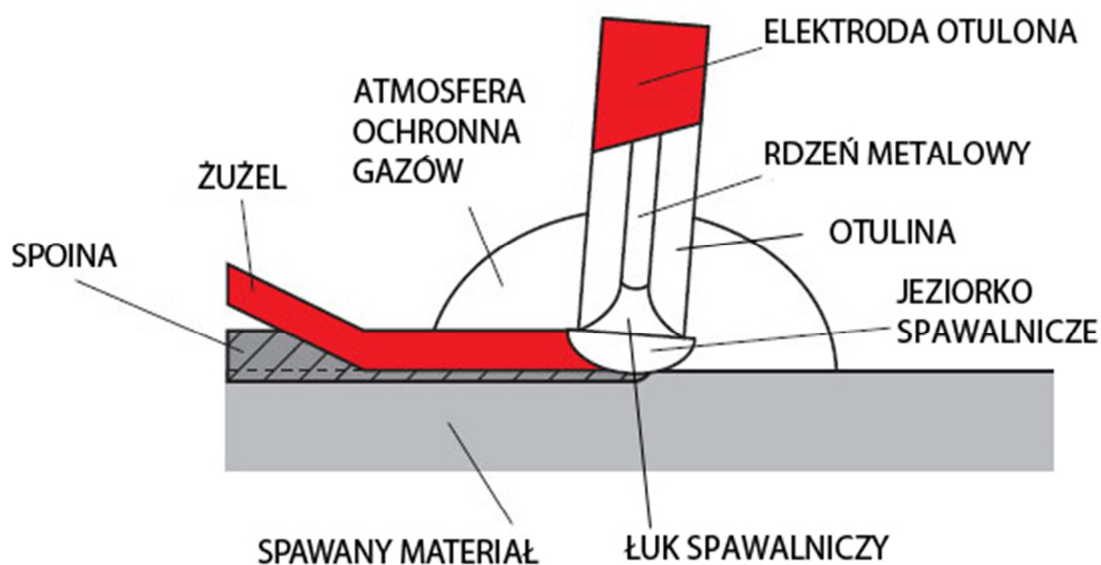


## OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SPAWANIA METODĄ MMA

Spawanie łukowe ręczne elektrodą otuloną jest procesem, w którym trwałe połączenie uzyskuje się przez stopienie ciepłem łuku elektrycznego topliwej elektrody otulonej i materiału spawanego. Łuk elektryczny jarzy się między rdzeniem elektrody pokrytym otuliną i spawanym materiałem (rys. 1). Elektroda otulona przesuwana jest ręcznie przez operatora wzdłuż linii spawania i ustawiona pod pewnym kątem względem złącza. Spoinę złącza tworzą stopione ciepłem łuku rdzeń metaliczny elektrody, składniki metaliczne otuliny elektrody oraz nadtopione brzegi materiału spawanego (rodzimego). Udział materiału rodzimego w spoinie, w zależności od rodzaju spawanego metalu i techniki spawania, wynosić może 10-40%.



Łuk spawalniczy może być zasilany prądem przemiennym lub prądem stałym z biegunowością ujemną lub dodatnią. Osłonę łuku stanowią gazy i ciekły żużel powstałe w wyniku rozpadu otuliny elektrody pod wpływem ciepła łuku. Skład osłony gazowej w zależności od składu chemicznego otuliny, stanowią  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  oraz produkty ich rozpadu. Spawanie rozpoczyna się po zajarzeniu łuku między elektrodą otuloną a spawanym przedmiotem; intensywne ciepło łuku, o temperaturze w środku łuku dochodzącej do 6000 K, stapia elektrodę, której metal przenoszony jest do jeziorka spoiny.



Przenoszenie metalu rdzenia elektrody otulonej w łuku spawalniczym może odbywać się w zależności od rodzaju otuliny.

Zajarzenie łuku odbywać się może przez zwarcie końca elektrody z przedmiotem i szybkie cofnięcie na wymaganą długość łuku lub wykonywanie końcem elektrody ruchów wahadłowych z pocieraniem o powierzchnię przedmiotu. Łuk zajarzamy w obrębie spawania, z wyprzedzeniem względem początkowego punktu spawania o około 10mm, a po ustabilizowaniu łuku cofamy go do punktu początkowego w celu rozpoczęcia normalnego spawania.

Do spawania łukowego elektrodą otuloną wykorzystuje się:

- · transformatory spawalnicze,
- · prostownikowe zasilacze spawalnicze,
- · przetwornice spawalnicze,
- · prądnice spawalnicze.

## **Elektrody**

Elektrody otulone do spawania łukowego ręcznego składają się z dwu elementów: rdzenia (metaliczna część elektrody w postaci drutu pełnego, drutu proszkowego, pręta lanego, spiekanego itp.) i otuliny.

Rdzenie elektrod do spawania stali węglowych są wykonywane ze stali niskowęglowej.



Rys.2 Przykłady elektrod



W skład otuliny elektrod wchodzi surowce mineralne, żelazostopy, metale oraz składniki organiczne w stosunku odpowiednim dla danego gatunku elektrody. Najczęściej stosowanymi surowcami mineralnymi do wytwarzania otuliny są rudy żelaza, manganu, tytanu, glinokrzemiany (np. kaolin, szpat polny, skaleń), węglany wapnia, magnezu, żelaza, związki fluoru (najczęściej fluoryt) oraz krzemionka (kwarcyt). Składniki organiczne, takie jak celuloza, mączka drzewna, krochmal, dekstryna itp., wprowadza się do otulin w stosunkowo niedużych ilościach, głównie w celu wytworzenia gazów osłaniających kąpiel spawalniczą przed atmosferą powietrza.

Grubość otulin elektrod może być różna. Najczęściej elektrody otulone są wykonywane jako grubo-, średnio- i cienkootulone.

Elektrody produkuje się najczęściej o średnicach 2; 2,5; 3,25; 4; 5 i 6 mm.

Średnicę elektrod określa się średnicą drutu rdzeniowego niezależnie od wielkości średnicy elektrody z otuliną. Elektrody do spawania konstrukcyjnych stali niskowęglowych i niskostopowych o średnicy od 3,25 mm wzwyż są produkowane najczęściej o długości 450 mm, a elektrody o średnicach poniżej 3,25 mm o długościach 200-7-350 mm.

Zasadnicze funkcje otuliny to:

Osłona łuku przed dostępem atmosfery,

- Wprowadzenie do obszaru spawania pierwiastków odtleniających, wiążących azot i rafinujących ciekły metal spoiny,
- Wytworzenie powłoki żużlowej nad ciekłym jeziorkiem i krzepnącym metalem spoiny,
- Regulacja składu chemicznego spoiny.
- Wszystkie te funkcje służą do zapewnienia wymaganej jakości i własności eksploatacyjnych złącza spawanego.



## Rodzaje elektrod

W zależności od składu otulin elektrody dzieli się głównie na elektrody: kwaśne, zasadowe, rutowe, utleniające, celulozowe.

**Elektrody kwaśne** są to elektrody o otulinie z dużą zawartością tlenków żelaza, tlenków manganu, tlenków krzemu i żelazomanganu lub innych składników odtleniających. Elektrody te mogą zawierać również w otulinie proszek żelaza. Elektrody kwaśne nadają się do spawania we wszystkich pozycjach przy użyciu prądu stałego i przemiennego. Przy spawaniu elektrodami o mniejszych średnicach i stosowaniu niższych natężeń prądu jest wymagane, w przypadku spawania prądem przemiennym, stosowanie transformatorów spawalniczych o napięciu stanu jałowego powyżej 65 V. Zaletą elektrod o otulinie kwaśnej jest możliwość stosowania prądu o dużej gęstości. Własności mechaniczne spoin wykonanych elektrodami kwaśnymi są wystarczająco dobre. Elektrody kwaśne należy stosować do stali niskowęglowych o dobrej spawalności, gdyż w przeciwnym przypadku w spoinach mogą wystąpić pęknięcia. Żużel z elektrod kwaśnych jest silnie porowaty. Elektrody kwaśne należy przed spawaniem suszyć w temperaturze ok. 120°C w ciągu ok. 1 h.

**Elektrody zasadowe** są to elektrody o otulinie z dużą zawartością węglanów wapnia i węglanów magnezu oraz fluorytu. Elektrody zasadowe nadają się do spawania we wszystkich pozycjach, spawa się nimi przeważnie prądem stałym, przy załączeniu elektrod do bieguna dodatniego. Produkowane są również elektrody zasadowe nadające się do spawania prądem stałym i przemiennym. Napięcie stanu jałowego transformatorów powinno być w tym przypadku możliwie wysokie, nie niższe niż 65 V. Elektrody zasadowe są stosowane przede wszystkim do spawania grubych przekrojów sztywnych konstrukcji, do spawania stali trudno spawalnych, stali niskostopowych o normalnej, podwyższonej i wysokiej wytrzymałości, stali pracujących w niskiej temperaturze. Spoiny wykonane elektrodami zasadowymi mają bardzo dobre własności mechaniczne, szczególnie własności plastyczne. Udarność tych spoin jest bardzo wysoka przy temperaturze normalnej i ujemnej. Elektrody zasadowe są skłonne do tworzenia pęcherzy przy spawaniu.



W związku z tym dla uniknięcia powstawania pęcherzy, elektrody zasadowe należy bezpośrednio przed spawaniem suszyć przy temperaturze 300-350°C w ciągu 2-3 h. Niektóre gatunki elektrod zasadowych należy suszyć nawet w temperaturze wyższej np. 400 - 420°C, szczególnie w przypadku spawania stali o podwyższonej i dużej wytrzymałości. Dokładne wysuszenie elektrod ma w tym przypadku na celu maksymalne zmniejszenie zawartości wodoru, który sprzyja powstawaniu pęknięć w spoinach. Żużel elektrod zasadowych jest ścisły, bez pęcherzy.

**Elektrody rutyłowe** zawierają w otulinie duże ilości rutyłu, tj. dwutlenku tytanu ( $\text{TiO}_2$ ). Elektrody te charakteryzują się bardzo dobrymi własnościami spawalniczymi, nadają się do spawania we wszystkich pozycjach przy użyciu prądu stałego i przemiennego. Zakres stosowania elektrod rutyłowych jest podobny jak elektrod kwaśnych. Elektrody rutyłowe stosować należy do spawania stali o dobrej spawalności, gdyż w innym przypadku mogą w spoinach powstać pęknięcia. Żużel elektrod rutyłowych jest porowaty. Elektrody rutyłowe należy przed spawaniem suszyć w temperaturze ok. 120°C w ciągu ok. 1 h.

**Elektrod celulozowych** służą do spawania stali konstrukcyjnych niskowęglowych i niskostopowych mogą być również stosowane elektrody o specjalnych właściwościach np. elektrody głębokowtaplające, o dużej wydajności, niskowodorowe, do spawania metodą grawitacyjną, do spawania cienkich blach

**Elektrody utleniające** Własności mechaniczne spoin wykonanych tymi elektrodami są stosunkowo niskie. Elektrod utleniających produkuje się bardzo mało.



Rys.3 Przykłady elektrod



## Oznaczenia elektrod

Elektrody otulone do ręcznego spawania łukowego oznaczają się literą E. Dzieli się je na dwie klasy w zależności od własności wytrzymałościowych stopiwa. Elektrody których stopiwo ma wytrzymałość na rozciąganie w granicach

430 - 510 MPa oznacza się symbolem 43

510 - 610 MPa oznacza się symbolem 51.

## Rodzaj otuliny oznacza się następującymi literami:

A — kwaśna,

AR — kwaśno-rutylowa,

B — zasadowa,

C — celulozowa,

O — utleniająca,

R — rutylowa (elektroda średniootulona),

RR — rutylowa (elektroda grubo-otulona),

S — inny rodzaj otuliny.

## Zależnie od przydatności do spawania :

1 — wszystkie pozycje,

2 — wszystkie pozycje z wyjątkiem pionowej przy układaniu spoiny na dół,

3 — podłna i naboczna,

4 — podłna,

5 — podłna, naboczna, naścienna, pionowa przy układaniu spoiny na dół.



W zależności od uzysku stopiwa, elektrody oznacza się następująco:

elektrody o uzysku stopiwa 105% — bez oznaczenia,

elektrody o uzysku stopiwa 105 - 115°/o — symbol 110,

elektrody o uzysku stopiwa 115 - 125% — symbol 120,

elektrody o uzysku stopiwa 125 - 135°/o — symbol 130.

## **Parametry spawania**

Przebieg procesu spawania w znacznym stopniu uzależniony jest od umiejętności operatora (spawacza). Ustalone w warunkach technologicznych spawania konkretnej konstrukcji parametry spawania stanowią dla operatora dane wyjściowe, do których dostosowuje swe doświadczenie spawalnicze i zdolności manualne.

Do podstawowych parametrów spawania elektrodą otuloną należą:

- Natężenie prądu
- Długość łuku
- Napięcie łuku,
- Prędkość spawania,
- Średnica elektrody i jej położenie względem złącza

a) Natężenie prądu. Katalogi wytwórców elektrod podają z reguły granice natężenia prądu dla elektrod danego gatunku w zależności od ich średnicy. Przy tej samej średnicy elektrody dla elektrody grubootulonej, zawierającej otulinie znaczną ilość proszku metalowego i przewodzącej prąd zarówno przez rdzeń, jak i przez otulinę, dopuszczalne natężenie prądu może być znacznie wyższe niż w przypadku elektrod cienkootulonych.



W razie braku danych katalogowych natężenie prądu dla spawania w pozycji podolnej może być w pewnym przybliżeniu ustalone w zależności od średnicy elektrody wg wzoru

$$I=(15 + 6d)d \text{ [A]}$$

gdzie d — średnica rdzenia elektrody, mm.

Lub w przybliżeniu przyjąć 30 - 40 [A] na 1mm średnicy rdzenia elektrody

Niższe o 10 - 20°/o natężenie prądu stosuje się w przypadkach spawania w pozycjach trudnych, zwłaszcza pionowej i sufitowej, spawania elementów cienkościennych, spawania części wstępnie podgrzanych i spawania elektrodami cienko- i średniootulonymi.

Zbyt wysokie natężenie prądu można rozpoznać po zwiększonym rozprysku płynnego metalu, silnym odsuwaniu żużla z powierzchni jeziora i nadmiernym nagrzewaniu się elektrody. Zbyt niskie natężenie prądu utrudnia zajarzenie łuku i wywołuje podpływanie żużla pod elektrodę, co może doprowadzić do gaśnięcia łuku na skutek zwarcia płynnym żużlem elektrody ze spawanym materiałem.



Rys.4 Widok napoiwy przed i po oddzieleniu żużla





b) Długość łuku elektrycznego. Długość łuku powinna wynosić 0,5 - 1,1 średnicy rdzenia elektrody. Przy zbyt krótkim łuku następują niepożądane zwarcia elektrody z przedmiotem spawanym. Przy spawaniu zbyt długim łukiem zwiększa się ujemne oddziaływanie powietrza atmosferycznego na płynny metal jeziora spawalniczego oraz następuje większe ugięcie łuku.

b) Napięcie łuku proporcjonalne jest do długości łuku i wywiera wyraźny wpływ na charakter przenoszenia metalu w łuku, prędkość spawania i efektywność układania stopiwa. Ze wzrostem napięcia łuku wzrasta jego energia i w efekcie objętość jeziora spoiny. Szczególnie wyraźnie zwiększa się szerokość i długość jeziora. Przy stałym natężeniu prądu podwyższenie napięcia łuku nieznacznie wpływa na głębokość wtopienia. Długość łuku regulowana jest przez operatora i zależy od jego umiejętności manualnych i percepcji wizualnej. Dobór napięcia łuku zależy od rodzaju elektrody, pozycji spawania, rodzaju i natężenia prądu oraz techniki układania ściegów spoiny.

c) Prędkość spawania jest prędkością, z jaką elektroda przesuwana jest wzdłuż złącza spawanego. Prędkość spawania rozpatrywana może być jako prędkość przemieszczania się końca elektrody, ale również jako prędkość wykonania jednego metra złącza i wtedy uwzględnione są wszystkie czasy pomocnicze, np. czas wymiany elektrody, oczyszczania poprzedniego ściegu itd.

Prędkość przesuwania łuku wzdłuż złącza zależy od:

- • Rodzaju prądu, jego biegunowości i natężenia,
- • Napięcia łuku,
- • Pozycji spawania,
- • Prędkości stapiania elektrody,
- • Grubość spawanego materiału i kształtu złącza,
- • Dokładności dopasowania złącza,



d) Średnica elektrody otulonej decyduje o gęstości prądu spawania, a przez to o kształcie ścięgu spoiny, głębokości wtopienia i możliwości spawania w pozycjach przymusowych. Zwiększenie średnicy elektrody, przy stałym natężeniu prądu, prowadzi do obniżenia głębokości wtopienia i zwiększenia szerokości spoiny. Prawidłowo dobrana średnica elektrody to ta, przy której dla prawidłowego natężenia prądu i prędkości spawania uzyskuje się spoinę o wymaganym kształcie i wymiarach, w możliwie najkrótszym czasie.

e) Pochylenie elektrody względem złącza pozwala na regulację kształtu spoiny, głębokości wtopienia, szerokości łoża i wysokości nadlewu. Pochylenie elektrody w kierunku przeciwnym do kierunku spawania powoduje, że siła dynamiczna łuku wciska ciekły metal jeziorka do przodu i maleje głębokość wtopienia, a wzrasta wysokość i szerokość łoża. Pochylenie elektrody w kierunku spawania powoduje, że ciekły metal wciskany jest do tylnej części jeziorka, wzrasta głębokość wtopienia, a maleje szerokość i wysokość łoża.

## Literatura

[1] Pod redakcją Prof. dr hab. inż. Jana Pilarczyka „Poradnik Inżyniera - [Spawalnictwo](#)” tom II, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005r.

[2] Pod redakcją Prof. dr hab. inż. Jana Pilarczyka „Poradnik Inżyniera - Spawalnictwo” tom I, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2003r.

[3] Edward Dobaj " Maszyny i urządzenia spawalnicze" Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005r

