru i kontroli, badań oraz prób tej produkcji, zgodnie z ustalonymi wymaganiami,
- zapewnienie wymaganych urządzeń do produkcji spawalniczej i zapewnienie ciągłej kontroli ich sprawności,
- zaopatrzenie się w niezbędne materiały, właściwe obchodzenie się z tymi materiałami, przechowywanie ich oraz stosowanie,
- ustanowienie metod i dokonywanie pomiarów skuteczności i efektywności każdego realizowanego procesu,
- określenie środków w celu zapobiegania niezgodności i podejmowanie działań eliminujących niezgodności oraz ich przyczyny,
- dokumentowanie kluczowych wymagań i ustaleń, dotyczących jakości produkcji spawalniczej,
- ustanowienie i stosowanie procesu ciągłego doskonalenia systemu zarządzania jakością produkcji spawalniczej.

Zadania kontroli jakości we wszystkich fazach prac spawalniczych¹⁰

Celem kontroli złączy spawanych jest zapewnienie dobrej jakości wyrobów i konstrukcji spawanych przez stwierdzenie zgodności ich wykonania z dokumentacją konstrukcyjną i technologiczną oraz warunkami technicznymi odbioru.

⁹ Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

¹⁰ Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

Kontrola wstępna (przygotowania) prac spawalniczych obejmuje:

- sprawdzenie zgodności materiału podstawowego i materiałów pomocniczych z kartą technologiczną lub instrukcją technologiczną spawania,
- sprawdzenie przygotowania elementów do spawania: oczyszczenia, wymiarów, kształtu ukosowania elementów oraz prawidłowości ich szepienia.

Kontrola w czasie spawania obejmuje:

- sprawdzenie zgodności parametrów spawania z kartami technologicznymi lub instrukcjami technologicznymi spawania,
- sprawdzenie przestrzegania kolejności układania spoin, sprawdzenie czyszczenia spoin.

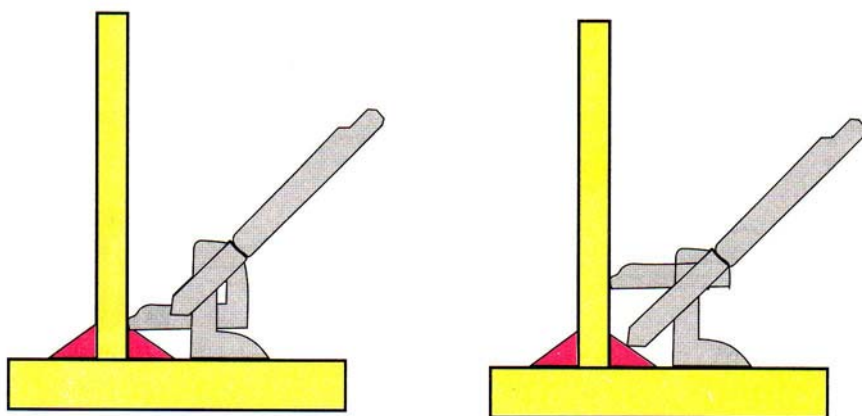
Kontrola końcowa stwierdza zgodność wykonanych złączy spawanych:

- z dokumentacją techniczną
- stosowanymi normami,
- warunkami odbiorcy.

Metody badań złączy spawanych

Badania nieniszczące złączy spawanych obejmują:

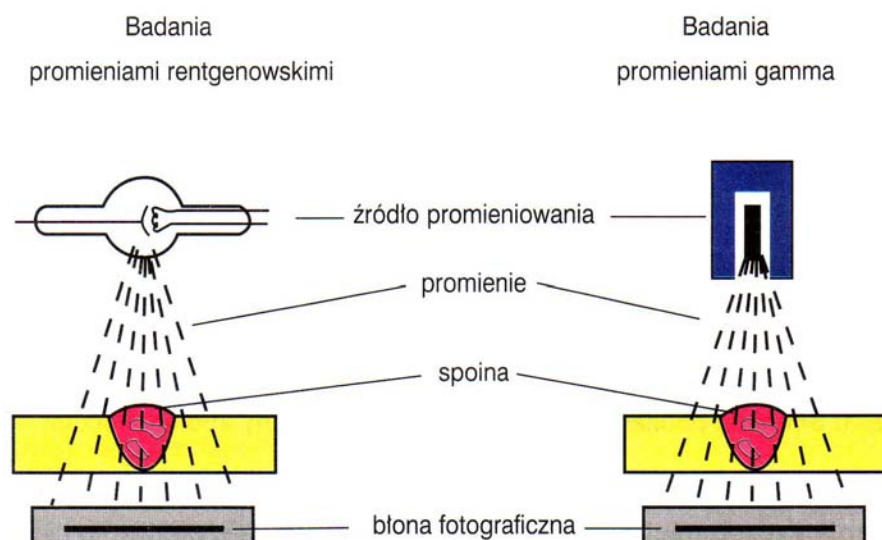
- badania wizualne,



Rys. 39. Schemat pomiaru wysokości i grubości spoiny spoinomierzem

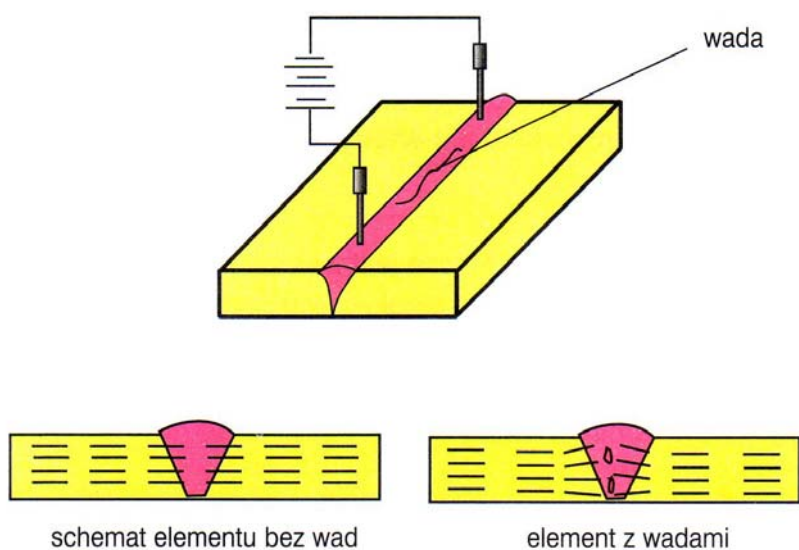
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

- badania szczelności,
- badania penetracyjne,
- badania radiograficzne,



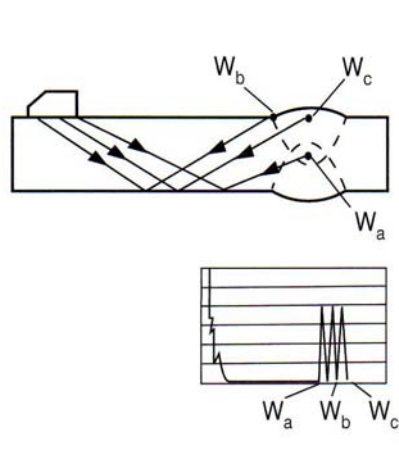
Rys. 40. Schematyczne przedstawienie badań radiograficznych
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

– badania magnetyczne,



Rys. 41. Schemat badania spoiny proszkiem ferromagnetycznym
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

- badania ultradźwiękowe.

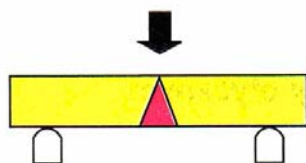


Rys. 42. Schemat badań spoiny falami ultradźwiękowymi
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

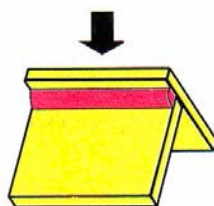
Badania niszczące złączy spawanych obejmują:

- próbę łamania,

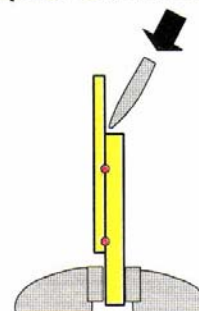
złącza doczołowego



złącza teowego



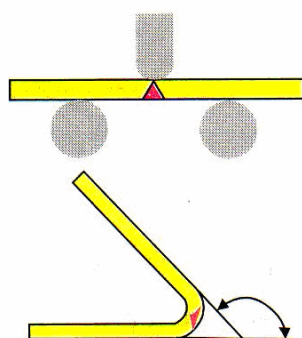
złącza zakładkowego



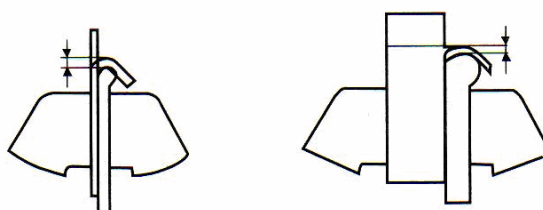
Rys. 43. Schematy prób łamania
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

- próbę zginania,

próbka paskowa



próbki języczkowe



Rys. 44. Schematy prób zginania
Źródło: Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

- próbę udarności,
- próbę rozciągania,
- badania metalograficzne, makro- i mikroskopowe,
- pomiary twardości.

Niezgodności spawalnicze

Spawanie jest zaliczane do procesów szczególnie odpowiedzialnych. Wszelkie odstępstwa od ustalonej technologii stają się często przyczyną awarii i strat materialnych, mogą również stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia ludzkiego. Wykonanie złącza spawanego powinno zapewniać trwałość i niezawodność eksploatacyjną oraz bezpieczeństwo użytkowania konstrukcji spawanych. W celu zapewnienia wymaganej jakości wykonywanych złączy spawanych wprowadza się systemy zarządzania jakością według norm europejskich. Integralną częścią takiego systemu jest organizacja kontroli jakości prac spawalniczych. Do zadań kontroli jakości należy m.in. określenie wszelkich odstępstw od prawidłowo przebiegającego procesu spawalniczego i zweryfikowanie negatywnych następstw (skutków) tego zjawiska. Oczywistym skutkiem odstępstw od warunków technicznych wykonania złącza są niezgodności spawalnicze.

Przez niezgodność należy rozumieć niespełnienie wyspecyfikowanych wymagań obligatoryjnych lub stawianych zwyczajowo oraz wymagań, które zostały dodatkowo ustalone.

Według PN-EN ISO 5817 niezgodnością spawalniczą jest każde odchylenie od idealnego złącza spawanego.¹¹

Każda przedstawiona potrzeba, czy oczekiwanie mogą być traktowane jako wymagania. Niespełnienie danego wyspecyfikowanego ustalenia, brak jednej lub kilku właściwości związanych z jakością (w tym i niezawodnością) produktu, odstępstwo od wszelkich zgłaszanych wymagań są niezgodnościami spawalniczymi. Od pojęcia „niezgodność” należy odróżnić pojęcie „wada”.

Wada to też niespełnienie wymagań i oczekiwań, ale – należy dodać -związanych z zamierzonym użytkowaniem lub uzasadnionymi oczekiwaniami, łącznie z oczekiwaniami w zakresie bezpieczeństwa.

Wadę stanowi niedopuszczalna niezgodność spawalnicza.¹²

Ponieważ oczekiwania są zależne od zamierzonego, często wyspecjalizowanego użytkowania, i powinny być uzasadnione istniejącymi okolicznościami. Posługiwaniu się jednym lub drugim pojęciem nie jest bez znaczenia z uwagi na konotacje prawne. Termin „wada” wiąże się z odpowiedzialnością za wyrób i dlatego powinien być stosowany z wielką ostrożnością.

Systematyka niezgodności spawalniczych¹³

Niezgodności spawalnicze mogą być klasyfikowane według różnych kryteriów. Według kryterium wielkości rozróżnia się niezgodności spawalnicze:

- **makroskopowe**, które można zobaczyć nieuzbrojonym okiem lub przy powiększeniu do 30 razy; wady te są wykrywane powszechnie stosowanymi w praktyce przemysłowej metodami badań nieniszczących i niszczących (obserwacja zglądów makroskopowych);
- **mikroskopowe**, wykrywane metodami nieniszczącymi, z zastosowaniem specjalnych technik, lub metodami niszczącymi; wykrywa się je metodami niszczącymi za pomocą badań metalograficznych, przy powiększeniach większych od 30 razy (najczęściej za pomocą metalograficznego mikroskopu optycznego).

¹¹ Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

¹² Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

¹³ Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005

Do niezgodności makroskopowych zaliczamy m.in.: żuźle, pęcherze, podtopienia i braki przetopu. Do niezgodności mikroskopowych zaliczamy m.in. mikropęknięcia i mikrowtrącenia - siarki, fosforu i krzemu. Do specjalnych technik badań nieniszczących należą mikrorentgenografia i jądrowy rezonans magnetyczny.

Według kryterium kształtu złącza niezgodności spawalnicze dzieli się na:

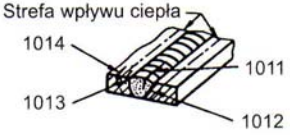
- przestrzenne (trójwymiarowe), które zmniejszają czynny przekrój złącza,
- płaskie, tworzące ostry karb, który w wielu przypadkach inicjuje pęknięcia konstrukcji spawanej.

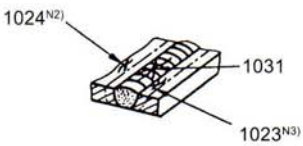
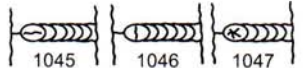
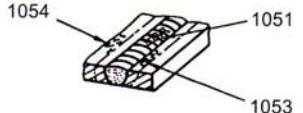
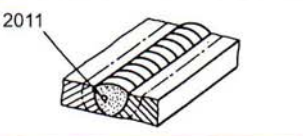
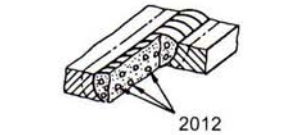
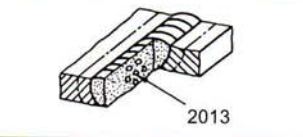
Niezgodności spawalnicze według kryterium ich usytuowania na złączu spawanym dzielimy na:

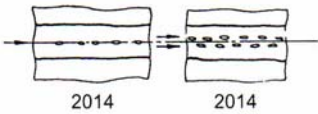
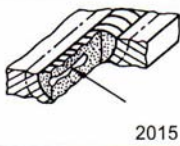
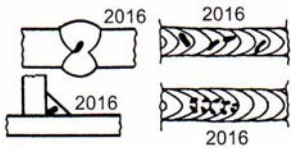
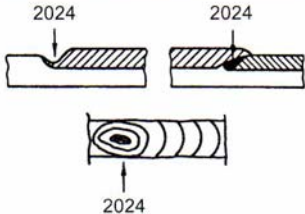
- zewnętrzne (powierzchniowe), które występują na powierzchni złącza spawanego,
- wewnętrzne, które powstają wewnątrz złącza w czasie spawania lub po spawaniu i nie są bezpośrednio dostępne,
- kształtu.

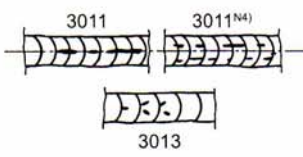
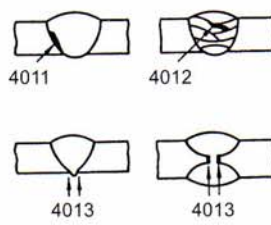
W normie PN-EN ISO 6520-1 niezgodności spawalnicze, występujące w złączach spawanych metali, podzielono na sześć grup:

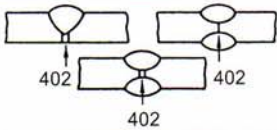
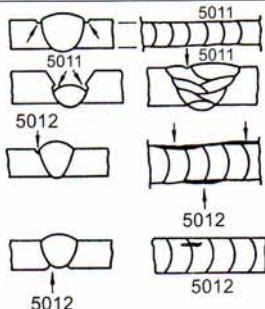
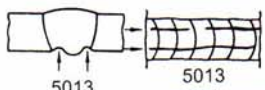
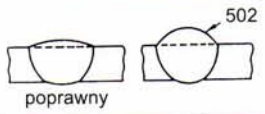
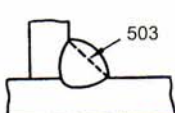
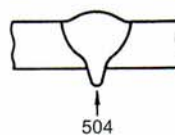
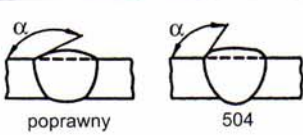
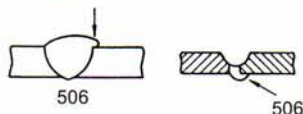
- pęknięcia,
- pustki,
- wtrącenia stałe,
- przyklejenia i brak przetopu,
- wady dotyczące kształtu,
- inne wady spawalnicze.

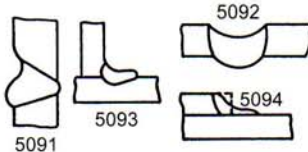
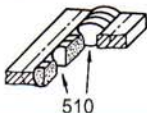
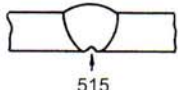
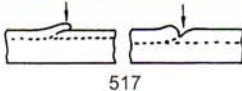
Oznaczenie MIS przy opisie radiogramów		Określenie	Opis	Szkic
1	2	3	4	5
Grupa Nr 1 Pęknięcia				
100	E	Pęknięcie	Nieciągłość spowodowana miejscowym rozerwaniem, które spowodowane jest chłodzeniem lub naprężeniami.	
1001		Mikropęknięcie	Jeśli pęknięcie ma wymiar mikroskopowy.	
101 1011 1012 1013 1014	Ea	Pęknięcie podłużne	Pęknięcie usytuowane zasadniczo równoległe do osi spoiny. Może ono występować: – w spoinie, – w strefie wtopienia, – w strefie wpływu ciepła, – w materiale podstawowym.	
102 1021 1023 1024	Eb	Pęknięcie poprzeczne	Pęknięcie usytuowane zasadniczo prostopadłe do podłużnej osi spoiny. Może ono występować: – w spoinie, – w strefie wpływu ciepła, – w materiale podstawowym.	

1	2	3	4	5
103 1031 1033 1034	E	Pęknięcia promieniowe	Pęknięcia rozchodzące się promieniście od jednego punktu, które mogą być umiejscowione: – w spoinie, – w strefie wpływu ciepła, – w materiale podstawowym. UWAGA: W terminologii angielskiej tego rodzaju małe pęknięcia określa się jako pęknięcia gwiazdzone.	
104 1045 1046 1047	Ec	Pęknięcie w kraterze	Pęknięcie w kraterze spoiny może być: – podłużne, – poprzeczne, – promieniowe.	
105 1051 1053 1054	E	Grupa pęknięć występujących oddzielnie	Grupa pęknięć występujących oddzielnie, które mogą być usytuowane: – w spoinie, – w strefie wpływu ciepła, – w materiale podstawowym.	
106 1061 1063 1064	E	Pęknięcia rozgałęzione	Grupa łączących się wzajemnie pęknięć wychodzących ze wspólnego pęknięcia, różniących się od pęknięć rozproszonych (105) i pęknięć promieniowych (103). Mogą występować: – w spoinie, – w strefie wpływu ciepła, – w materiale podstawowym.	
Grupa Nr 2 Pustki				
200 201	A	Pustka gazowa	Przestrzeń uformowana przez uwięziony w niej gaz.	
2011	Aa	Pęcherz gazowy	Pęcherz gazowy o kształcie w przybliżeniu kulistym.	
2012		Pęcherze równomiernie rozproszone	Liczne pęcherze gazowe w przybliżeniu równomiernie rozproszone w spoinie. Nie należy ich mylić z łańcuchem pęcherzy (2014).	
2013		Gniazdo pęcherzy	Grupa pęcherzy gazowych.	

1	2	3	4	5
2014		Łańcuch pęcherzy	Szereg pęcherzy gazowych usytuowanych równolegle do osi spoiny.	
2015	Ab	Pęcherz podłużny	Duży pęcherz o kształcie innym niż kulisty, którego największy wymiar jest w przybliżeniu równoległy do osi spoiny.	
2016	Ab	Pęcherz kanalikowy	Rurkowy pęcherz w metalu spoiny spowodowany obecnością gazu. Kształt i położenie pęcherzy kanalikowych zależą od procesu krzepnięcia oraz źródła gazu. Pęcherze kanalikowe występują zazwyczaj w układzie „jodełki”.	
2017		Por	Pęcherz gazowy wychodzący na powierzchnię.	
202	K	Jama skurczowa	Pustka spowodowana skurczem w czasie krzepnięcia.	
2021		Międzydendrytyczna jama skurczowa	Wydłużona pustka skurczowa utworzona, w czasie schładzania, pomiędzy dendrytami i mogąca zawierać gaz. Tego rodzaju niezgodność spawalnicza jest zazwyczaj usytuowana prostopadle do lica spoiny.	
2022		Mikronieciągłość wskutek skurczu	Mikronieciągłości powstałe wskutek skurczu widoczne tylko pod mikroskopem.	
2023		Międzydendrytyczne mikronieciągłości powstałe wskutek skurczu	Międzydendrytyczne nieciągłości widoczne tylko pod mikroskopem.	
2024	K	Wgłębienie w kraterze	Wgłębienie na końcu ściegu nie usunięte przed lub podczas wykonywania kolejnych ściegów.	

1	2	3	4	5
Grupa Nr 3 Wtrącenia stałe				
300		Wtrącenie stałe	Obce ciała stałe pozostałe w spoinie.	
301 3011 3012 3013	Ba	Wtrącenie żużla	Żużle pozostałe w spoinie. W zależności od warunków ich powstawania mogą występować jako: – liniowe, – odosobnione, – inne.	
302 3021 3022 3023	G	Wtrącenie topnika	Topnik pozostały w spoinie. W zależności od kształtu wtrącenia topnika mogą występować jako: – liniowe – odosobnione, – inne.	Patrz 3011-3013
303	J	Wtrącenie tlenków	Wtrącenia tlenków metali zatrzymane w spoinie podczas krzepnięcia.	
3031		Warstwa tlenku	Warstwy tlenków metali mogące powstać w niektórych przypadkach, a w szczególności przy spawaniu stopów aluminium przy niewystarczającym zabezpieczeniu przed działaniem atmosfery. Warstwy te są zatrzymywane w spoinie na skutek zawirowań jeziorka spawalniczego.	
304 3041 3042 3043	H	Wtrącenie obcego metalu	Cząstka obcego metalu pozostała w spoinie. Może to być: – wolfram, – miedź, – inny metal.	
Grupa Nr 4 Przyklejenia i brak przetopu				
400 401 4011 4012 4013		Przyklejenie (brak wtopienia)	Brak połączenia pomiędzy spoiną i materiałem podstawowym, lub pomiędzy ściegami spoiny. Rozróżnia się: – przyklejenie brzegowe, – przyklejenie międzyściegowe ¹⁾ , – przyklejenie graniowe. ¹⁾ W niektórych krajach stosuje się określenia: „przyklejenie czarne” i „przyklejenie białe” w zależności od występowania lub braku wtrąceń tlenków z przyklejeniem.	

1	2	3	4	5
402	D	Brak przetopu (niepełny przetop)	Brak stopienia brzegów materiału podstawowego na skutek braku metalu spoiny w grani.	
Grupa Nr 5 Nie zgodność spawalnicza dotycząca kształtu				
500		Niewłaściwy kształt	Niewłaściwy kształt zewnętrzny powierzchni spoiny lub niewłaściwa geometria złącza.	
5011 5012	F F	Podtopienie Podtopienie	Rowek przy brzegu (brzegach) lica spoiny, względnie w grani spoiny spowodowany przebiegiem spawania. Podtopienie może być ciągłe (określenie 5011) lub przerywane (określenie 5012), ale w terminologii angielskiej nie stosuje się normalnie tego rodzaju rozgraniczenia.	
5013		Obustronne wklęsnięcie grani	Obustronne wgłębienie grani spowodowane skurczem spoiny (patrz również 515).	
502		Nadmierny nadlew lica	Nadmierna wysokość spoiny od strony lica (lic) w złączu doczołowym.	
503		Nadmierna wypukłość	Nadmiar wypukłości spoiny pachwinowej.	
504		Wyciek	Nadmiar metalu spoiny wystający z grani spoiny jednostronnej lub z dowolnej strony złącza dwustronnego poprzez uprzednio ułożone warstwy.	
5041		Wyciek miejscowy	Miejscowy nadmiar metalu spoiny od strony grani.	
505		Niewłaściwy kształt spoiny	Zbyt mały kąt (α) między płaszczyzną powierzchni materiału podstawowego a płaszczyzną styczną do lica spoiny w miejscu przejścia.	
506		Nawis	Nadmierna ilość stopionego metalu nie wtopiona do powierzchni materiału podstawowego.	

1	2	3	4	5
507		Przesunięcie brzegów	Przesunięcie pomiędzy spawanymi elementami, których powierzchnie pozostają wzajemnie równoległe, ale nie znajdują się na wymaganej płaszczyźnie.	
508		Odkształcenie kątowe	Przesunięcie pomiędzy spawanymi elementami powodujące brak równoległości ich powierzchni (lub niedotrzymanie wymaganego kąta między tymi powierzchniami).	
509 5091 5092 5093 5094		Wklęsnięcie	Obniżenie się metalu spoiny na skutek ciężaru. W zależności od okoliczności może to być obniżenie występujące przy spawaniu: – w pozycji naściennej lub pionowej, – w pozycji podolnej lub pułapowej, – w spoinie pachwinowej, – na krawędzi, wraz z jej przetopieniem.	
510		Przepalenie	Obniżenie się jeziorka spawalniczego powodujące powstanie otworu w spoinie lub obok niej.	
511		Niezupełne wypełnienie rowka spawalniczego	Podłużne wgłębienie lica spoiny, ciągłe lub miejscowe spowodowane niewystarczającą ilością metalu spoiny.	
512		Nadmierna asymetria spoiny pachwinowej	Nie wymaga objaśnień.	
513		Nieregularna szerokość	Nadmierne zmiany szerokości.	
514		Nierówność lica	Nadmierna chropowatość powierzchni.	
515		Wklęsnięcie grani	Wgłębienie spowodowane skurczem spoiny czołowej w grani (Patrz również 5013).	
516		Pory od strony grani	Gąbczasty metal w grani spoiny spowodowany wrzieniem metalu spoiny w momencie krzepnięcia.	
517		Niewłaściwe ponowne rozpoczęcie spawania	Miejscowa nieregularność powierzchni w miejscu ponownego rozpoczęcia spawania.	

Źródło: Polska Norma PN-EN 26520

W celu wykonania zadawałających złączy spawanych, z zachowaniem norm wyrobu, ustaleń między projektantem a wytwórcą, użytkownikiem lub inną zainteresowaną stroną, powinien być określony poziom jakości według niezgodności spawalniczych.

Zgodnie z normą PN-EN ISO 5817 złącza spawane w konstrukcjach stalowych są oceniane i klasyfikowane według niezgodności spawalniczych na trzech poziomach jakości:

- poziomie B, reprezentującym wymagania ostre,
- poziomie C, reprezentującym wymagania średnie,
- poziomie D, reprezentującym wymagania łagodne.

Rodzaj i wielkość znalezionych niezgodności wyznacza rzeczywisty poziom jakości ocenianego złącza spawanego.

Oznaczenia B, C i D odnoszą się do większości stosowanych w praktyce złączy, określając w sposób jednoznaczny poziomy ich jakości. Z trzech zbiorów wartości wymiarowych dobiera się zbiór reprezentujący niezbędny poziom jakości. Niezbędny (wymagany) poziom jakości należy określić przed rozpoczęciem produkcji. Niezwykle istotne jest określenie poziomu jakości w ofertach i zamówieniach. Niezależnie od poziomu jakości w poszczególnych przypadkach może zachodzić potrzeba podawania dodatkowych danych.

4.9.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Co nazywamy niezgodnościami spawalniczymi?
2. Jakże rozróżniamy niezgodności spawalnicze?
3. Wymień poziomy jakości wykonania złącza spawanego.
4. Jak dzielimy metody kontroli złączy spawanych?
5. Wymień badanie nieniszczące złączy spawanych.
6. Wymień badania niszczące złączy spawanych.

4.9.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Dokonać badań wizualnych złącza spawanego wykonanego podczas spawania łukowego elektrodą otuloną i dokonać ustalenia poziomu jakości wykonanego złącza.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinieneś:

- 1) dokonać oględzin wizualnych połączenia spawanego,
- 2) określić występowanie niezgodności,
- 3) dokonać pomiarów niezgodności,
- 4) sklasyfikować połączenie do odpowiedniego poziomu jakości złącza spawanego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- normy dotyczące kontroli złączy spawanych PN-EN26520, PN-EN25817,
- złącze spawane do przeprowadzenia badań,
- spoinomierze do wykonania pomiarów,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

Ćwiczenie 2

Wykonać próbę łamania złącza teowego wykonane ze stali w osłonie gazów aktywnych metodą 135.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie powinien:

- 1) zapoznać się z instrukcją dotyczącą próby łamania złącza spawanego,
- 2) przygotować złącze do wykonania próby łamania,
- 3) przeprowadzić próbę łamania złącza spawanego,
- 4) dokonać oceny wykonanego złącza i sklasyfikować poziom jakości wykonanego złącza spawanego.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- stanowisko do próby łamania,
- normy w zakresie oceny złącza spawanego PN-EN26520, PN-EN25817,
- plansze dotyczące spawania metodą 135,
- literatura zgodna z punktem 6 Poradnika dla ucznia.

4.9.4. Sprawdzian postępów

	Tak	Nie
Czy potrafisz:		
1) określić przyczyny powstawania niezgodności spawalniczych?	☐	☐
2) wskazać grupy niezgodności spawalniczych zgodnie z PN-EN26520?	☐	☐
3) scharakteryzować poziom jakości złączy spawanych zgodnie z PN-EN25817?	☐	☐
4) przeprowadzić badania wizualne złącza spawanego?	☐	☐
5) dokonać klasyfikacji i ustalenia poziomu jakości złącza spawanego na podstawie normy PN-EN26520 i PN-EN25817 ?	☐	☐
6) wykonać próbę łamania złącza teowego?	☐	☐
7) dokonać sklasyfikowania poziomu jakości złącza teowego spawanego metodą 135 w pozycji spawania PF na podstawie normy PN-EN26520 i PN-EN25817?	☐	☐

5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

INSTRUKCJA DLA UCZNIA

1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem pytań testowych.
4. Test zawiera 12 pytań. Do każdego pytania dołączone są 4 możliwości odpowiedzi. Tylko jedna jest prawidłowa.
5. Udzielaj odpowiedzi tylko na załączonej karcie odpowiedzi, stawiając w odpowiedniej rubryce znak X. W przypadku pomyłki należy błędną odpowiedź zaznaczyć kółkiem, a następnie ponownie zakreślić odpowiedź prawidłową.
6. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz miał satysfakcję z wykonanego zadania.
7. Kiedy udzielenie odpowiedzi będzie Ci sprawiało trudność, wtedy odłóż jego rozwiązanie na później i wróć do niego, gdy zostanie Ci wolny czas.
8. Na rozwiązanie testu masz 30 min.

Powodzenia!

Zestaw pytań testowych

1. Proces klejenia polega na:
 - a. oczyszczeniu powierzchni metodami chemicznymi lub mechanicznymi, nałożeniu warstwy kleju i utwardzeniu skleiny w odpowiedniej temperaturze z zachowaniem właściwego nacisku
 - b. nałożeniu warstwy kleju i pozostawieniu bez zachowania właściwego nacisku
 - c. oczyszczeniu powierzchni metodami chemicznymi lub mechanicznymi, podgrzaniu elementów klejonych do temperatury 600°C, a następnie nałożeniu warstwy kleju i zachowaniu właściwego nacisku
 - d. oczyszczeniu powierzchni metodami chemicznymi lub mechanicznymi, nałożeniu warstwy kleju i utwardzeniu skleiny bez zachowania właściwego nacisku
2. Lutowanie miękkie wykonujemy w temperaturze:
 - a. do 200°C
 - b. poniżej 300°C
 - c. powyżej 300°C ale nieprzekraczającej 400°C
 - d. do 550°C
3. Lutowanie twarde wykonujemy w temperaturze:
 - a. do 400°C
 - b. poniżej 500°C
 - c. poniżej 300°C
 - d. powyżej 550°C z jednoczesnym nagrzaniem miejsc łączonych
4. Spawanie w osłonie gazów aktywnych metodą MAG polega na spawaniu elektrodą:
 - a. topliwą w osłonie gazów obojętnych
 - b. nietopliwą w osłonie tlenu
 - c. topliwą w osłonie gazów aktywnych
 - d. w osłonie gazów aktywnych

5. Spawanie w osłonie gazów obojętnych metodą TIG polega na spawaniu elektrodą:
 - a. topliwą w osłonie gazów obojętnych
 - b. nietopliwą w osłonie gazów obojętnych
 - c. topliwą w osłonie gazów aktywnych
 - d. nietopliwą w osłonie gazów aktywnych
6. Do jakiej grubości w procesie spawania jednostronnego nie ukosujemy elementów stalowych:
 - a. do 3 mm
 - b. powyżej 5 mm
 - c. poniżej 5 mm
 - d. do 6 mm
7. Spawanie gazowe metodą w prawo powoduje:
 - a. pęknięcie spoiny i zwiększenie ilości naprężeń spawalniczych
 - b. wygrzewanie spoiny i unikanie naprężeń spawalniczych
 - c. szybsze stygnięcie spoiny i mniejsze odkształcenia spawalnicze
 - d. wykonanie pełnego przetopu spoiny od strony grani
8. Elektroda o otulinie oznaczonej EB to:
 - a. elektroda otulona o otulinie utylowej
 - b. elektroda otulona o otulinie celulozowej
 - c. elektroda otulona o otulinie kwaskowej
 - d. elektroda otulona o otulinie zasadowej
9. Jakie gazy ochronne stosujemy do spawania w osłonie gazów aktywnych metodą MAG?
 - a. tlen
 - b. tlen, acetylen
 - c. dwutlenek węgla, mieszanka dwutlenku węgla i argonu
 - d. azot, metan
10. Do spawania w osłonie gazów obojętnych metodą TIG elementów wykonanych z aluminium stosujemy źródło prądu o charakterystyce:
 - a. stałej
 - b. zmiennej
 - c. nie ma znaczenia
 - d. stałej i zmiennej
11. Na czym polega zgrzewanie punktowe oporowe?
 - a. doprowadzeniu miejsc punktowo do stanu ciastowatego, a następnie dociśnięciu
 - b. doprowadzeniu miejsc punktowo do stanu ciastowatego, a następnie dodaniu spoiwa
 - c. doprowadzeniu miejsc punktowo do stanu ciastowatego, a następnie pozostawieniu w celu ostygnięcia
 - d. doprowadzeniu miejsc punktowo do stanu ciastowatego, a następnie włączenia w ruch obrotowy
12. Brak przetopu w spoinie dwustronnej jest niezgodnością spawalniczą zaliczaną do niezgodności spawalniczych:
 - a. zewnętrznych
 - b. wewnętrznych
 - c. zewnętrznych i wewnętrznych
 - d. tylko zewnętrznych

KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko.....

Wykonywanie połączeń spajanych

Zakreśl poprawną odpowiedź.

Nr zadania	Odpowiedź				Punkty
1	a	b	c	d	
2	a	b	c	d	
3	a	b	c	d	
4	a	b	c	d	
5	a	b	c	d	
6	a	b	c	d	
7	a	b	c	d	
8	a	b	c	d	
9	a	b	c	d	
10	a	b	c	d	
11	a	b	c	d	
12	a	b	c	d	
Razem:					

6. LITERATURA

1. Okoniewski S.: Technologia Maszyn. WSiP, Warszawa 1999
2. Rutkowski A.: Części Maszyn. WSiP, Warszawa 1996
3. Mizerski J.: Spawanie. REA, Warszawa 2005
4. Bartosiewicz J.: Obróbka i montaż części maszyn. WSiP, Warszawa 1995
5. Kozak B.: Części maszyn z elementami mechaniki technicznej. WSiP, Warszawa 2000
6. Hillar J., Jarmoszuk S.: Ślusarstwo i spawalnictwo. WSiP, Warszawa 1995