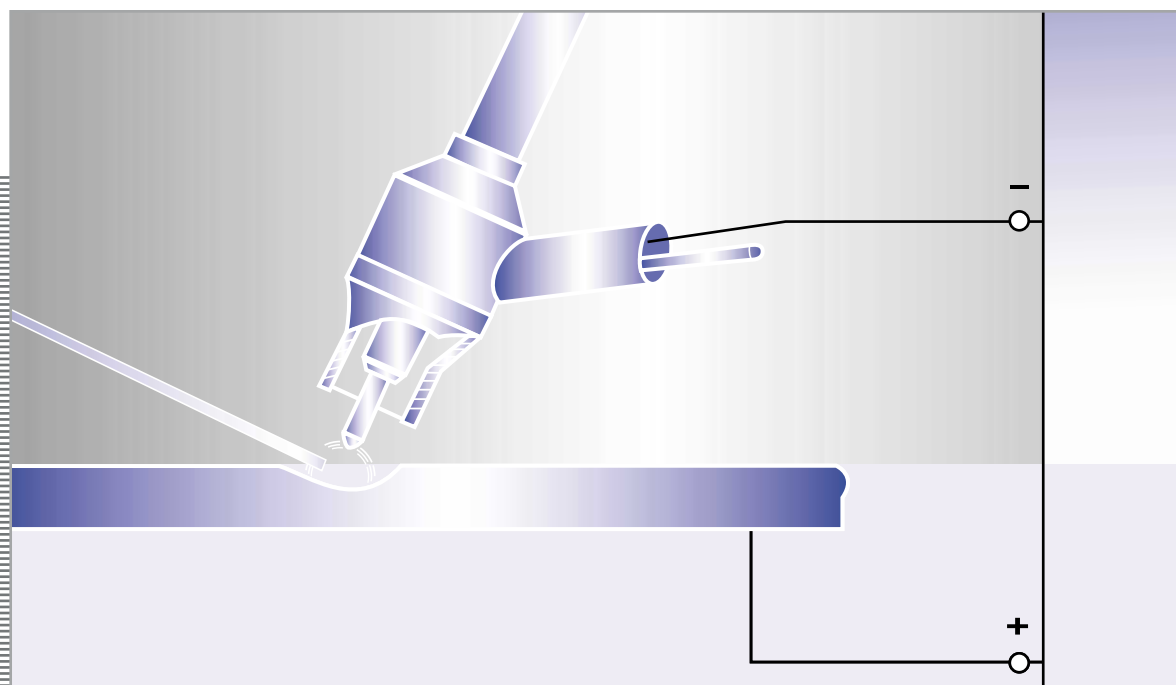


## Spawanie stali nierdzewnych



## **Euro Inox**

Euro Inox jest stowarzyszeniem zajmującym się rozwojem europejskiego rynku stali nierdzewnych.

Członkami Euro Inox są następujące organizacje i instytucje:

- europejscy producenci stali nierdzewnych
- krajowe organizacje zajmujące się rozwojem stali nierdzewnych
- stowarzyszenia zajmujące się wprowadzaniem dodatków stopowych

Głównym celem działania Euro Inox jest rozwijanie świadomości na temat wyjątkowych własności stali specjalnych i propagowanie ich szerszego zastosowania oraz zdobywanie nowych rynków. Aby osiągnąć ten cel, Euro Inox organizuje konferencje i seminaria oraz wydaje przewodniki w formie drukowanej i elektronicznej, co umożliwi architektom, projektantom, zaopatrzeniowcom, producentom oraz użytkownikom lepsze zaznajomienie się z tym materiałem. Euro Inox wspiera również techniczne i rynkowe prace badawcze.

## **Nota redakcyjna**

Spawanie stali nierdzewnych

Wydanie drugie, kwiecień 2002

© Euro Inox, Bruksela

Materiały i zastosowania, księga 3

ISBN 2-87997-009-1

## **Wydawca**

### **Główne biuro:**

Euro Inox 241 Route d'Arlon

1150 Luksemburg, Wielkie Księstwo Luksemburga

Telefon +352 261 03 050

Telefaks +352 261 03 051

### **Biuro wykonawcze:**

Euro Inox

Diamant Building, Bd. A.Reyers 80,

1030 Bruksela, Belgia

Telefon +32 2 706 82 67

Telefaks +32 2 706 8269

E-mail: [info@euro-inox.org](mailto:info@euro-inox.org)

Internet: [www.euro-inox.org](http://www.euro-inox.org)

## **Autor**

Pierre-Jean Cunat, Euro-Inox, Bruksela

**Spis treści**

Euro Inox dołożył wszelkich starań, aby informacje przedstawione w niniejszym opracowaniu były technicznie poprawne. Jednakże, zwraca się uwagę czytelnika, że materiał zawarty w opracowaniu stanowi tylko informację ogólną. Euro Inox i jego członkowie, personel i konsultanci nie przyjmują żadnej odpowiedzialności za jakiegokolwiek straty, uszkodzenia lub szkody wynikające z wykorzystania informacji zawartych w niniejszym opracowaniu.

1. Ogólna informacja o stalach nierdzewnych	2
2. Metody spawania stali nierdzewnych	3
3. Spawalność stali nierdzewnych	23
4. Dobór gazów ochronnych do spawania stali nierdzewnych	24
5. Dobór materiałów dodatkowych do spawania stali nierdzewnych	25
6. Przygotowanie do spawania łukowego	26
7. Obróbka wykończeniowa złączy spawanych	28
8. Bezpieczeństwo pracy	30
9. Glosariusz: terminy i definicje	32

Rozdziały zaznaczone (\*) w tekście są wzięte z opracowania "Praca ze stalą nierdzewną", Paryż (SIRPE), 1998.

# 1. Ogólna informacja o stalach nierdzewnych

## 1.1 Austenityczne stale nierdzewne: Fe-Cr-Ni (Mo)

Stopy te są najbardziej popularnymi gatunkami stali nierdzewnych, ze względu na ich doskonałą zdolność do odkształceń plastycznych, odporność na korozję oraz spawalność. Wszystkie one są niemagnetyczne w stanie wyżarzonym.

Skład chemiczny:  $C \leq 0,10\%$  -  
 $16\% \leq Cr \leq 28\%$  -  $3,5\% \leq Ni \leq 32\%$  -  
 (Mo  $\leq 7\%$ )

## 1.2 Ferrytyczne stale nierdzewne: Fe-Cr-(Mo)

Ferrytyczne stale nierdzewne charakteryzują się niską zawartością węgla, z chromem (i molibdenem) jako głównymi dodatkami stopowymi.

Utwardzają się w wyniku obróbki cieplnej i zawsze są magnetyczne.

Skład chemiczny:  $C \leq 0,08\%$  -  
 $10,5\% \leq Cr \leq 30\%$  - (Mo  $\leq 4,5\%$ )

## 1.3 Austenityczno-ferrytyczne stale nierdzewne typu Duplex: Fe-Cr-Ni (Mo)-N

Mikrostruktura stali nierdzewnych typu Duplex składa się z mieszaniny austenitu i ferrytu. Stale te charakteryzują się cechami tych obu faz - podwyższoną wytrzymałością i plastycznością. Dodatek azotu podnosi wytrzymałość i poprawia spawalność. Są to stale magnetyczne; nie utwardzają się w wyniku obróbki cieplnej.

Skład chemiczny:  $C \leq 0,03\%$  -  
 $21\% \leq Cr \leq 26\%$  -  $3,5\% \leq Ni \leq 8\%$  -  
 (Mo  $\leq 4,5\%$ ) - N  $\leq 0,35\%$

## 1.4 Martenzytyczne stale nierdzewne: Fe-Cr-(Mo-Ni-V)

Aby uzyskać szeroką gamę twardości stopy te mogą podlegać obróbce cieplnej.

Uzyskana struktura martenzytyczna jest magnetyczna.

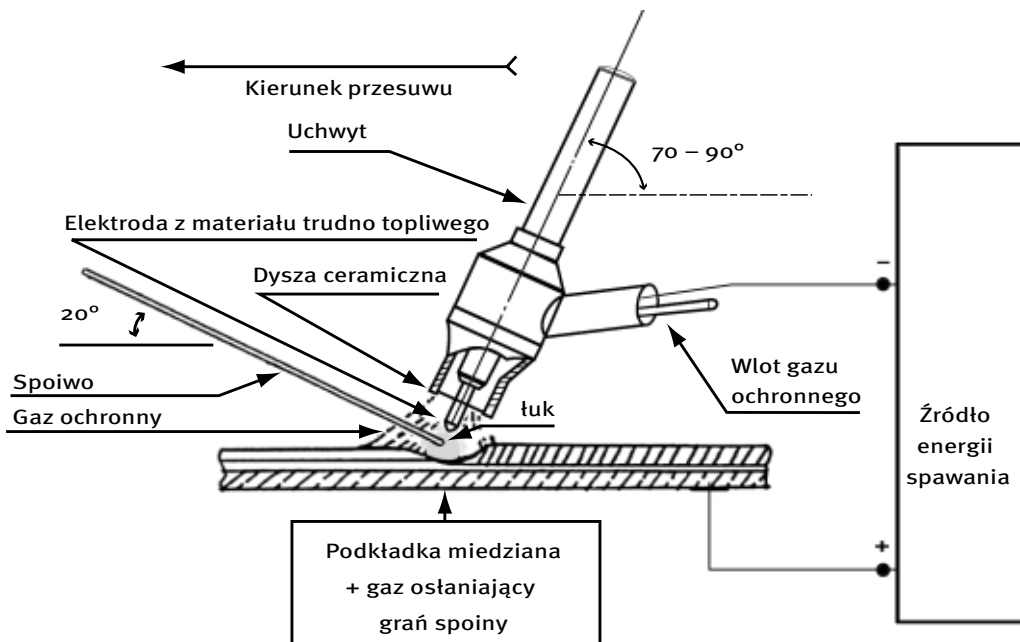
Skład chemiczny:  $C \leq 1,2\%$  -  
 $11,5\% \leq Cr \leq 17\%$  -  
 (Mo  $\leq 1,8\%$  - Ni  $\leq 6\%$  - V  $\leq 0,2\%$ )

## 2. Metody spawania stali nierdzewnych

### 2.1 Metody elektrycznego spawania łukowego

#### 2.1.1 Metody z zastosowaniem elektrody z metalu trudno topliwego

##### 2.1.1.1 Spawanie łukowe elektrodą wolframową w osłonie gazu obojętnego: GTAW (\*)



*Zasada ręcznego spawania łukowego elektrodą wolframową w osłonie gazu obojętnego*

Na powyższym rysunku przedstawiona jest metoda spawania GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), znana również jako metoda TIG (Tungsten Inert Gas) lub WIG (Wolfram Inert Gas). Energia niezbędna do stopienia metalu jest dostarczana przez łuk elektryczny zajarzony i utrzymywany pomiędzy elektrodą wolframową lub ze stopu wolframowego i elementem spawanym, w atmosferze gazu obojętnego lub lekko redukującej. Stale nierdzewne spawa się zawsze prądem stałym przy

biegunowości ujemnej (DCEN – Direct Current Electrode Negative lub DCSP - Direct Current Straight Polarity). W tych warunkach, strumień elektronów uderza w spawany element, co zwiększa wtopienie, podczas gdy elektroda, wykonana zazwyczaj z wolframu torowanego (2%  $\text{ThO}_2$ ) ulega bardzo małemu zużyciu. Jeżeli stosuje się spoiwo, to jest ono albo w postaci gotych prętów albo w postaci drutu w kęgach do spawania automatycznego. Przepływ gazu obojętnego, który chroni strefę łuku

od otaczającego powietrza, umożliwia utrzymanie bardzo stabilnego łuku. W zależności od materiału podstawowego, gaz ochronny składa się głównie z mieszaniny argonu (Ar), helu (He) oraz wodoru (H<sub>2</sub>) (patrz część 4 - "Dobór gazów ochronnych do spawania stali nierdzewnych").

Główne zalety tej metody zastosowanej do stali nierdzewnych można podsumować w sposób następujący:

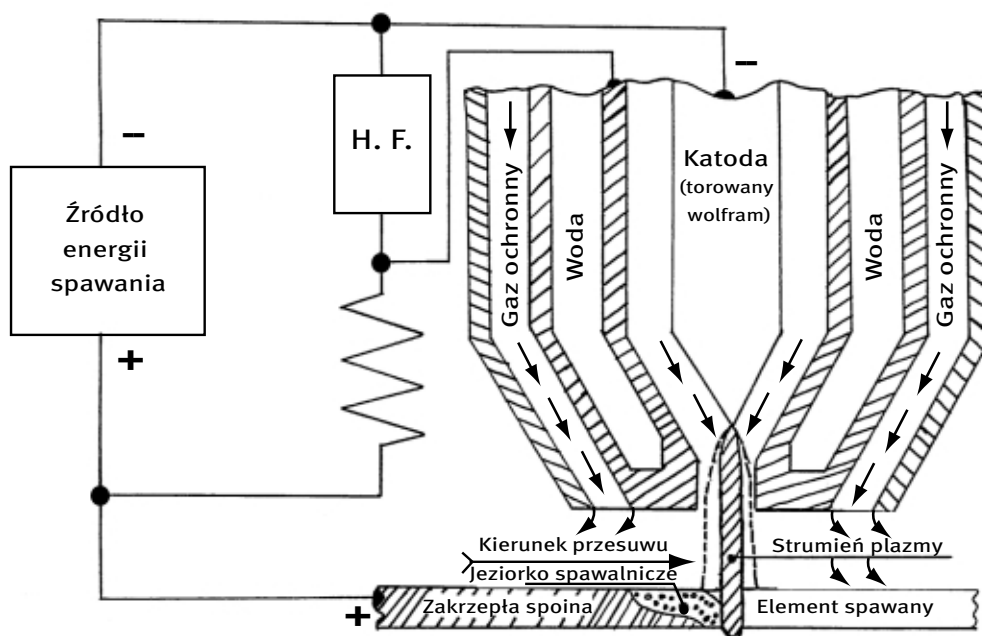
- skoncentrowane źródło ciepła powodujące powstanie wąskiej strefy stopienia,
- bardzo stabilny łuk i spokojne, niewielkie jezioro spawalnicze; nie ma

rozprysków i ponieważ nie ma potrzeby stosowania topnika w tej metodzie, wyeliminowane są pozostałości utleniania, co upraszcza znacznie problem końcowego czyszczenia,

- doskonała jakość metalurgiczna z dokładną kontrolą wtopienia i kształtu spoiny we wszystkich pozycjach spawania,
- dobre spoiny wolne od porów,
- bardzo małe zużycie elektrod,
- łatwość opanowania techniki spawania.

Grubość spawanych elementów wynosi zazwyczaj od 0,5 mm do 3,5/4,0 mm.

### 2.1.1.2 Spawanie łukiem plazmowym (PAW) (\*)



Spawanie plazmowe jest podobne do spawania metodą GTAW. Istotna różnica między tymi metodami polega na tym, że

**plazma łuku** jest zawężona dyszą w celu wytworzenia strumienia plazmy o wysokiej energii, w której uzyskuje się

temperatury pomiędzy 10.000°C a 20.000°C.

W procesie spawania powszechnie wykorzystuje się zwężony łuk 'bezpośredni' utworzony pomiędzy elektrodą a elementem spawanym, podczas gdy w innych zastosowaniach stosuje się częściej zwężony łuk 'niezależny'.

Ponieważ strumień plazmy jest wyjątkowo wąski, nie może on zapewnić wystarczającej ochrony dla jeziora spawalniczego, dlatego więc konieczne jest dodanie pierścieniowego strumienia gazu ochronnego o większej średnicy.

Gazy stosowane zarówno w tym celu, jak i dla tworzenia plazmy są podobne do gazów stosowanych w metodzie GTAW, mianowicie czysty argon (Ar), mieszanki Ar - wodór (H<sub>2</sub>) do 20% H<sub>2</sub> i Ar- hel (He) - H<sub>2</sub>. Mieszanki zawierające wodór są zalecane do spawania austenicznych stali nierdzewnych, lecz podobnie jak w przypadku spawania metodą GTAW są również stosowane do stali martenzytycznych, ferrytycznych oraz stali typu Duplex. Jeżeli chodzi o te ostatnie materiały, aby zachować właściwą proporcję austenitu i ferrytu w spoinie zaleca się dodatek azotu (patrz część 4 - "Dobór gazów ochronnych do spawania stali nierdzewnych").

Przy ręcznym spawaniu plazmowym, gdy uchwyt jest trzymany w ręce, stosowane są procesy 'mikroplazmowe' i 'miniplazmowe' dla prądów pomiędzy 0,1 i 15 amperów oraz technika 'z jeziorciem' dla prądów od około 15 do 100 amperów.

Przy spawaniu automatycznym, gdy uchwyt jest zamontowany na wózku, stosowana jest tak zwana metoda 'oczka'. Poprzez zwiększenie prądu spawania (powyżej 100 amperów) oraz przepływu gazu plazmowego, tworzy się wiązka plazmy o dużej mocy, która może wnikać na pełną głębokość elementu spawanego. W trakcie spawania, oczko stopniowo przecina metal, a za nim spływa jezioro spawalnicze, tworząc spoinę.

Główną zaletą metody PAW w stosunku do GTAW jest szczególna stabilność łuku, która powoduje:

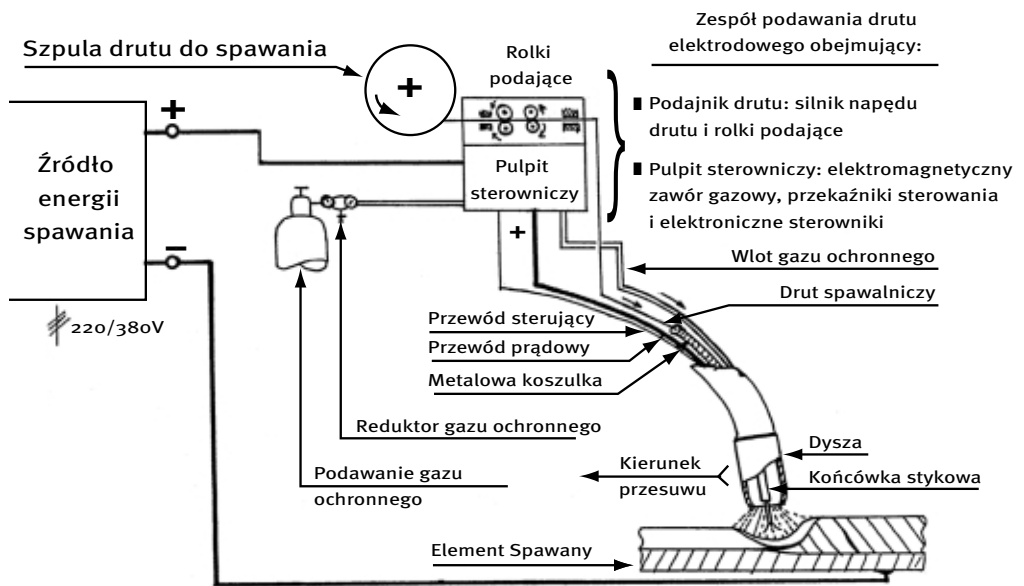
- powstawanie 'sztywnego' łuku, który umożliwia lepszą kontrolę wprowadzanej energii,
- większą tolerancję na zmiany odległości pomiędzy dyszą a spawanym elementem, bez istotnej zmiany budowy spoiny,
- wąską strefę wpływu ciepła i ogólnie większą prędkość spawania,
- większą tolerancję na wadliwe przygotowanie, szczególnie w przypadku spawania z oczkiem.

Normalne grubości elementów spawanych wynoszą:

- od 0,1 mm do 1,0 mm w przypadku metod mikroplazmowych i miniplazmowych,
- od 1,0 mm do 3,5 mm w przypadku stosowania techniki 'z jeziorciem',
- od 3,5 mm do 10 mm w przypadku spawania z oczkiem (dla jednej warstwy spoiny).

## 2.1.2 Metody spawania elektrodą topliwą

### 2.1.2.1 Spawanie łukowe elektrodą metalową w osłonie gazu (GMAW) (\*)



Zasada spawania łukowego elektrodą metalową w osłonie gazu

W metodzie GMAW, znanej również jako metoda MIG (Metal Inert Gas - spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazowej), ciepło spawania jest wytwarzane przez łuk zajarzony pomiędzy podawanym w sposób ciągły metalowym drutem elektrodowym a elementem spawanym.

W przeciwieństwie do metod spawania GTAW i PAW, elektroda tutaj zużywa się, a łuk jarzy się w osłonie gazu ochronnego pomiędzy topliwym drutem spawalniczym a elementem spawanym.

Podstawowe cechy tej metody to:

- zastosowanie bardzo dużej gęstości prądu w drucie elektrodowym ( $> 90 \text{ A/mm}^2$ ), około 10 razy większej niż w

metodzie spawania elektrodą otuloną (SMAW),

- szybkie topienie się drutu elektrodowego (prędkość topienia wynosi około 8 m/min) z racji wysokiej temperatury łuku wymaga stosowania automatycznego podawania drutu ze szpuli o ciężarze 12 kg,
- stale nierdzewne spawa się zawsze prądem stałym przy biegunowości dodatniej (DCEP lub DCRP); biegun dodatni generatora podłączony jest do elektrody,
- uchwyt spawalniczy jest zazwyczaj trzymany w ręku (tak zwana metoda 'półautomatyczna'), lecz dla wysokiej mocy spawania jest on zamocowany do wózka (metoda 'automatyczna').



Mechanizm przenoszenia metalu w łuku jest istotnym parametrem procesu i różni się tutaj jego trzy zasadnicze rodzaje:

- Sposób **spawania łukiem krótkim** lub **ze zwarciovym przenoszeniem metalu**, w którym metal topi się tworząc duże krople o średnicy często większej niż średnica drutu elektrodowego. Gdy na końcu elektrody tworzy się kropla, styka się ona z jeziorkiem spawalniczym i tworzy zwarcie z nagłym wzrostem prądu. Napięcie powierzchniowe powoduje efekt ściśnięcia, który oddziela kroplę od elektrody. Częstotliwość tego zjawiska jest rzędu od 20 Hz do 100 Hz, co odpowiada czasowi cyklu od 0,01 s do 0,05 s.
- Sposób **przenoszenia** kropłowego lub **grawitacyjnego**. Podobnie jak w poprzednim przypadku, topienie odbywa się w postaci dużych kropli, które odrywają się, gdy ich ciężar jest wystarczający dla pokonania sił napięcia powierzchniowego i z racji większej długości łuku spadają swobodnie zanim zetkną się z jeziorkiem spawalniczym.
- Sposób przenoszenia natryskowego obejmuje gęstości prądu powyżej pewnego poziomu przejścia, rzędu 200 A/mm<sup>2</sup>. Elektroda topi się dając strumień małych kropelek. Gdy gęstość prądu dalej się zwiększa, koniec elektrody staje się stożkowy i strumień jeszcze mniejszych kropelek uwalnia się osiowo.

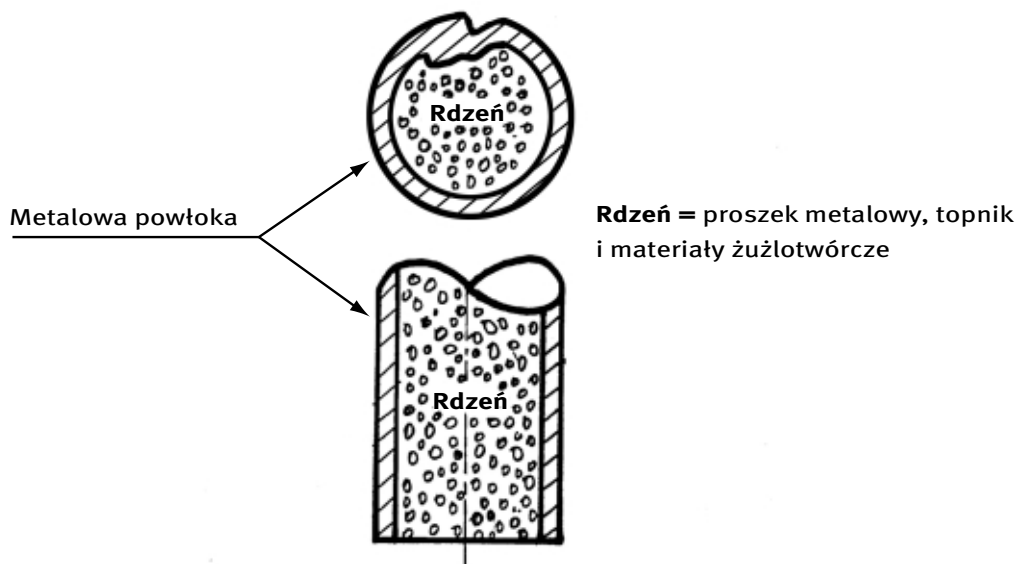
Metoda spawania GMAW wymaga gazu ochronnego aby zapobiec utlenianiu w łuku spawalniczym (patrz część 4 "Dobór gazów

ochronnych do spawania stali nierdzewnych"). Argon z dodatkiem 2% tlenu (O<sub>2</sub>) daje stabilny łuk i nadaje się do większości zastosowań. Argon z dodatkiem 3% dwutlenku węgla (CO<sub>2</sub>) przynosi podobny wynik. Prędkość spawania i głębokość wtopienia można czasami zwiększyć przez dodanie helu (He) i wodoru (H<sub>2</sub>) do mieszanki argon + O<sub>2</sub> lub argon + CO<sub>2</sub>, jako gazu ochronnego. Gazy o większej zawartości CO<sub>2</sub> (metoda MAG) mają tendencję do znacznego nawęglania jeziorka spawalniczego łącznie z utlenianiem chromu. Z tego więc powodu nie są one zalecane.

Rozmiar kropli i wielkość wtopienia zmieniają się w zależności od gatunku stali elementu spawanego (ferrytyczna, austenityczna itp.), rodzaju złącza, sposobu przenoszenia metalu oraz kwalifikacji spawacza. Dla złączy czołowych ze spoinami V i I spawanych jednym przejściem, normalny zakres grubości elementów wynosi od 1,0 mm do 5,0 mm.

**Uwaga:** Metoda GMAW jest często określana jako spawanie MIG. Metody spawania MIG i MAG są często niewłaściwie rozumiane. W rzeczywistości, w metodzie MIG, utleniający charakter gazu ochronnego (patrz rozdział "Dobór gazów ochronnych do spawania stali nierdzewnych") jest nieznaczny, natomiast jest on wyraźnie zwiększony w metodzie MAG. Jednakże, w metodzie GMAW/MIG często potrzebny jest w gazie ochronnym (argon) niski procent tlenu lub dwutlenku węgla, aby poprawić zarówno stabilność łuku, jak i zwilżanie stopionym metalem. Normalne zawartości to: 2% O<sub>2</sub> lub 3% CO<sub>2</sub>. Wyższe ilości O<sub>2</sub> i CO<sub>2</sub> powodują nadmierne utlenianie chromu (Cr), manganu (Mn) i krzemu (Si) oraz nadmierne nawęglanie jeziorka spawalniczego. Na przykład, zawartość węgla w metalu spoiny, która wynosi 0,025% dla gazu ochronnego zawierającego 2% CO<sub>2</sub>, mogłaby osiągnąć 0,04% przy zawartości 4% CO<sub>2</sub>.

**2.1.2.2 Spawanie łukowe drutem  
proszkowym z rdzeniem  
topnikowym : FCAW (\*)**



Przykład drutu  
proszkowego z rdzeniem  
topnikowym

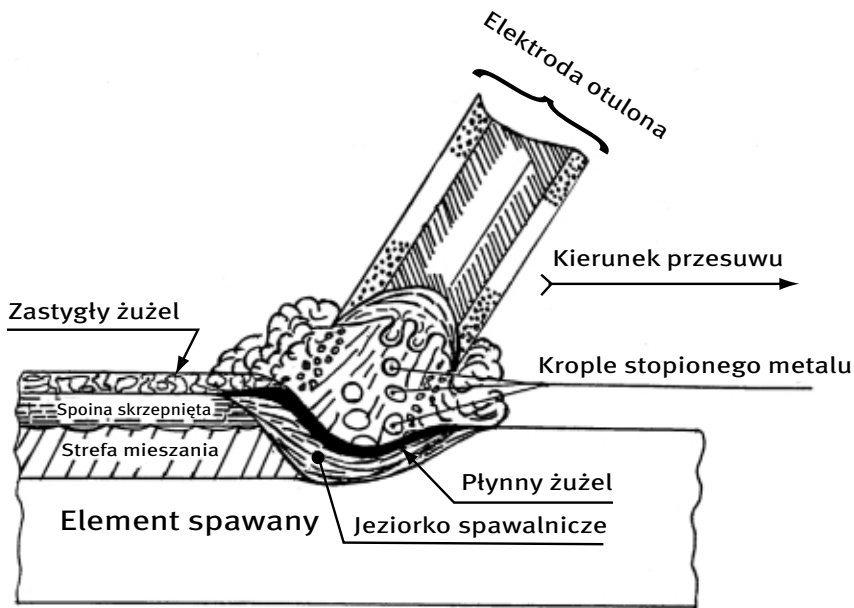
Metoda spawania łukowego drutem proszkowym z rdzeniem topnikowym (Flux Cored Arc Welding - FCAW) stanowi odmianę metody spawania GMAW. Jest to metoda, w której drut spawalniczy składa się z metalowej powłoki ze stali nierdzewnej wypełnionej stałym topnikiem, którego rola jest podobna do roli otuliny elektrody w metodzie spawania ręcznego SMAW. Rdzeń zapewnia środki odtleniające oraz materiały żużlotwórcze jak również może zapewnić gazy ochronne w wypadku samoosłonowych drutów proszkowych FCAW.

Tak więc, w wypadku prądu powyżej 200 A, współczynnik stapiania wynosi około 100 g/min dla drutu litego o średnicy 1,6 mm zawierającego 20% Cr i 10% Ni, w porównaniu do około 170 g/min w wypadku drutu proszkowego o tej samej średnicy. Tak duża różnica wynika z faktu, że w drucie proszkowym elektryczność przewodzi tylko metalowa powłoka, ponieważ rdzeń, złożony z mieszaniny proszków metalowych i mineralnych, prawdopodobnie związanych w alkaliczny krzemian, ma wysoką oporność elektryczną.

Z uwagi na możliwość ciągłego podawania drutu spawalniczego metoda FCAW łączy zalety metody SMAW z wysoką wydajnością procesu automatycznego lub półautomatycznego. W porównaniu z konwencjonalną litą elektrodą, topnik zapewnia pokrycie żużłowe i podnosi wydajność.

Zarówno metoda FCAW, jak i GMAW mają podobną wielkość ściegu. W wypadku złączy czołowych ze spoinami V i I spawanych jednym przejściem, normalny zakres grubości elementów spawanych wynosi od 1,0 mm do 5,0 mm.

### 2.1.2.3 Spawanie łukiem osłoniętym elektrodą metalową (elektroda otulona): SMAW (\*)



Zasada metody spawania łukiem osłoniętym

Chociaż metoda SMAW (Shielded Metal Arc Welding), znana również jako MMA (Manual Metal Arc - ręczne spawanie łukowe), jest metodą bardzo starą, gdyż jej pierwsze zastosowanie zostało opisane przez Kjelberga w roku 1907, jest ona w dalszym ciągu powszechnie stosowana ze względu na jej wielką elastyczność i prostotę.

Elektroda składa się z rdzenia metalowego otulonego warstwą topnika. Rdzeń stanowi zazwyczaj drut spawalniczy ze stali nierdzewnej. Otulina, która odgrywa w tym procesie istotną rolę, jest prasowana na rdzeń i nadaje każdej elektrodzie jej specyficzne indywidualne cechy. Spełnia ona trzy podstawowe funkcje: elektryczną, fizyczną i metalurgiczną. Funkcja elektryczna jest związana z inicjacją i stabilizacją łuku,

podczas gdy funkcja fizyczna dotyczy lepkości i napięcia powierzchniowego żużla, które regulują przenoszenie kropli metalu, efektywnej ochrony jeziorka spawalniczego oraz jego zwilżalności. Rola metalurgiczna obejmuje wymianę chemiczną pomiędzy jeziorkiem spawalniczym a żużlem, to znaczy rafinację metalu spoiny.

Otulina zawiera pewną ilość węgla wapnia ( $\text{CaCO}_3$ ), który dysocjuje w łuku w temperaturze około  $900^\circ\text{C}$ , tworząc  $\text{CaO}$  i  $\text{CO}_2$ , z których ten ostatni zapewnia osłonę strefy łuku. Poniżej podano typy najczęściej stosowanych elektrod otulonych:

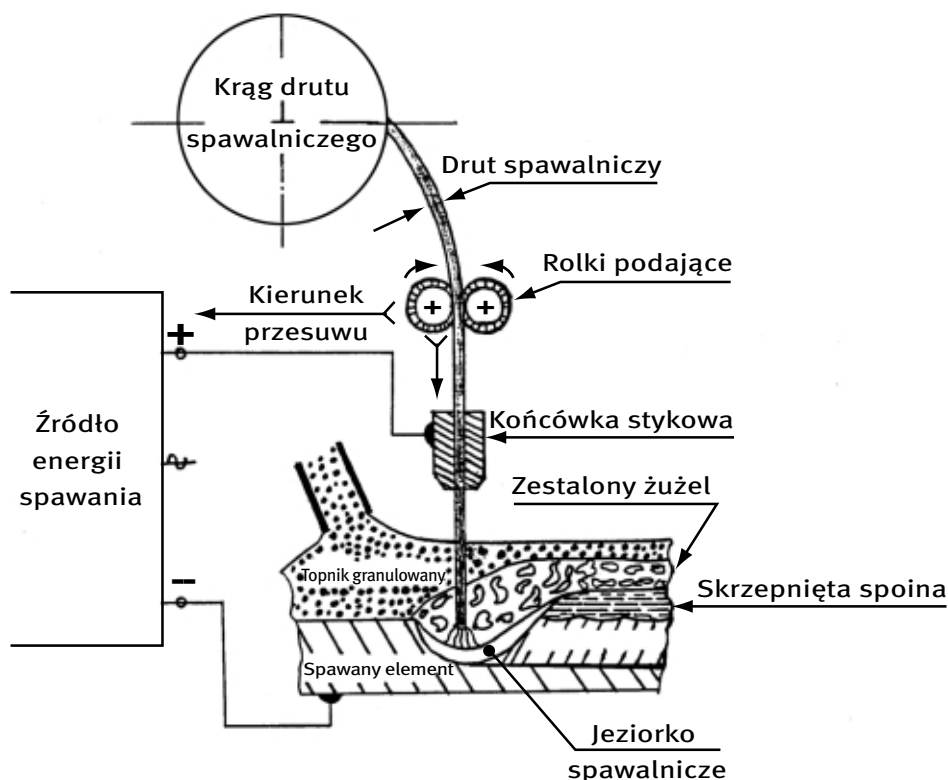
- **Elektrody rutyłowe (dwutlenek tytanu):** Tworzenie się żużla stanowi główny mechanizm ochronny w elektrodach

rutyłowych. Elektrody rutyłowe są łatwe w postępowaniu się nimi, zapewniają małą ilość rozprysków i dają spoiny o gładkiej powierzchni. Żużel powstający w trakcie spawania jest łatwy do usunięcia.

wchłania wilgoć przy składowaniu elektrod na powietrzu i należy zadbać, aby elektroda pozostała sucha. Normalny czas suszenia wynosi jedną godzinę przy temperaturze rzędu 150-250°C.

- **Elektrody zasadowe (wapienne):** Wapień stanowi podstawowy składnik elektrod z otuliną zasadową z racji jego korzystnego wpływu na stabilność łuku i procesy metalurgiczne. Powoduje on również powstawanie dwutlenku węgla, który stanowi gaz ochronny. Dużą jednakże wadą wapienia jest jego wysoka temperatura topnienia. Można temu przeciwdziałać przez dodanie fluorytu ( $\text{CaF}_2$ ), który obniża temperaturę topnienia żużla. Otulina zasadowa
  - Elektrody z otuliną rutyłową można stosować zarówno przy prądzie stałym, jak i przemiennym, podczas gdy elektrodami z otuliną zasadową (wapienną) zasadniczo spawa się prądem stałym z biegunowością dodatnią na elektrodzie (DCEP).
- Normalne grubości elementów spawanych są rzędu 1,0 mm - 2,5 mm dla spawania jednym przejściem i 3,0 mm - 10,0 mm dla spawania wielościegowego.

#### 2.1.2.4 Spawanie łukiem krytym: SAW (\*)



Zasada metody spawania łukiem krytym

W metodzie SAW (Submerged Arc Welding), ciepło spawania jest wytwarzane w wyniku przechodzenia prądu o dużym natężeniu pomiędzy jednym lub kilkoma drutami ciągłymi a elementem spawanym pod sproszkowanym topnikiem, tworzącym ochronną powłokę stopionego żużla.

Metoda ta może być w pełni automatyczna lub półautomatyczna, jednakże w wypadku stali nierdzewnych większość prac jest w pełni zautomatyzowana.

W metodzie automatycznej, można spawać bardzo dużym prądem, aż do 2000 amperów na jeden drut, co daje dużą wartość wprowadzonej mocy i w konsekwencji prowadzi do silnego wymieszania materiału rodzimego z materiałem dodatkowym.

Metoda ta nadaje się do wykonywania spoin czołowych i pachwinowych w pozycji podolnej oraz spoin pachwinowych w pozycji nabocznej. Źródłem energii jest zazwyczaj prąd stały przy dodatniej biegunowości na elektrodzie (DCEP), a rzadziej prąd przemienny (AC), gdy stosuje się jednocześnie kilka drutów, aby uniknąć zjawiska ugięcia łuku. Dla źródeł prądu zarówno stałego, jak i przemiennego, prędkość podawania drutu spawalniczego musi być równa prędkości topienia się, aby uzyskać łuk w pełni stabilny. Uzyskuje się to poprzez zastosowanie rolek podających napędzanych przez system przekładniowy z serwokontrolowaną prędkością. Do spawania stali nierdzewnych, najczęściej stosuje się topnik typu 'wapienno-fluorkowego', a jego typowy skład jest następujący:

$$25\% \leq \text{CaO} + \text{MgO} \leq 40\%, \text{SiO}_2 \leq 15\%, 20\% \leq \text{CaF}_2 \leq 35\%.$$

Istnieją dwie postacie topnika uzyskiwane albo przez topienie albo przez spiekanie. Topione topniki powstają w wyniku nagrzania do temperatury rzędu 1600 – 1700°C i są przetwarzane na postać proszkową albo przez rozpylanie przy wyjściu z pieca do topienia lub przez kruszenie i przesiewanie zestalonego materiału. Spiekane topniki są produkowane z surowców o odpowiednim uziarnieniu, spiekanych razem z alkalicznokrzemianowym spoiwem. Otrzymana mieszanina podlega suszeniu a następnie obróbce mechanicznej w celu uzyskania pożądanego uziarnienia.

W trakcie spawania tylko część topnika ulega stopieniu i nieużyty materiał jest odciągany - zazwyczaj za pomocą węża ssawnego - i odprowadzany do zbiornika do dalszego wykorzystania. Stopiony topnik krzepnie za strefą spawania, podczas stygnięcia kurczy się i może być łatwo usunięty.

W przypadku grubszych elementów, spoiny są zazwyczaj wykonywane za pomocą jednego lub dwóch ściągów, to znaczy jeden ściąg na ręcznie wykonanej spoinie graniowej lub jako pojedynczy ściąg z każdej strony płyty, ale można również zastosować technologię wielowarstwową. Przy cieńszym materiale, spoiny mogą być wykonywane jednym ściągami przy zastosowaniu rowkowanej podkładki.

Ponieważ metoda SAW jest stosowana głównie do spawania grubej blachy z

nierdzewnej stali austenitycznej, należy dołożyć szczególnych starań, aby uniknąć tworzenia się fazy sigma z racji stosowania wysokiej energii spawania. Jest to szczególnie istotne w przypadku stopów o zawartości 25% Cr - 20% Ni ale również w przypadku gatunków 18% Cr - 9% Ni o wysokiej zawartości ferrytu. Przy spawaniu wielowarstwowym, tam gdzie temperatura w zakresie 650 – 900°C jest przekraczana kilkakrotnie, występuje zwiększone ryzyko tworzenia się fazy sigma. Wtedy bardzo zalecane jest wyżarzanie w temperaturze 1050°C (przesycanie).

Dostarczane topniki są całkowicie suche. Aby zabezpieczyć topniki przed wchłanianiem wilgoci, zaleca się przechowywać je w temperaturze wyższej o 10°C od temperatury warsztatu, a wilgotność względna nie może przekraczać 50%.

Jeżeli istnieje niebezpieczeństwo lub obawa zawilgocenia, wskazane jest wysuszenie proszku w temperaturze 300°C przez okres co najmniej 2 godzin.

Metoda spawania łukiem krytym jest powszechnie stosowana do łączenia ciężkich elementów o grubości w zakresie 10 mm - 80 mm, po wykonaniu ściegu graniowego inną metodą spawania. Dolny ścieg można również wykonać przy zastosowaniu rowkowanej podkładki spoiny.

#### 2.1.2.5 Przypawanie kotków: SW

Przypawanie kotków polega na przymocowaniu metalowych sworzni do elementu

stalowego, zazwyczaj w postaci cienkiej lub grubej blachy.

Stosowane są dwie odrębne metody przypawania kotków: **przypawanie łukowe (ARC)** i **przypawanie kondensatorowe (CD)**.

#### 1. Przypawanie łukowe kotków (ARC)

obejmuje te same podstawowe zasady i aspekty metalurgiczne jak każda inna metoda spawania łukowego. Kotek jest ustawiany na elemencie metalowym za pomocą ręcznego narzędzia zwanego pistoletem do przypawania kotków i po zajarzeniu łuku następuje stopienie podstawy kotka i przyległego obszaru podłoża. Przed spawaniem nasuwa się na koniec kotka **pierścień ceramiczny**, w celu ochrony łuku i ograniczenia metalu spoiny.

Następnie, kotek jest wciskany do jeziorka spawalniczego i utrzymywany na miejscu do czasu skrzepnięcia stopionego metalu i stworzenia jednorodnego połączenia. Cykl kończy się w ciągu niecałej sekundy prowadząc do powstania połączenia o pełnej wytrzymałości. Po zdjęciu rozepchniętego pierścienia ceramicznego widoczna jest gładka i kompletna powierzchnia spoiny u podstawy kotka.

#### 2. Przypawanie kondensatorowe (CD)

obejmuje te same podstawowe zasady i aspekty metalurgiczne jak każda inna metoda spawania łukowego. Po uruchomieniu pistoletu do przypawania kondensatorowego, specjalna precyzyjna końcówka spawalnicza inicjuje kontrolowany łuk elektryczny zasilany z baterii

kondensatorów spawarki, który topi koniec kołka i część podłoża. Kołek jest utrzymywany w miejscu do czasu skrzepnięcia stopionego metalu, tworząc natychmiast złącze spawane o wysokiej jakości. Ponieważ cały cykl spawania jest zakończony w ciągu kilku milisekund, połączenia te mogą być wykonywane nawet w wypadku cienkich blach bez powodowania ich odkształcenia, przepalenia lub zmiany koloru i przy małych średnicach łączników (9 mm i poniżej). Przepawanie kondensatorowe pozwala również na łączenie różnych stopów metali.

**Czy metoda ARC czy CD?**

Metoda łukowa jest zazwyczaj stosowana do kołków o średnicy od 6 mm i powyżej oraz

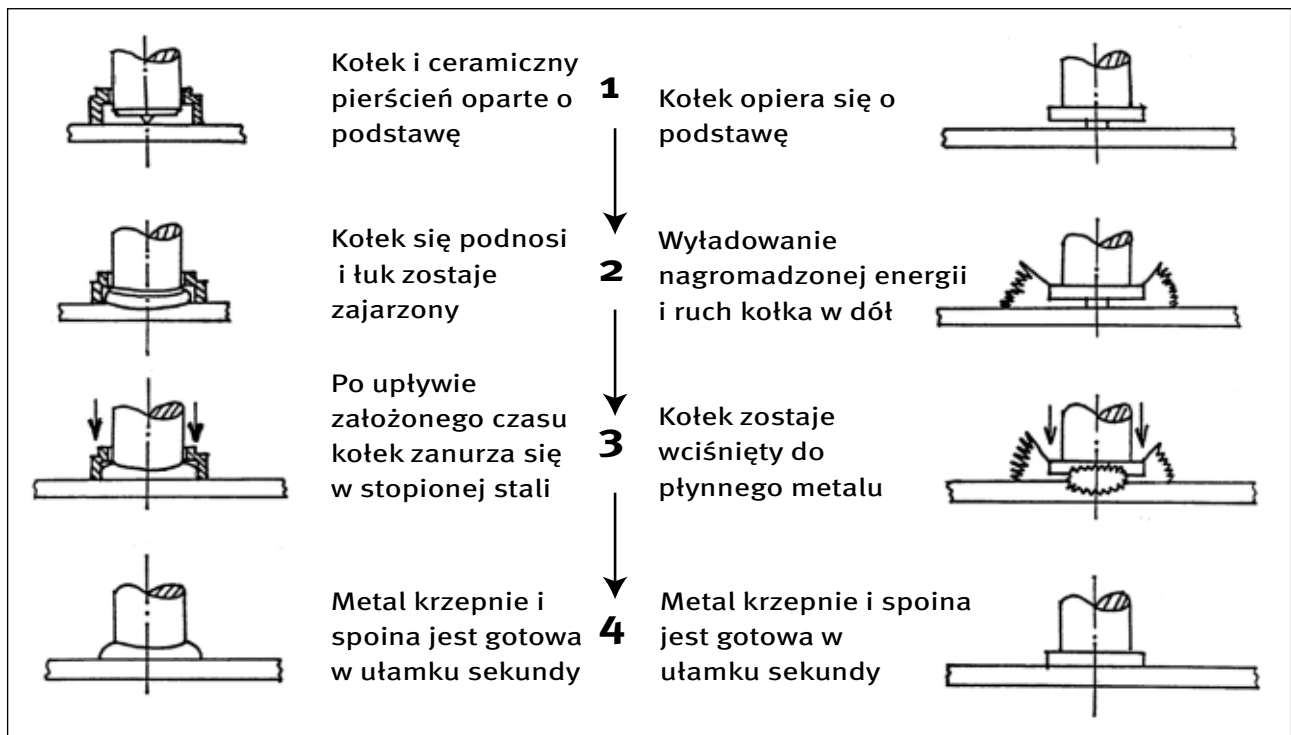
przy przypawaniu do grubszych elementów lub do zastosowań konstrukcyjnych.

Metoda CD jest powszechnie stosowana do przypawania kołków o średnicy do 9 mm i głównie do przypawania do cienkich blach metalowych.

**Kołki ze stali nierdzewnej**

Kołki z większości stali nierdzewnych nadają się do przypawania. Do tego celu wykorzystywane są najczęściej kołki z nierdzewnej stali austenitycznej, z wyjątkiem stali automatowych.

Kołki ze stali nierdzewnej są zazwyczaj przypawane do stali nierdzewnych, ale mogą być również przypawane do stali miękkiej. W tym przypadku, ważne jest, aby zawartość węgla w metalu podstawowym nie przekraczała 0,20%.

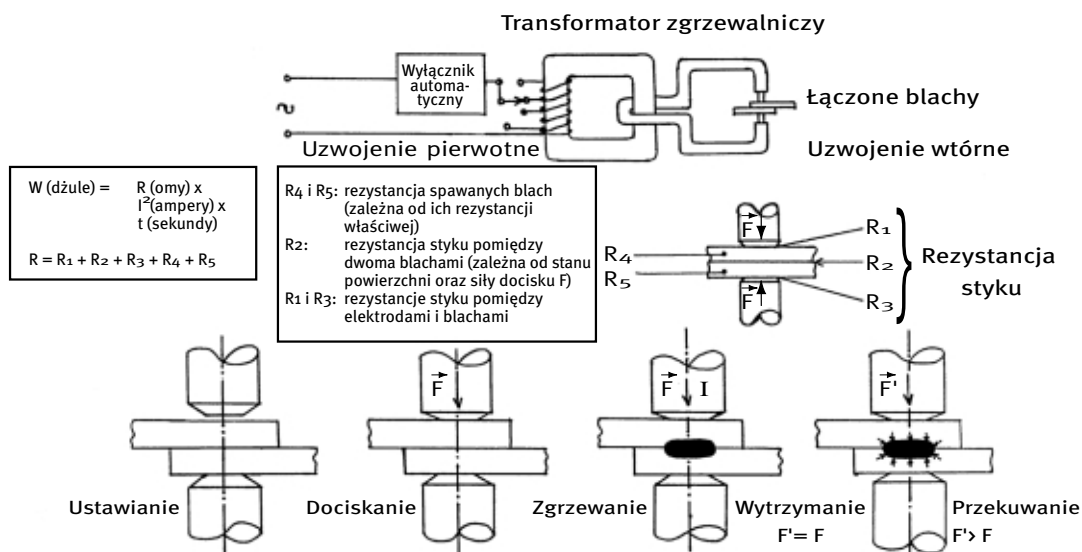


Przypawanie łukowe kołków

Przypawanie kondensatorowe kołków

## 2.2 Metody rezystancyjne i indukcyjne

### 2.2.1 Zgrzewanie rezystancyjne punktowe: RSW (\*)



Zasada rezystancyjnego zgrzewania punktowego

Metoda ta jest w dalszym ciągu szeroko stosowana i nadaje się szczególnie do zgrzewania blach cienkich ze stali nierdzewnej. Proces topienia jest zapoczątkowany przez nagrzewanie rezystancyjne wywołane przepływem prądu przez zgrzewane materiały w miejscu łączenia. Rozróżnia się ogólnie pięć odrębnych etapów w procesie zgrzewania punktowego, a mianowicie:

- Ustawianie łączonych blach;
- Obniżenie górnej elektrody i wywarcie siły docisku;
- Zgrzewanie prądem przemiennym o niskim napięciu poprzez wytworzenie energii cieplnej  $W \text{ (dżule)} = R \text{ (ohmy)} \times I^2$

(ampery);

- Utrzymanie siły docisku lub zastosowanie dodatkowej siły przekuwającej;
- Podniesienie górnej elektrody przed przejściem do następnego cyklu.

Jeżeli chodzi o materiały elektrod w wypadku stali nierdzewnych, najlepsze połączenie niskiej rezystancji i wysokiej wytrzymałości mechanicznej uzyskuje się przy zastosowaniu stopów miedź - kobalt - beryl. Końcówki elektrod mają zazwyczaj kształt ściętego stożka o kącie rozwartym 120°. Tworzenie się jądra zgrzeiny zależy od prądu zgrzewania i jego trwania oraz od siły docisku wywieranej przez elektrody.



Poniższa tabela pokazuje parametry zgrzewania zalecane dla stali austenitycznych 18% Cr - 9% Ni oraz stabilizowanych gatunków ferrytycznych 17% Cr.

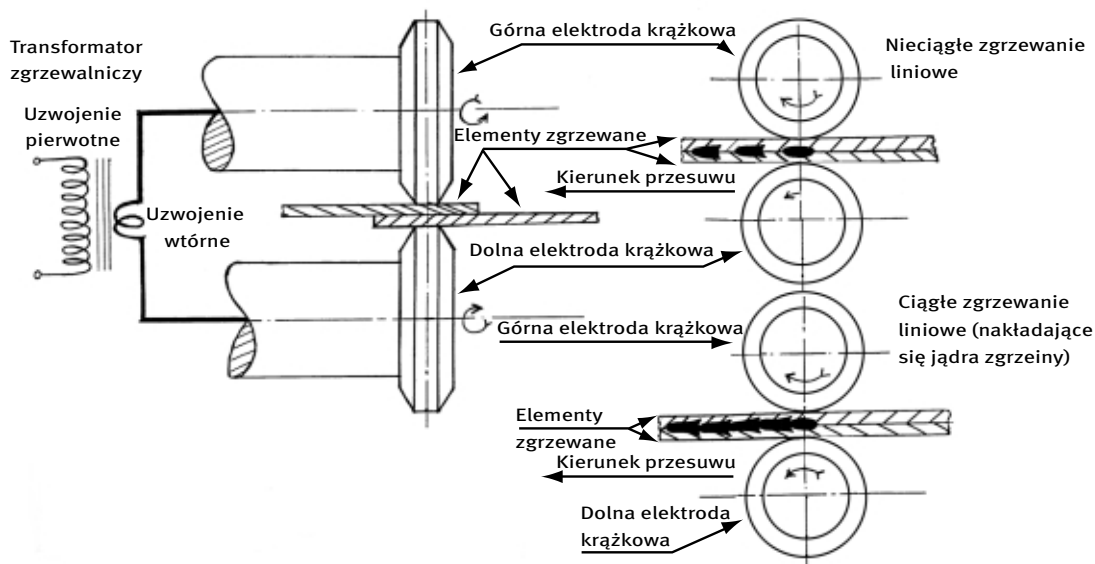
Grubość blachy (mm)	Średnica końcówki elektrody (mm)	Siła docisku elektrody (daN)	Prąd zgrzewania (A)	Czas zgrzewania (ilość okresów)
Gatunki austenityczne 18% Cr - 9% Ni				
0,5	3,0	170	3.500	3
0,8	4,5	300	6.000	4
2,0	6,0	650	11.000	8
Stabilizowane gatunki ferrytyczne 17 % Cr				
0,5	3,0	150	4.000	3
0,8	4,5	250	7.550	4

Parametry podane w powyższej tabeli muszą być zoptymalizowane uwzględniając stan powierzchni (wytrawiona, szklista, wyżarzona na jasno, polerowana), która ma duży wpływ na rezystancje styku, która z kolei odgrywa decydującą rolę w tworzeniu się jądra zgrzeiny.

W przeciwieństwie do procesów spawania, przy punktowym zgrzewaniu rezystancyjnym jeziorko ciekłego metalu nie może być

kontrolowane wizualnie. Jedyne wady postrzegalne wzrokowo to nadmierny wgniot elektrody i rozprysk na powierzchni. Prostą, aczkolwiek niszczącą metodą badania jest tak zwana próba odrywania, która umożliwia szybkie sprawdzenie jakości zgrzeiny punktowej. W próbie tej, jedna ze zgrzanych blach jest odrywana od drugiej, tak że metal zgrzeiny wykazuje tendencję do wyłuskiwania się z jednej lub drugiej blachy.

### 2.2.2 Rezystancyjne zgrzewanie liniowe: RSEW (\*)



Zasada rezystancyjnego zgrzewania liniowego

Zasada zgrzewania liniowego jest podobna do zgrzewania punktowego, z tym wyjątkiem, że jest to proces ciągły. Główna różnica polega na rodzaju elektrod, którymi są dwa krążki ze stopu miedzi wyposażone w odpowiedni system napędu. Brzegi krążków albo są dwustronnie sfazowane albo mają profil wypukły. W porównaniu do zgrzewania punktowego, gdzie podstawowymi parametrami procesu są

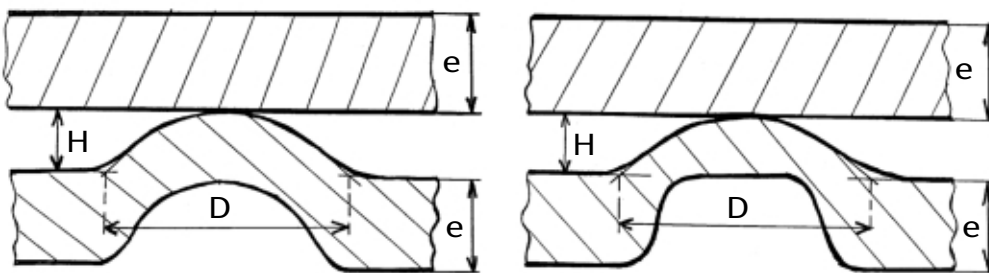
prąd zgrzewania, czas nagrzewania oraz czas wytrzymania, dodatkowymi czynnikami, które należy wziąć pod uwagę przy zgrzewaniu liniowym są: stosowanie prądu modulowanego lub pulsacyjnego oraz prędkość zgrzewania.

Poniższa tabela podaje parametry zgrzewania zalecane dla austenitycznych gatunków stali Fe - Cr - Ni.

Grubość blachy (mm)	Grubość krążka (mm)	Siła docisku (daN)	Czas zgrzewania (okresy)	Czas przerwy (okresy)	Prąd zgrzewania (A)	Prędkość zgrzewania (cm/min)
0,5	3,0	320	3	2	7900	140
0,8	4,5	460	3	3	10600	120
1,5	6,5	80	3	4	15000	100
2,0	8,0	1200	4	5	16700	95
3,0	9,5	1500	5	7	17000	95

Zarówno w zgrzewaniu punktowym, jak i liniowym, głównymi zaletami elektrycznego nagrzewania rezystancyjnego jest ograniczona zmiana mikrostruktury w strefie oddziaływania ciepła, nie występujące praktycznie utlenianie powierzchni, gdy blachy są właściwie chłodzone (przez strumień zimnej wody) oraz bardzo małe odkształcenie blach po zgrzewaniu.

### 2.2.3 Zgrzewanie garbowe: PW (\*)



e : grubość łączonych elementów: 0,3 mm - 3,0 mm

H : wysokość garbu: 0,4 mm - 1,5 mm

D : średnica garbu: 1,4 mm - 7,0 mm

*Zasady kształtowania garbu*

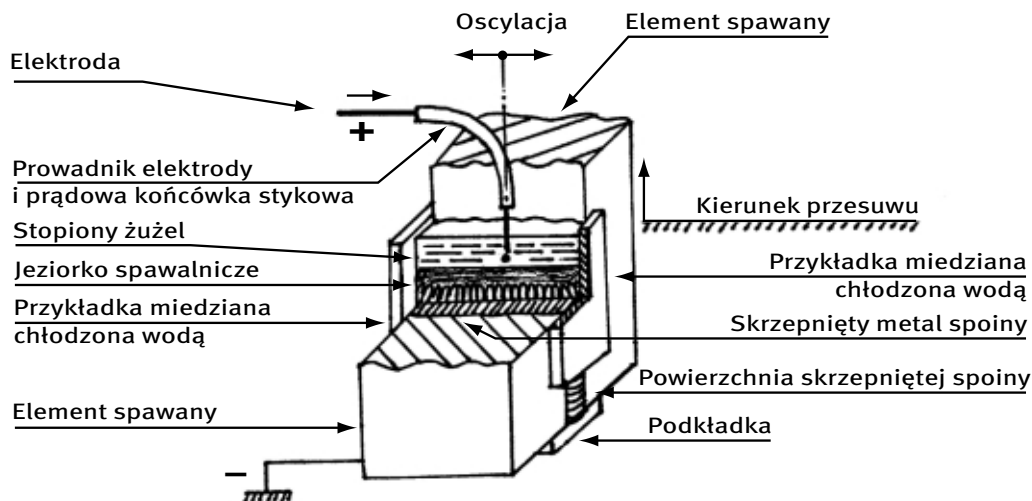
W procesie tym, małe przygotowane garby na jednej lub dwóch powierzchniach zgrzewanych elementów topią się i zapadają przy doprowadzeniu prądu przez płaskie elektrody ze stopu miedzi. Garby są tworzone przez wygniatanie (części z blachy) lub obróbkę mechaniczną (grube części metalowe), zazwyczaj na części grubszej lub o wyższej przewodności elektrycznej złącza. Garby te są tak zaprojektowane i umiejscowione, aby skoncentrować prąd i moc wykonywać jednocześnie dużą ilość zgrzein punktowych. Stosuje się tu prądy o niższym natężeniu i niższe naciski niż w wypadku

zgrzewania punkowego, aby uniknąć zapadnięcia się garbów przed stopieniem powierzchni drugiego elementu. Czas zgrzewania jest mniej więcej taki sam dla jednego lub wielu garbów o takim samym kształcie.

Zgrzewanie garbowe jest szczególnie użyteczne w celu uzyskania jednocześnie kilku zgrzein punktowych.

Do pierścieniowego zgrzewania garbowego dostępne są różne rodzaje elementów mocujących, na przykład kotki, śruby, sworznie, nakrętki i podkładki.

### 2.2.4 Spawanie elektrożuźlowe: ESW



Zasada procesu spawania elektrożuźlowego

Metoda spawania elektrożuźlowego została opracowana w Instytucie Spawania Elektrycznego im. E.O.Patona na Ukrainie, na początku lat 50.

Spawanie elektrożuźlowe jest procesem jednościgowym stosowanym do wykonywania spoin czołowych w pozycji pionowej. Złącza o grubości powyżej 15 mm (bez górnego ograniczenia) mogą być wykonywane jednym przejściem, przy czym wymagane jest przygotowanie prostego brzegu złącza. Metoda ta jest podobna do pionowego odlewania, ponieważ stopiony metal spoiny jest zawarty pomiędzy dwoma spawanymi płytami i parą chłodzonych przykładek miedzianych.

Oprócz samego momentu rozpoczęcia spawania elektrożuźlowego, nie ma tutaj zjawiska łuku. Elektrody podawane w sposób ciągły topią się w procesie nagrzewania rezystancyjnego przy przechodzeniu przez przewodzącą warstwę stopionego żużla (kąpiel żuźlowa).

Kąpiel żuźlowa topi również przylegające

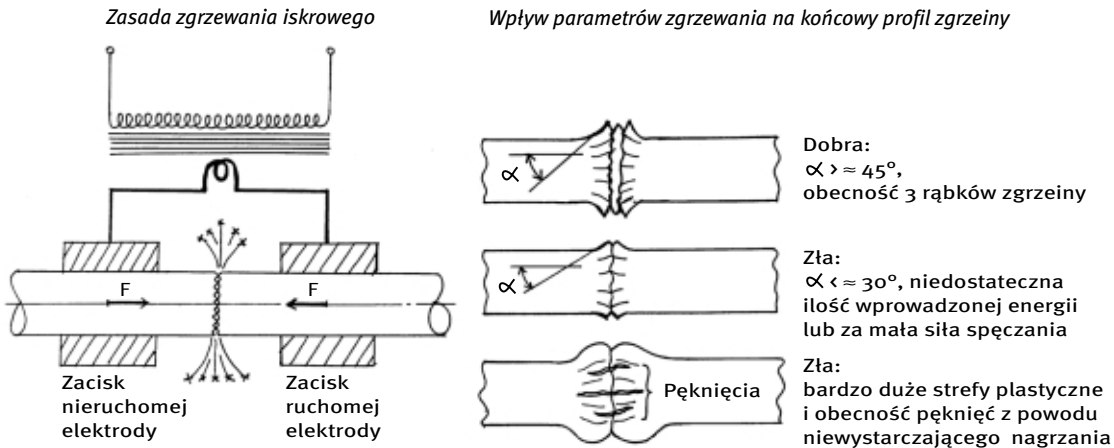
brzegi spawanej płyty i chroni stopiony metal przed wpływem atmosfery. Temperatura kąpeli wynosi około 1.900°C.

Aby rozpocząć proces elektrożuźlowy, na dnie złącza umieszczany jest topnik i zajarza się łuk pomiędzy elektrodami a blokiem lub podkładką, w celu przygotowania kąpeli żuźlowej.

W miarę postępu procesu spawania, przykładki miedziane oraz zespół podawania drutu przesuwać się w górę złączy z prędkością około 30 mm/min. Współczynnik stopienia metalu wynosi około 350 g/min. Skład drutu spawalniczego zazwyczaj odpowiada składowi metalu podstawowego. Najczęściej spotykane wielkości średnic elektrod to: 1,6 mm, 2,4 mm i 3,2 mm.

Struktura metalograficzna połączeń elektrożuźlowych jest odmienna niż w innych połączeniach spawanych. Powolne chłodzenie i krzepnięcie może prowadzić do powstawania struktury gruboziarnistej. Z tego właśnie powodu, technologia ta jest zalecana tylko do stali austenitycznych.

### 2.2.5 Zgrzewanie iskrowe: FW (\*)



Technika ta jest stosowana przede wszystkim do długich elementów, na przykład prętów, rur i kształtowników. Chociaż zgrzewanie iskrowe jest podobne do doczołowego zgrzewania rezystancyjnego, jest ono w rzeczywistości całkowicie różne. W trakcie doczołowego zgrzewania rezystancyjnego zaobserwowano, że ilekroć brzegi czołowe nie są w doskonałym kontakcie, prąd przechodzi tylko przez kilka małych obszarów, co prowadzi do intensywnego lokalnego nagrzewania i szybkiego topienia, tworząc łuki, które gwałtownie wyrzucają stopiony metal ze złącza, z powodu związanych z tym pól magnetycznych (zjawisko wyiskrzania).

Do istotnych parametrów tej metody należą: prąd zgrzewania oraz napięcie, które musi być wystarczające dla spowodowania wyiskrzania, chwilowa prędkość wyiskrzania, która musi być proporcjonalna do zużycia

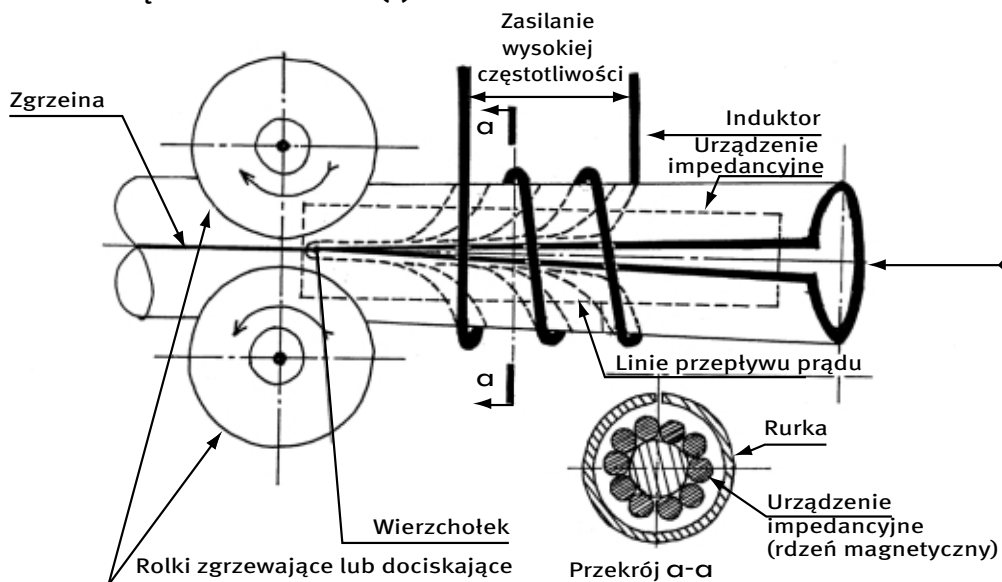
metalu i skompensowana przez przesuw ruchomych zacisków, czas trwania wyiskrzania oraz etap końcowego spęczenia. Szorstkość początkowych powierzchni stykowych złącza musi być tego rzędu, aby zapewnić wystarczającą ilość dobrze rozłożonych punktów styku w celu wytworzenia równomiernego iskrzenia na całej powierzchni złącza.

Po spęczeniu, profil złącza winien wykazywać charakterystyczny profil trójżebrowy wskazujący na przeprowadzenie właściwej operacji zgrzewania. Zalecane parametry zgrzewania stali austenitycznych w funkcji powierzchni przekroju podano w poniższej tabeli.

Niektóre typowe zastosowania to: obręcze kół (rowerów) wytwarzane z pierścieni zgrzewanych iskrowo, prostokątne ramy (okien i drzwi) itp.

Grubość (mm)	Powierzchnia przekroju (mm <sup>2</sup> )	Początkowy odstęp szczęk zgrzewarki (mm)	Końcowy odstęp szczęk zgrzewarki (mm)	Ubytek materiału (wyiskrzanie i spęczanie) (mm)	Czas iskrzenia (s)
2.0	40	13	5	8	2.2
5.0	570	25	7	18	6.0
10.0	1700	40	15	25	17.0

**2.2.6 Zgrzewanie indukcyjne prądami wysokiej częstotliwości: HFIW (\*)**



Zasada zgrzewania indukcyjnego prądami wysokiej częstotliwości

Zgrzewanie indukcyjne prądami wysokiej częstotliwości jest zasadniczo stosowane do wytwarzania rur z taśm. Proces ten jest realizowany przez system profilowania wielorolkowego. Po wyjściu z ostatniego zestawu rolek rura zawiera podłużną szczelinę, która jest zamykana przez zgrzewanie. Złącze jest formowane przez utworzenie styku w stanie stałym z pośrednim topieniem, gdy brzegi taśmy zostają zbliżone do siebie przez parę poziomych rolek (rolki dociskające).

Z powodu zjawiska naskórkowości, induk-

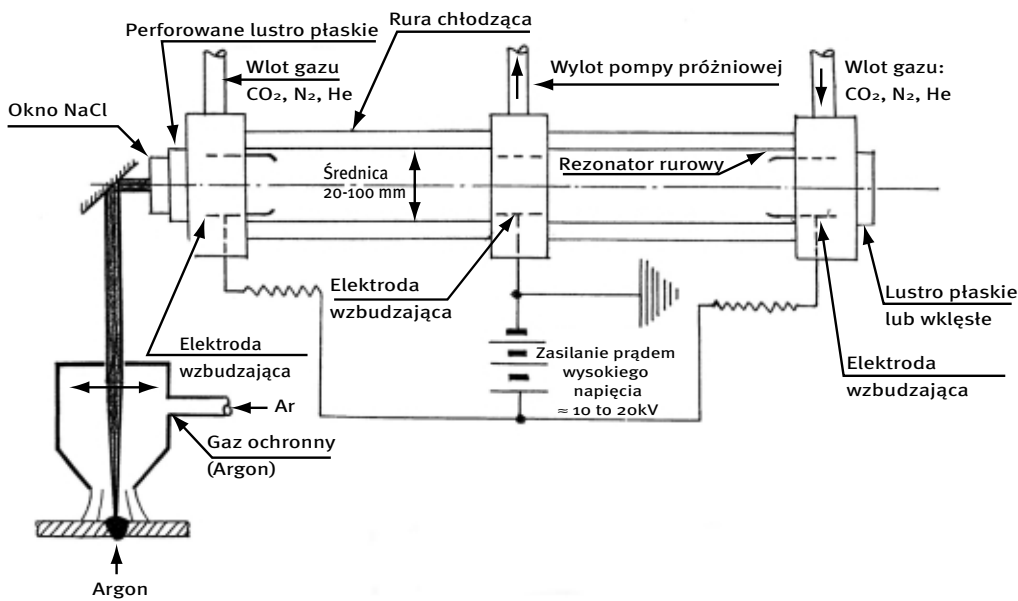
wany prąd wysokiej częstotliwości (140 Hz do 500 Hz) podąża drogą minimalnej impedancji, koncentrując ciepło na brzegach.

W przypadku **ferrytycznych stali nierdzewnych**, ta bardzo wydajna metoda pozwala uniknąć zjawiska rozrostu ziarn, na które gatunki te są podatne.

W tym przypadku, stosuje się moc zgrzewania od 150 kW do 300 kW w zależności od średnicy rur, a prędkość zgrzewania waha się od 50 m/min do 90 m/min.

## 2.3 Metody wykorzystujące energię promieniowania (\*)

### 2.3.1 Spawanie laserowe: LBW



Zasada lasera CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He) stosowanego do spawania

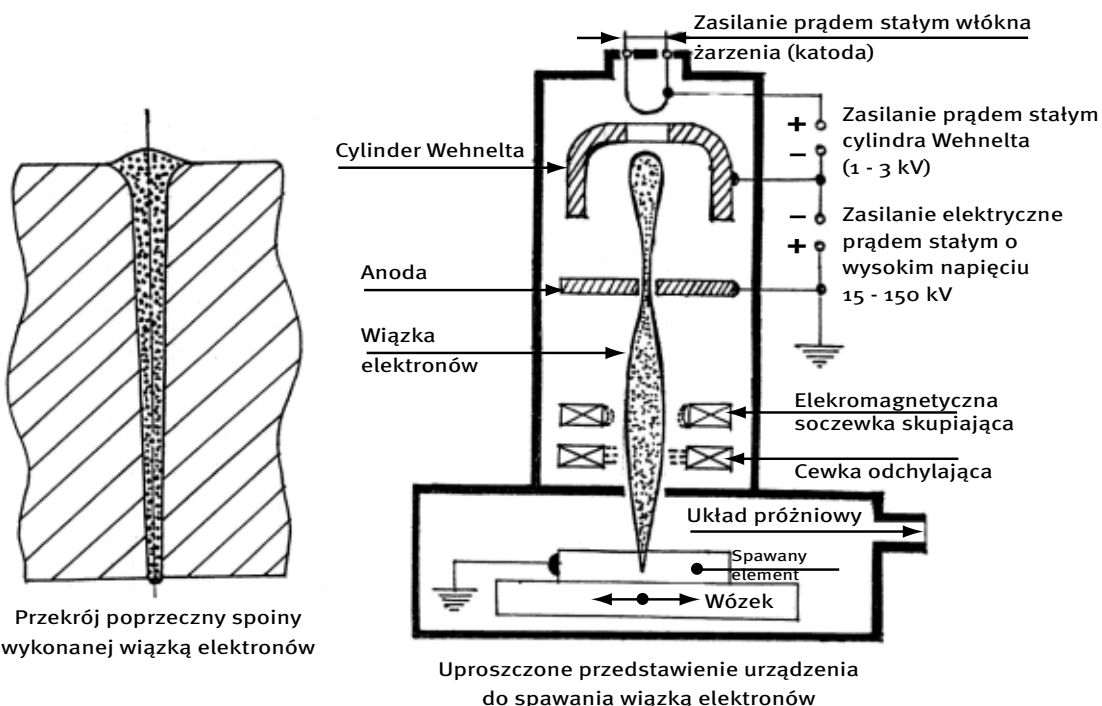
Efekt laserowy w zakresie długości fali optycznej został odkryty przez Maimana w 1958 r. Natychmiast pojawiła się możliwość wykorzystania wiązki laserowej w spawalnictwie jako bezstykowego źródła energii o dużym natężeniu i stopniu skupienia. Dostępne poziomy ciągłej mocy są szczególnie wysokie dla laserów CO<sub>2</sub>, chociaż należy pamiętać, że efektywna moc wykorzystana do spawania zależy od współczynnika odbicia spawanego materiału, dla danej padającej długości fali.

Źródłami najczęściej stosowanymi do spawania są lasery gazowe CO<sub>2</sub> oraz lasery typu YAG (laser itrowo-aluminiowy). Lasery typu YAG nadają się szczególnie do spawania cienkich blach ze stali nierdzewnej

( $\leq 1,5$  mm) w pulsacyjnym trybie pracy. Lasery CO<sub>2</sub> są bardziej przydatne do spawania blach lub taśm ze stali nierdzewnej o większej grubości (1,5 - 6,0 mm).

Podobnie jak w przypadku zgrzewania indukcyjnego prądami wysokiej częstotliwości (HFIW), metoda ta jest szeroko stosowana w produkcji rur wzdłużnie spawanych. Przy mocy około 6 kW, taśma o grubości 2 mm ze stabilizowanej stali ferrytycznej o zawartości 17% chromu może być spawana z prędkością około 7 m/min, a ponieważ cykl cieplny jest bardzo krótki, zjawisko rozrostu ziarn w strefie wpływu ciepła jest wyjątkowo ograniczone.

### 2.3.2 Spawanie wiązką elektronów: EBW



Przekrój poprzeczny spoiny wykonanej wiązką elektronów

Zasada spawania wiązką elektronów

Uprozczone przedstawienie urządzenia do spawania wiązką elektronów

Do spawania wiązką elektronów wykorzystuje się energię ze skoncentrowanej wiązki elektronowej o wysokiej prędkości, która zderza się z materiałem podstawowym. Przy wysokiej energii wiązki, można wytopić otwór na wskroś materiału i wykonywać spoiny z pełnym przetopem z prędkością rzędu 20 m/min.

Za pomocą spawania wiązką elektronów można wykonywać głębokie i cienkie spoiny z wąskimi strefami wpływu ciepła. Stosunek głębokości do szerokości jest rzędu 20:1.

Spoiny powstają w próżni, która eliminuje zanieczyszczenie jeziora spawalniczego przez gazy. Próżnia nie tylko zapobiega zanieczyszczeniu spoiny, ale również pozwala na powstanie stabilnej wiązki. Skoncentrowany charakter źródła ciepła powoduje, że metoda ta szczególnie nadaje się do spawania stali nierdzewnych. Dostępna moc może tu być łatwo kontrolowana, a ta sama spawarka może być wykorzystana do spawania jednowarstwowego stali nierdzewnych o grubości od 0,5 mm do 40 mm.



## 3. Spawalność stali nierdzewnych

### 3.1 Austenityczne stale nierdzewne: Fe-Cr-Ni (Mo)-(N)

#### ► Struktury zawierające kilka procent ferrytu (często spotykane)

- Niepodatne na gorące pękanie
- Dobra odporność na korozję międzykrystaliczną w przypadku gatunków niskowęglowych i stabilizowanych.
- Doskonała udarność i ciągliwość
- Kruchość może pojawić się po dłuższej ekspozycji na działanie temperatury między 550°C a 900°C z powodu rozkładu ferrytu tworzącego fazę sigma.

#### ► Struktury w pełni austenityczne (wyjątkowe)

- Podatne na gorące pękanie w trakcie krzepnięcia
- Dobra odporność na korozję międzykrystaliczną w przypadku gatunków niskowęglowych i stabilizowanych
- Doskonała udarność i ciągliwość.

### 3.2 Ferrytyczne stale nierdzewne: Fe-Cr-(Mo-Ni-V)

#### ► Gatunki półferrytyczne: 0,04% C - 17% Cr

- Skłonne do wzrostu kruchości w wyniku rozrostu ziarn w temperaturze powyżej 1150°C
- Niska udarność i ciągliwość
- Skłonne do korozji międzykrystalicznej
- Obróbka cieplna w temperaturze około 800°C przywraca właściwości mechaniczne i odporność na korozję międzykrystaliczną.

#### ► Gatunki ferrytyczne: 0,02% C – 17-30% Cr – (stabilizowane Ti, Nb)

- Podatne na kruchość poprzez rozrost ziarn powyżej 1150°C
- Zadowalająca ciągliwość oraz lepsza udarność w porównaniu z gatunkami półferrytycznymi
- Zazwyczaj niewrażliwe na rozrost ziarna.

### 3.3 Stale nierdzewne austenityczno-ferrytyczne typu Duplex: Fe-Cr-Ni (Mo)-N

- Niepodatne na gorące pękanie
- Doskonała udarność i dobra ciągliwość w zakresie od – 40°C do 275°C
- Podatne na wzrost kruchości w wyniku obecności fazy sigma, gdy zostaną poddane działaniu temperatury między 500°C a 900°C.

### 3.4 Stale nierdzewne martenzytyczne: Fe-Cr-(Mo-Ni-V)

- Podatne na pękanie na zimno, w zależności od zawartości węgla i wodoru oraz poziomu naprężenia pozostającego, w temperaturze poniżej około 400°C (zaleca się zazwyczaj wstępne podgrzewanie i wygrzewanie po spawaniu)
- Wysoka wytrzymałość na rozciąganie i twardość. Dobra udarność, szczególnie w przypadku gatunków niskowęglowych.

## 4. Dobór gazów ochronnych do spawania stali nierdzewnych <sup>(1)</sup>

### 4.1 Wpływ gazu ochronnego na spawanie metodami: GTAW, PAW, GMAW, FCAW i LBW

Dobór gazów ochronnych ma istotny wpływ na następujące czynniki:

- skuteczność ochrony (kontrolowana atmosfera gazu ochronnego)
- metalurgię, własności mechaniczne (utrata pierwiastków stopowych, przechwytywanie gazów atmosferycznych)
- odporność na korozję (utrata pierwiastków stopowych, przechwytywanie gazów atmosferycznych, utlenianie powierzchni)
- geometrię spoiny ( kształt ściegu i wtopienia)
- wygląd powierzchni (utlenianie, rozpryski)
- stabilizację łuku i jego zajarzanie
- przenoszenie metalu (jeżeli występuje)
- środowisko naturalne (emisja dymów i gazów)

Interakcja pomiędzy procesem spawania oraz gazem ochronnym została opisana w sposób bardziej szczegółowy w § 2.

### 4.2 Dobór gazów ochronnych

Metoda spawania	Metoda spawania Gaz plazmowy	Gaz chroniący grań spoiny
GTAW	Ar Ar + H <sub>2</sub> (do 20%) <sup>(1)</sup> Ar + He (do 70%) Ar + He + H <sub>2</sub> <sup>(1)</sup> Ar + N <sub>2</sub> <sup>(2)</sup>	Ar N <sub>2</sub> <sup>(2)</sup> N <sub>2</sub> + 10% H <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>
PAW	Jak dla GTAW	Jak dla GTAW
GMAW	98% Ar + 2% O <sub>2</sub> 97% Ar + 3% CO <sub>2</sub> 95% Ar + 3% CO <sub>2</sub> + 2% H <sub>2</sub> <sup>(1)</sup> 83% Ar + 15% He + 2% CO <sub>2</sub> 69% Ar + 30% He + 1% O <sub>2</sub> 90% He + 7,5% Ar + 2,5% CO <sub>2</sub>	Jak dla GTAW
FCAW	Bez osłony 97% Ar + 3% CO <sub>2</sub> 80% Ar + 20% CO <sub>2</sub>	Bez osłony Jak dla GTAW
LBW	He Ar	Jak dla GTAW
Ar: argon; H <sub>2</sub> : wodór; He: hel; N <sub>2</sub> : azot; CO <sub>2</sub> : dwutlenek węgla		

(1) Mieszanek zawierających wodór nie można stosować do spawania stali nierdzewnych ferrytycznych, martenzytycznych i typu duplex.

(2) Do spawania nierdzewnych stali austenitycznych i typu duplex zawierających azot, do gazu ochronnego można dodać azot.

## 5. Proponowane materiały dodatkowe do spawania stali nierdzewnych

Materiał podstawowy			Materiały dodatkowe		
EN 10088		AISI <sup>(1)</sup>	EN 1600	EN 12072	EN 12073
Nazwa	Numer		Elektrody otulone <sup>(2)</sup>	Druty i pręty <sup>(3)</sup>	Drut proszkowy z rdzeniem topnikowym <sup>(4)</sup>
X5CrNi18-10	1.4301	304	E 19 9	G 19 9 L	T 19 9 L
X2CrNi18-9	1.4307	304 L	E 19 9 L	G 19 9 L	T 19 9 L
X2CrNi19-11	1.4306				
X5CrNiTi18-10	1.4541	321	E 19 9 Nb	G 19 9 Nb	T 19 9 Nb
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	316	E 19 12 2	G 19 12 3 L	T 19 12 3 L
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	316 L	E 19 12 3 L	G 19 12 3 L	T 19 12 3 L
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	316 Ti	E 19 12 3 Nb	G 19 12 3 Nb	T 19 12 3 Nb
X2CrNiMo18-15-4	1.4438	317 L	E 19 13 4 N L	G 19 13 4 L	T 13 13 4 N L
X10CrNi18-8	1.4310	301	E 19 9	G 19 9 L	T 19 9 L
X2CrNiN18-7	1.4318	301 L	E 19 9 L	G 19 9 L	T 19 9 L
X12CrNi23-13	1.4833	309 S	E 22 12	G 22 12 H	T 22 12 H
X8CrNi25-21	1.4845	310 S	E 25 20	G 25 20	T 25 20
X25CrNiMo18-15-4	1.4438	317 L	E 19 13 4 N L	G 19 13 4 L	T 13 13 4 N L
X2CrTi12	1.4512	409	E 19 9 L	G 19 9 L	T 13 Ti
X6Cr17	1.4016	430	E 17 or 19 9 L	G 17 or 19 9 L	T 17 or 19 9 L
X3CrTi17	1.4510	430 Ti / 439	E 23 12 L	G 23 12 L	T 23 12 L
X2CrMoTi18-2	1.4521	444	E 19 12 3 L	G 19 12 3 L	T 19 12 3 L
X2CrTiNb18	1.4509	441	E 23 12 L	G 23 12 L	T 23 12 L
X6CrMo17-1	1.4113	434	E 19 12 3 L	G 19 12 3 L	T 19 12 3 Nb
X2CrNiN23-4	1.4362	–	E 25 7 2 N L	G 25 7 2 L	T 22 9 3 N L
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	–	E 25 7 2 N L	G 25 7 2 L	T 22 9 3 N L
X12Cr13	1.4006	410	E 13 or 19 9 L	G 13 or 19 9 L	T 13 or 19 9 L
X20Cr13	1.4021	–	E 13 or 19 9 L	G 13 or 19 9 L	T 13 or 19 9 L
X30Cr13	1.4028	420	E 13 or 19 9 L	G 13 or 19 9 L	T 13 or 19 9 L

(1) AISI: American Iron and Steel Institute (Amerykański Instytut Żelaza i Stali)

(2) Elektrody otulone do ręcznego spawania łukowego stali nierdzewnych i żaroodpornych. Są dwa podstawowe rodzaje otuliny: zasadowa (B) lub wapniowa (prąd stały) oraz rutyłowa (R) lub zawierająca dwutlenek tytanu (prąd stały lub przemienny)

(3) Druty elektrodowe, druty i pręty do spawania łukowego stali nierdzewnych i żaroodpornych: G dla GMAW, W dla GTAW, P dla PAW, S dla SAW.

(4) Druty proszkowe z rdzeniem topnikowym do spawania łukowego z osłoną lub bez osłony gazowej stali nierdzewnych i żaroodpornych.

## 6. Przygotowanie do spawania łukowego

Typowe rodzaje złączy występujących przy spawaniu łukowym to: złącze doczołowe, złącze zakładkowe, złącze narożne, złącze grzbietowe i złącze teowe. Dobór właściwego złącza do określonego zastosowania będzie zależał przede wszystkim od następujących czynników:

- wymaganych własności mechanicznych złącza,
- gatunku spawanej stali,
- wielkości, kształtu i wyglądu spawanego zespołu,
- kosztu przygotowania i wykonania złącza.

Bez względu na rodzaj złącza, zasadniczą sprawą jest właściwe oczyszczenie łączonego materiału przed jego spawaniem, co pozwoli uzyskać spoiny o estetycznym wyglądzie i dobrych własnościach mechanicznych. W przypadku małych elementów, wystarczające jest zazwyczaj oczyszczenie za pomocą szczotki drucianej lub wełny ze stali nierdzewnej albo rozpuszczalnika chemicznego. W przypadku większych zespołów lub w produkcji fabrycznej bardziej ekonomiczne może być odtłuszczenie parowe lub czyszczenie w zbiorniku. W każdym przypadku, niezbędne jest całkowite usunięcie z łączonych powierzchni wszelkich tlenków, olejów, smarów, brudu oraz innych obcych ciał.

### 6.1 GTAW i PAW

**Złącze doczołowe o prostopadłych brzegach (spoina I)** jest najłatwiejsze do przygotowania i może być wykonane z zastosowaniem spoiwa lub bez niego, w

zależności od grubości spawanych elementów. Ustawienie elementów do spawania czołowego powinno zawsze być takie, aby zapewnić pełne (100%) wtopienie. Przy spawaniu materiału cienkiego bez dodatku spoiwa należy zwrócić szczególną uwagę, aby nie wystąpił brak wtopienia i aby nie dopuścić do przepalenia.

Tam, gdzie wymagane jest pewne wzmocnienie winno być stosowane **złącze grzbietowe z czołową spoiną brzeżną** zamiast złącza doczołowego ze spoiną I. Spawanie to stosuje się praktycznie tylko do stosunkowo cienkiego materiału (1,5 mm do 2,0 mm).

**Złącze zakładkowe** ma tę zaletę, że całkowicie eliminuje potrzebę przygotowania brzegów. Jedynym warunkiem wykonania dobrego złącza zakładkowego jest ścisłe przyleganie do siebie blach na całej długości wykonywanego złącza.

**Złącza narożne** są często stosowane w produkcji mis, skrzyń i wszelkiego rodzaju kontenerów. Konieczność stosowania spoiwa dla zapewnienia odpowiedniego nadlewu spoin na wszystkich narożnych złączach zależy od grubości materiału podstawowego. Należy zapewnić dobry styk łączonych elementów wzdłuż całej długości spoiny.

Wszystkie **złącza teowe** wymagają zastosowania spoiwa w celu uzyskania potrzebnego metalu spoiny. Gdy wymagane jest pełne (100%) wtopienie, należy zapewnić natężenie prądu spawania odpowiednie dla grubości materiału podstawowego.

**Złącza grzbietowe** są stosowane tylko w przypadku blach cienkich i nie wymagają użycia spoiwa. Przygotowanie tych złączy jest proste, lecz nie powinny być stosowane tam, gdzie będą poddane bezpośrednim obciążeniom rozciągającym, ponieważ ten rodzaj połączeń może ulec pęknięciu w grani, przy stosunkowo niewielkich naprężeniach.

## 6.2 GMAW

W złączach spawanych metodą GMAW odstęp progowy jak również kąty rowka V mogą być często zmniejszone w stosunku do tych, które są stosowane przy spawaniu metodą SMAW. Umożliwia to zredukowanie ilości metalu spoiny na jednostkę długości do 30% poprzez odpowiednie zaprojektowanie, które wymaga mniej spoiwa. Przy projektowaniu złączy spawanych metodą GMAW o wąskich rowkach, często należy zastosować wysoką gęstość prądu (przenoszenie natryskowe).

## 6.3 FCAW

W złączach ze spoinami czołowymi można zmniejszyć odstęp progowy i kąty rowka V, co często umożliwia zaoszczędzenie około 40% spoiwa użytego do wykonania złącza. Optymalny wybór złącza będzie często zależał od łatwości usuwania żużła przy spoinach wielowarstwowych.

Przy wykonywaniu spoin pachwinowych można stosować mniejsze ich wymiary dla zapewnienia tej samej wytrzymałości.

Głębokie wtopienie, jakie uzyskuje się przy spawaniu drutem proszkowym daje taką samą wytrzymałość jak spoina pachwinowa o większej grubości wykonana metodą SMAW elektrodą o niewielkiej zdolności wtopienia.

Druty proszkowe (FCAW) w porównaniu z elektrodami do spawania metodą SMAW często dają znaczne oszczędności kosztowe wynikające z: wyższego współczynnika stapiania, węższych rowków i czasami z wykonania dwóch ściegów przed przerwą na usunięcie żużla.

## 6.4 SAW

Otwarcia rowka są mniejsze w porównaniu do tych, jakie są wymagane dla innych metod spawania łukowego. Ściegi spoin są grubsze niż przy spawaniu elektrodami metodą SMAW. Dla układu bez uprzedniego wykonania ściegu w grani, często pożądane jest zastosowanie poduszki topnikowej utrzymywanej w miejscu przez miedzianą podkładkę chłodzącą lub przez podkładkę ceramiczną.

We wszystkich metodach nie jest wymagane ukosowanie brzegów przy grubości elementów spawanych do 3 mm, ale grubszy materiał podstawowy winien być zukosowany dla utworzenia rowka w kształcie "V", "U" lub "J".

## 7. Obróbka wykończeniowa złączy

Potrzeba obróbki wykończeniowej powierzchni odnosi się przede wszystkim do złączy spawanych łukowo. Złącza wykonane metodami zgrzewania rezystancyjnego, z wyjątkiem doczołowego zgrzewania iskrowego, zazwyczaj są użytkowane w stanie jak po zgrzewaniu lub po lekkim oczyszczeniu.

Po zakończeniu operacji spawania łukowego, obszar spoiny i otaczający go materiał podstawowy mogą być zanieczyszczone przez odpryski spawalnicze i powłokę tlenkową, w zależności od rodzaju złącza, grubości materiału i zastosowanej techniki spawania.

W celu uzyskania najwyższej odporności na korozję należy zwrócić baczną uwagę na operację wykończenia, aby usunąć wszelkie zanieczyszczenia powierzchni oraz nieregularności, które mogłyby stanowić miejsca działań korodujących przy ich użytkowaniu.

W pewnych zastosowaniach, tam gdzie kwestie odporności na korozję, higieny i estetyki są najważniejsze, może być konieczne usunięcie nadmiaru metalu spoiny i wypolerowanie strefy spoiny, aby nie odróżniała się od otaczającego metalu podstawowego.

Normalna obróbka wykończeniowa może stanowić jedną z poniższych operacji, zastosowanych pojedynczo lub w połączeniu, w zależności od techniki spawania i wymagań co do stopnia wykończenia:

- wykończenie mechaniczne przez młotkowanie, szczotkowanie, szlifowanie oraz polerowanie,

- trawienie kwasem, po którym następuje pasywacja oraz mycie.

### 7.1 Usuwanie żużla, rozprysków i tlenków

Żużel pozostały po spawaniu musi być usunięty przez staranne młotkowanie ze zwróceniem uwagi, aby nie powstawały wgniecenia lub szczyby na sąsiadującej powierzchni metalu. Rozpryski spawalnicze stanowią prawdopodobnie jedno z najtrudniejszych do usunięcia zanieczyszczeń, szczególnie w wypadku bardzo wypolerowanych blach. Z tego powodu zaleca się zazwyczaj, aby chronić powłokami z tworzyw sztucznych powierzchnie blachy przylegające do spoiny. Metoda ta ogranicza do minimum powierzchnię wymagającą obróbki wykończeniowej.

Warstewki tlenków oraz rozpryski spawalnicze można usunąć za pomocą szczotki drucianej ze stali nierdzewnej. Jeżeli stosuje się szczotkę drucianą ze stali innej niż nierdzewna, zanieczyszczenie cząstkami żelaza może prowadzić do powstania rdzy i zmiany koloru w czasie użytkowania.

Inną metodą usuwania żużla spawalniczego i rozprysków z ciężkich elementów jest piaskowanie. W procesie tym, cząstki ścierne (krzemionka, korund itp.) uderzają o elementy zespawane pod wysokim ciśnieniem powietrza lub wody.

## 7.2 Szlifowanie

Własności fizyczne stali nierdzewnych wymagają staranności w trakcie szlifowania, co zapobiegnie przegrzaniu i związanemu z tym przebarwieniu cieplnemu. Zjawisko to powstaje, gdy temperatura powierzchni przekracza 200°C. W procesie tym, powierzchnia elementu spawanego jest ścierana za pomocą tarczy szlifierskiej obracającej się z wysoką prędkością obwodową od 20 m/s do 80 m/s. Częstkami ściernymi są zazwyczaj tlenek glinu (korund) lub węgiel krzemu (karborund). Do operacji zgrubnego szlifowania, takich jak usuwanie nadmiaru grubości spoiny, stosuje się krążki cylindryczne o średnicy 100 mm - 200 mm o wielkości ziarna według numeru sita rzędu 40. W zależności od rodzaju spoiwa, prędkość obwodowa waha się od 25 m/s do 60 m/s. Dla operacji szlifowania wykończającego (na przykład dokładne wyrównywanie spoiny) stosuje się półsztywne lub elastyczne tarcze szlifierskie o średnicy od 150 mm do 250 mm i wielkości ziarna o numerze sita 80 - 120 i prędkości obwodowej od 12 m/s do 15 m/s.

## 7.3 Polerowanie

Polerowanie jest często spotykaną operacją wykończenia powierzchni. Normalna procedura polega na usuwaniu śladów szlifowania przy zastosowaniu materiału ściernego o numerze 180 - 320. Stosowane narzędzia (tarcze polerskie i krążki szmaciane) muszą być wykorzystywane tylko do stali nierdzewnych, aby uniknąć ryzyka zanieczyszczenia drobinami żelaza.

W porównaniu do innych materiałów, usuwanie materii wymaga w wypadku stali nierdzewnych dużej energii. Należy więc dołożyć starań aby uniknąć nadmiernego nagrzewania się (maksymalna temperatura rzędu 200°C), które może spowodować lekkie utlenianie powierzchni, co uniemożliwi utworzenie warstwy pasywnej. Nacisk wywierany przez krążek lub taśmę należy wyregulować na najniższym poziomie, tak aby uzyskać zadowalające polerowanie bez lokalnego przegrzewania.

## 7.4 Obróbka chemiczna

### 7.4.1 Wytrawianie

Przy niektórych metodach spawania, złącze zostaje pokryte warstwą kolorowego tlenku, który musi zostać usunięty, aby przywrócić zdolność do pasywacji. Można tu zastosować różne metody.

#### ► Kąpiel trawiąca dla gatunków austenitycznych:

- kwas azotowy 52% (36° Baumégo): 100 l
- kwas fluorowodorowy 65%: 20 l
- lub fluorek sodu: 30 kg
- woda: 900 l

#### ► Kąpiel trawiąca dla gatunków ferrytycznych:

- kwas azotowy 52% (36° Baumégo): 100 l
- kwas fluorowodorowy 65%: 10 l
- lub fluorek sodu: 15 kg
- woda: 900 l

Czas zanurzenia w temperaturze 20°C zazwyczaj wynosi od 15 minut do 3 godzin.

Aby zapobiec korozji metalu należy starannie kontrolować temperaturę kąpeli oraz czas zanurzenia. Po wytrawieniu, części muszą być obficie sputkane wodą wolną od chloru.

► **Pasty i żele wytrawiające:**

Stosowanie past lub żeli umożliwia ograniczenie obróbki do strefy spoiny. Ich skład może się różnić, ale często zawierają one kwas azotowy. Pasta lub żel jest nakładana pędzlem, a następnie strefa ta jest czyszczona szczotką drucianą ze stali nierdzewnej. Po wytrawieniu, strefa ta jest sputkiwana wodą.

#### 7.4.2 Pasywacja

Po wytrawieniu, metal nie jest chroniony i musi być utworzona nowa warstwa pasywna dla przywrócenia odporności na korozję.

► **Kąpiele pasywacyjne**

Części są zanurzane w kwaśnej kąpeli o następującym przybliżonym składzie:

- kwas azotowy 52% (36° Baumégo): 250 l
- woda: 750 l

Czas zanurzenia w temperaturze 20°C zazwyczaj wynosi od 15 minut do 1 godziny. Po pasywacji części muszą być starannie sputkane wodą.

► **Pasywacyjne pasty i żele**

Pasty i żele są stosowane do lokalnej pasywacji strefy spawania. Środek oparty o kwas azotowy jest nakładany na obrabianą

powierzchnię a następnie całkowicie usuwany przy pomocy szczotki ze stali nierdzewnej lub nylonowej, po czym następuje sputkanie wodą.

► **Dekontaminacja**

Różne operacje w stosunku do blachy mogą pozostawić na jej powierzchni drobiny bogate w żelazo, które muszą być usunięte. Chociaż cel jest inny, metody dekontaminacji są takie same jak przy pasywacji.

## 8. Bezpieczeństwo pracy

### 8.1 Porażenie elektryczne

Przy wszystkich operacjach ręcznego spawania łukowego, głównym niebezpieczeństwem jest porażenie elektryczne wynikające z kontaktu z nieosłoniętymi elementami obwodu spawania będącymi pod napięciem. Napięcie łuku wynosi od 10 do 40 woltów, ale ponieważ napięcie konieczne dla zajarzenia łuku może być wyższe, źródła mocy mają napięcie obwodu otwartego rzędu 80 V.

Chociaż napięcie to wydaje się niskie w stosunku do napięcia 220 V w gospodarstwach domowych, okazało się, że tylko napięcie poniżej 50 V prądu przemiennego oraz 120 V prądu stałego nie jest niebezpieczne dla zdrowych osób w suchym środowisku.



Poniższe wytyczne podają podstawowe zasady bezpieczeństwa i higieny pracy wymagane dla zapewnienia bezpiecznej pracy i zapobieżenia wypadkom.

- Obwody elektrody i części spawanej są pod napięciem, gdy urządzenie spawalnicze jest włączone. Nigdy nie należy dopuszczać do zetknięcia części obwodu będących pod napięciem z gołą skórą lub mokrym ubraniem. Spawacz może być zabezpieczony przed porażeniem elektrycznym przez odpowiednie ubranie, takie jak: rękawice, buty i kombinezon.
- Należy zawsze być odizolowanym od części spawanej i od ziemi, stosując suchą izolację przy spawaniu w wilgotnym pomieszczeniu lub na posadzce metalowej, szczególnie podczas spawania w pozycji siedzącej lub leżącej, gdy duży obszar ciała może być w kontakcie z przewodzącą powierzchnią.
- W celu ochłodzenia uchwytu elektrody nigdy nie należy zanurzać go w wodzie.
- Gdy spawarka jest wykorzystywana jako źródło energii do spawania zmechanizowanego, powyższe zasady odnoszą się również do elektrody, szpuli drutu elektrodowego, głowicy spawalniczej, dyszy i uchwytu do spawania półautomatycznego.

Inny rodzaj niebezpieczeństwa elektrycznego może powstać w przypadku błędzących prądów spawalniczych, które wracają do źródła innymi drogami niż przewód

spawalniczy. Na przykład, pomimo, że przewód powrotny jest odłączony, spawanie jest możliwe, gdy prąd powrotny płynie przez zabezpieczający przewód uziemiający źródło zasilania. Prądy błędzące mogą być, jeżeli chodzi o ich natężenie, porównywalne z prądem spawania, gdy izolacja przewodu powrotnego, który może mieć zwarcie przez inne przewody jest słaba lub wadliwa. Przy spawaniu konstrukcji budowlanych lub rurociągów, przewód powrotny prądu spawania winien być umieszczony jak najbliżej strefy spawania.

## 8.2 Dymy i gazy

Podczas spawania mogą wydzielać się dymy i gazy niebezpieczne dla zdrowia, które zanieczyszczają powietrze w pobliżu stanowiska pracy. Dla wyeliminowania spowodowanego tym ryzyka należy przedsięwziąć odpowiednie środki ostrożności. Jeżeli się nie da, to dymy i gazy muszą być odprowadzane u źródła ich powstawania stosując wentylację miejscową i/lub system odciągowy przy łuku, aby utrzymać je z daleka od strefy oddychania. Nie należy stosować aparatów do oddychania, dopóki nie zostaną wykorzystane wszystkie inne możliwości. Ogólnie można stwierdzić, że aparatura do ochrony dróg oddechowych jest wykorzystywana tylko jako wyposażenie tymczasowe, ale bywają takie okoliczności, w których oprócz wentylacji może być konieczne użycie środków ochrony osobistej.

## 9. *Glosariusz: terminy i definicje*

Nie należy spawać w sąsiedztwie oparów chlorowanych węglowodorów pochodzących z operacji odtłuszczenia, czyszczenia lub natryskiwania. Ciepło i promieniowanie pochodzące z łuku może reagować z oparami rozpuszczalnika i razem z innymi związkami drażniącymi tworzyć fosgen, gaz silnie toksyczny.

### 8.3 Promieniowanie łuku

Promieniowanie łuku może spowodować uszkodzenie oczu i oparzenia skóry.

- Podczas spawania lub obserwacji spawania łukiem otwartym należy stosować tarczę z odpowiednim filtrem i okienkiem szklanym w celu ochrony oczu przed promieniowaniem i iskrami. Soczewki filtru winny odpowiadać normom europejskim.
- Dla ochrony skóry przed promieniowaniem łuku należy stosować odpowiednie ubranie.
- Personel znajdujący się w pobliżu należy chronić, stosując odpowiednie ekrany oraz należy ostrzec pracowników przed obserwowaniem łuku i narażaniem się na jego promieniowanie i rozpryski gorącego metalu.

**Prąd przemienny:** Rodzaj prądu elektrycznego, który odwraca okresowo swój kierunek. W przypadku prądu o częstotliwości 50 Hz, prąd płynie najpierw w jednym kierunku a następnie w odwrotnym, zmieniając kierunek 50 razy na sekundę.

**Ugięcie łuku:** Odchylenie łuku od jego normalnej drogi w wyniku sił magnetycznych.

**Długość łuku:** Odległość od końca elektrody do punktu, w którym łuk styka się z powierzchnią spawanego elementu.

**Spoiwa łukowa liniowa:** Spoiwa liniowa wykonana metodą spawania łukowego (np. GTAW, PAW, GMAW, SMAW, SAW).

**Spoiwa łukowa punktowa:** Spoiwa punktowa wykonana metoda spawania łukowego (np. GTAW, GMAW).

**Spawanie łukowe:** Grupa metod spawania, w których ciepło do spawania uzyskuje się z łuku elektrycznego, z zastosowaniem lub bez zastosowania spoiwa.

**Współczynnik czasu jarzenia łuku:** Stosunek czasu jarzenia łuku do łącznego czasu, w którym moc jest dostępna.

**Spawanie automatyczne:** Proces spawania, w którym operacja ta jest głównie sterowana maszynowo.

**Biegunowość ujemna elektrody prądu stałego (DCEN):** Podłączenie przewodów w procesie spawania łukowego prądem stałym w taki sposób, że element spawany stanowi biegun dodatni a elektroda –

biegun ujemny łuku spawalniczego (np. GTAW, PAW).

**Biegunowość dodatnia elektrody prądu stałego (DCEP):** Podłączenie przewodów w procesie spawania łukowego prądem stałym w taki sposób, że element spawany stanowi biegun ujemny a elektroda – biegun dodatni łuku spawalniczego.

**Biegunowość odwrotna prądu stałego (DCRP) = DCEP**

**Biegunowość dodatnia prądu stałego (DCSP) = DCEN**

**Spawanie wiązką elektronów (EBW):** Metoda spawania, w której ciepło powstaje w wyniku zderzenia się skoncentrowanej wiązki elektronów o wysokiej prędkości z elementem spawanym. Spawanie to odbywa się zazwyczaj w komorze próżniowej.

**Spawanie elektrodużłowe (ESW):** Metoda spawania oparta na nagrzewaniu oporowym ( $Rl^2$ ) stopionego żużla przewodzącego elektryczność. Złącza (w układzie pionowym) o grubości powyżej 15 mm (bez górnej granicy ich grubości) mogą być spawane jednym przejściem stosując prostopadłe przygotowanie brzegów.

**Zgrzewanie iskrowe (FW):** Metoda zgrzewania, w której elementy zgrzewane (pręty, rury) są mocowane w specjalnym uchwycie i lekko ze sobą zetknięte. Prąd o wysokim natężeniu przechodzi przez zaciski i małe powierzchnie styku pomiędzy elementami zgrzewanymi są przegrzewane

do momentu, w którym następuje wyrzut stopionego metalu, to znaczy wyiskrzanie. Końcowym etapem jest wywarcie docisku i spęczenie złącza.

**Spawanie łukowe drutem proszkowym z rdzeniem topnikowym (FCAW):** Spawanie łukowe, w którym wykorzystywana jest ciągła elektroda (drut proszkowy). Ochrona łuku jest zapewniona przez topnik zawarty w drucie proszkowym. Dodatkową osłonę może stanowić mieszanka gazów dostarczana z zewnątrz.

**Spawanie łukowe elektrodą metalową w osłonie gazu (GMAW):** Spawanie łukowe, w którym wykorzystywana jest ciągła elektroda metalowa. Osłona łuku i jeziorka spawalniczego jest zapewniona całkowicie przez gaz dostarczany z zewnątrz.

**Spawanie łukowe elektrodą wolframową w osłonie gazu obojętnego:** GTAW lub spawanie metodą TIG: Metoda spawania łukowego w osłonie gazu obojętnego przy zastosowaniu nietopliwej elektrody wolframowej. W metodzie tej można stosować spoiwo lub nie.

**Zgrzewanie indukcyjne (IW):** Metoda zgrzewania, w której ciepło niezbędne jest uzyskiwane w wyniku rezystancji elementów łączonych wobec przepływu indukowanego prądu zgrzewania wysokiej częstotliwości (IHFW) lub indukowanego prądu zgrzewania niskiej częstotliwości (ILFW), przy zastosowaniu docisku. Efektem prądu zgrzewania wysokiej lub niskiej częstotliwości jest koncentracja ciepła w żądanym miejscu.

**Spawanie w osłonie gazów obojętnych:** Spawanie łukowe, w którym zarówno łuk, jak i jeziorko spawalnicze są osłonięte przed atmosferą przez medium, którym jest całkowicie (metody spawania GTAW, PAW) lub głównie (metody spawania GMAW, FCAW) gaz obojętny.

**Spawanie laserowe (LBW):** Metoda spawania, w której ciepło do spawania uzyskuje się ze skoncentrowanej i spójnej wiązki światła zogniskowanej na złączy.

**Spawanie łukiem plazmowym (PAW):** Metoda spawania łukowego w osłonie gazów obojętnych przy zastosowaniu nietopliwej elektrody wolframowej, w której plazma łuku jest zawężona dyszą dla wytworzenia strumienia plazmy o wysokiej energii.

**Zgrzewanie garbowe (PW):** Metoda zgrzewania, w której małe przygotowane garby na powierzchni elementów zgrzewanych są stapiane i zapadają się przy doprowadzeniu prądu z dwóch przeciwstawnych elektrod.

**Rezystancyjne zgrzewanie liniowe (RSEW):** Metoda zgrzewania, w której blachy są ściskane między dwoma elektrodami krążkowymi przesuwającymi się wzdłuż złącza, tworząc ciąg zgrzein punktowych.

**Rezystancyjne zgrzewanie punktowe (RSW):** Metoda zgrzewania, w której łączone blachy są zaciskane pomiędzy dwoma przeciwległymi elektrodami, pomiędzy którymi przez bardzo krótki czas następuje przepływ prądu o wysokim natężeniu.

**Zgrzewanie rezystancyjne:** Metoda zgrzewania, w której ciepło jest uzyskiwane przez elektryczne nagrzewanie rezystancyjne powierzchni styku łączonych elementów dociskanych do siebie i przez które przepływa prąd elektryczny.

**Ścieg graniowy:** Pierwszy ścieg wykonany w grani spoiny wielowarstwowej.

**Spawanie półautomatyczne:** Proces spawania, który jest częściowo sterowany maszynowo, ale wymaga ręcznego prowadzenia.

**Spawanie łukiem osłoniętym elektrodą metalową (SMAW) lub ręczne spawanie łukowe elektrodą metalową:** Spawanie łukowe otuloną elektrodą metalową o długości nie przekraczającej 450 mm i wykonywane przez operatora. Osłonę łuku uzyskuje się w wyniku rozkładu otuliny elektrody.

**Przypawanie kołków (SW):** Metoda spawania, w której ciepło pochodzi z łuku zajarzonego pomiędzy końcem kołka a elementem łączonym. Po osiągnięciu właściwej temperatury, dwa elementy są dociskane do siebie.

**Spawanie łukiem krytym (SAW):** Spawanie łukowe elektrodą metalową, w którym stosuje się drut elektrodowy. Łuk jest osłonięty topnikiem, którego część topi się tworząc usuwalny żużel pokrywający spoinę.

**Prędkość posuwu:** Względna prędkość przemieszczania elektrody w stosunku do powierzchni łączonego elementu.

**Napięcie:** Napięcie mierzone na zaciskach źródła prądu, które określa długość łuku. Rzeczywiste napięcie łuku będzie zawsze miało wartość niższą od zmierzonej na zaciskach.

**Ruch wahadłowy:** Technika układania stopiwa, w której elektroda przemieszcza się ruchem wahadłowym.

**Prąd spawania (ampery)**

## 9.2 Rodzaje połączeń spawanych

**Kąt ukosowania:** Kąt, pod którym brzeg elementu przygotowano do spawania.

**Ukosowanie:** Przygotowanie brzegu pod kątem.

**Podkładka płaska spoiny:** Materiał ułożony przy grani i wykorzystywany do kontroli wtopienia spoiny.

**Złącze doczołowe:** Złącze pomiędzy końcami lub brzegami dwóch czołowo usytuowanych elementów leżących w tej samej płaszczyźnie, (tzn. tworzących kąt pomiędzy jednym i drugim elementem zbliżony do 180°).

**Spoina czołowa:** Spoina, w której metal jest układany między brzegami złącza doczołowego.

**Złącze bez odstępu:** Złącze, w którym powierzchnie łączone (brzegi dwóch części) stykają się ze sobą podczas spawania.

**Wklęsła spoina pachwinowa:** Spoina pachwinowa, której lico jest wklęsłe.

**Złącze narożne:** Złącze pomiędzy końcami lub brzegami dwóch części tworzącymi kąt zawarty między 30° a 135°.

**Złącze krzyżowe:** Złącze, w którym dwie płaskie płyty są spawane do innej płaskiej płyty pod kątem prostym i w tej samej osi.

**Spoina zV (X):** Spoina czołowa, w której przygotowane brzegi obydwu elementów są podwójnie zukosowane, tak że strefa stopienia tworzy w przekroju kształt X.

**Złącze grzbietowe:** Złącze pomiędzy brzegami dwóch elementów ustawionych względem siebie pod kątem bliskim 0°.

**Przygotowanie brzegów:** Nadawanie kształtu prostokątnego, rowkowanie lub ukosowanie brzegu w celu przygotowania do spawania.

**Spoina pachwinowa:** Spoina o przekroju poprzecznym zbliżonym do trójkąta, łącząca dwie powierzchnie usytuowane pod kątem zbliżonym do prostego w złączu zakładkowym, teowym lub narożnym.

**Płaska spoina pachwinowa:** Spoina pachwinowa, której lico jest wklęsłe.

**Linia wtopienia:** Połączenie metalu spoiny z niestopionym materiałem podstawowym.

**Odstęp lub odstęp rowka:** Odległość w dowolnym przekroju poprzecznym między brzegami, końcami lub powierzchniami przeznaczonymi do połączenia.

**Strefa wpływu ciepła (HAZ):** Część materiału podstawowego bezpośrednio przylegająca do linii wtopienia, która nie została stopiona, lecz w której ciepło spawania miało wpływ na mikrostrukturę.

**Złącze:** Połączenie, które ma być spawane między dwoma lub większą ilością elementów albo pomiędzy dwoma lub większą ilością części jednego elementu.

**Złącze zakładkowe:** Złącze pomiędzy dwoma nakładającymi się elementami pod wzajemnym kątem zbliżonym do  $0^\circ$ .

**Złącze z odstępem:** Złącze, w którym łączone elementy są oddzielone od siebie w trakcie spawania za pomocą określonej szczeliny.

**Nawis:** Wystawanie metalu spoiny poza brzeg spoiny lub powierzchnię grani spoiny.  
**Wtopienie:** Głębokość, do której sięga strefa stopienia poniżej powierzchni spawanych elementów.

**Gardziel rowka:** Strefa, w której elementy łączone były najbliżej siebie przed spawaniem.

**Spoina V:** Spoina czołowa, w której przygotowane brzegi obydwu części są zukosowane w taki sposób, że przekrój strefy stopienia tworzy kształt V.

**Spoina I:** Spoina czołowa, w której powierzchnie czołowe łączonych elementów są mniej więcej prostopadłe do powierzchni łączonych elementów i są do siebie równoległe.

**Złącze teowe:** Złącze pomiędzy końcem lub brzegiem jednego elementu a płaszczyzną drugiego elementu, usytuowanych pod kątem zbliżonym do  $90^\circ$ .

**Spoina szczepna:** Mała spoina stosowana do wspomagania montażu lub do utrzymania zestawienia brzegów elementów w trakcie spawania.

**Grubość spoiny:** Minimalna grubość spoiny mierzona na linii biegnącej od grani i przechodząca przez punkt w środku pomiędzy jej brzegami.

**Podtopienie:** Rowek wytopiony w metalu podstawowym przyległy do brzegu spoiny i niewypełniony metalem spoiny.

**Złącze na Y:** Złącze między końcem lub brzegiem jednego elementu a powierzchnią czołową drugiego elementu, usytuowanych pod kątem między  $10^\circ$  a  $70^\circ$ .

**Lico spoiny:** Powierzchnia spoiny od tej strony, od której spoina została wykonana.

**Wtopienie spoiny:** Głębokość wtopienia lub stopienia zmierzona od wyjściowej powierzchni metalu podstawowego.

**Nadlew spoiny:** Metal spoiny natopiony na licu ponad wymaganą grubość spoiny.

### 9.3 Materiały dodatkowe do spawania

**Elektroda otulona:** Pręt do spawania otulony topnikiem (dla metody SMAW) stosowany do spawania łukowego i składający się z metalowego rdzenia, ze stosunkowo grubą otuliną, która osłania stopiony metal i stabilizuje łuk.

**Spoiwo:** Metal dodawany w trakcie spawania (lutowania twardego lub napawania).

**Pręt do spawania:** Spoiwo w postaci pręta (np. dla metody GTAW).

**Drut do spawania:** Spoiwo w postaci kręgu drutu (np. dla metody GMAW i SAW).

**Topnik:** Łatwotopliwy materiał stosowany do ochrony spoiny przed zanieczyszczeniem z powietrza, do stabilizacji łuku oraz do spełniania funkcji metalurgicznych (zapobieganie powstawaniu tlenków i innych niepożądanych substancji, ich rozpuszczanie i ułatwianie usuwania).

**Drut proszkowy z rdzeniem topnikowym:** Spoiwo w formie małej rurki z topnikiem zawartym w rdzeniu. Rdzeń dostarcza odtleniacze oraz materiały tworzące żużel, jak również może dostarczać gazy ochronne (niektóre druty proszkowe są drutami samoosłonowymi).

ISBN 2-87997-009-1