

Program seminarium:

10.00-10.10 *Otwarcie seminarium*

Andrzej Ciepela

10.10-10.50 Stale Duplex - grupa wysoko wytrzymałych gatunków stali nierdzewnych

Mikael Willför

10.50-11.30 LDX 2101 i 2304 - wysoko opłacalne stale Duplex, jako alternatywa dla austenitycznych gatunków stali nierdzewnych

Fredrik Sjöholm

11.30-11.55 Osobliwości spawania ferrytycznych stali nierdzewnych oraz stali typu Duplex

Jerzy Niagaj

11.55-12.35 20 lat badań stali nierdzewnej na elementy konstrukcyjne: Aktualny stan rozwoju międzynarodowych prac badawczych, praktyczne zastosowania, obecne możliwości i nadchodzące wyzwania

Bassam Burgan

12.35-13.00 *Przerwa kawowa*

13.00-13.40 Pręty zbrojeniowe ze stali nierdzewnej w konstrukcjach **Juan José Fernández Fernández**

13.40-14.20 Promocja stali nierdzewnej we Włoszech – nowe obszary **Fausto Capelli**

14.20-15.00 Dlaczego gatunek stali 3CR12 jest tak wyjątkowy? Stal CS200 z 4% dodatkiem niklu - alternatywny wybór

John Nigel Tarboton

15.00-15.40 Zastosowania dla materiałów serii AL 201HP™

Olga Galitskaya, Mario Ruiz

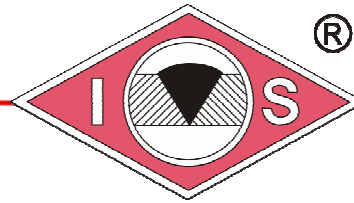
Od 15.40 *Panel dyskusyjny*

PARTNERZY:



PATRONI MEDIALNI:





Osobliwości spawania ferrytycznych stali nierdzewnych oraz stali typu duplex

dr inż. Jerzy Niagaj

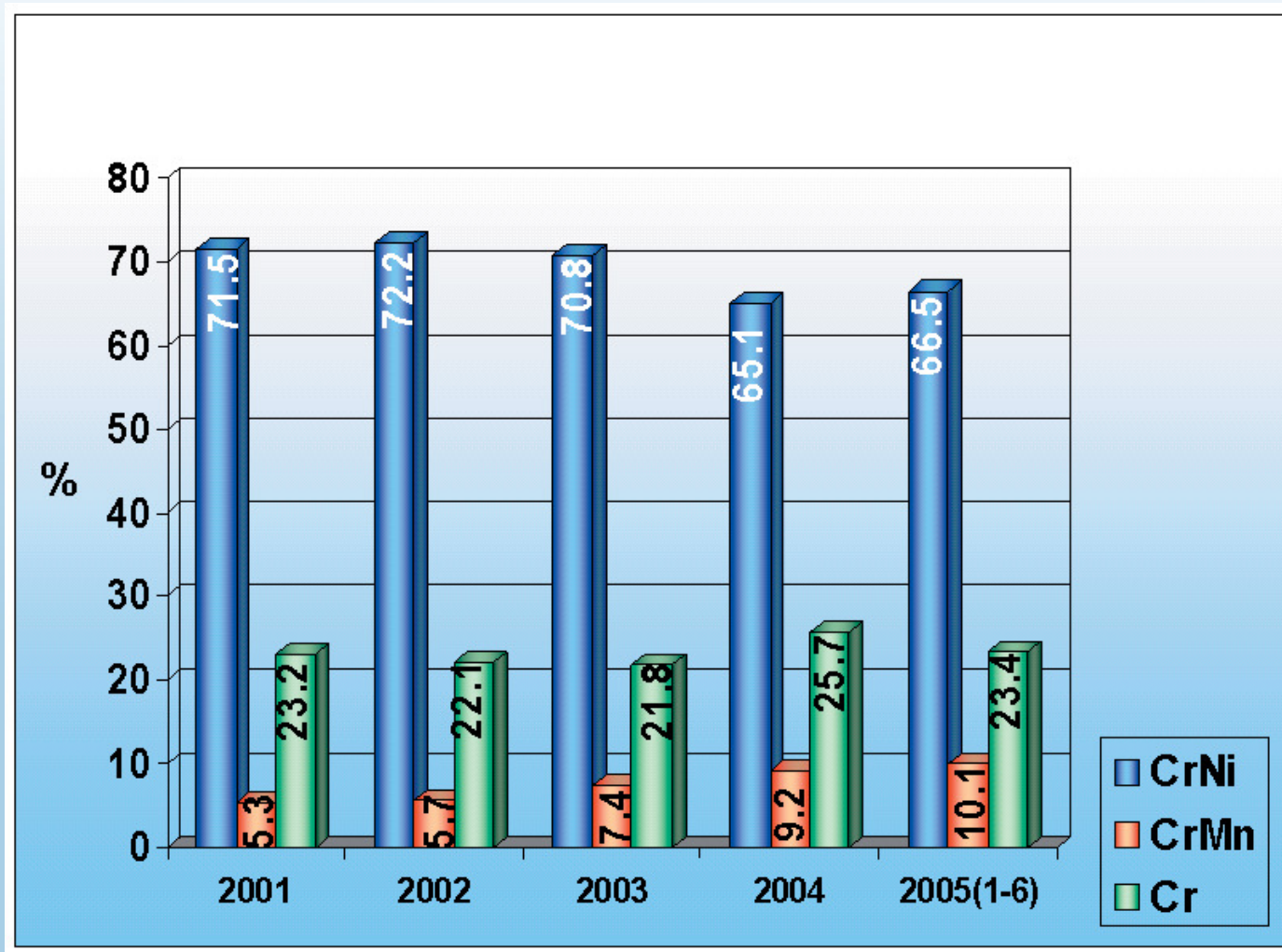


Klasyfikacja stali nierdzewnych

- **Austenityczne** - stale chromowo-niklowe lub chromowo-manganowe, cechujące się dużą odpornością korozyjną i zawierające zazwyczaj około 18 % Cr i 9 % Ni (stale typowe to: AISI 304 – EN 1.4301 określana potocznie jako 18-10 lub 18-8 oraz AISI 316 – EN 1.4401 z dodatkiem molibdenu)
- **Ferrytyczne** - stale ferrytyczne zawierają około 12 % lub 17 % Cr. Stale te pod względem własności wytrzymałościowych są podobne do stali średniostopowych, ale cechują się niższą odpornością korozyjną niż stale austenityczne. Stale te są magnetyczne.
- **Duplex (austenityczno-ferrytyczne)** - przy niedużej zawartości niklu (ok. 4-8 %) ich struktura składa się z około 50 % ferrytu i 50 % austenitu.
- **Martenzytyczne** - stale te, podobnie jak stale ferrytyczne, zawierają 12% lub 17% Cr, ale jednocześnie więcej węgla, co warunkuje ich wyższą wytrzymałość. Stale te są magnetyczne i hartujące się.



Zużycie stali nierdzewnych



J. Charles, "How to Select Appropriate Grades in Different Business Climates", Proceedings of the International Stainless Steel Forum Annual Conference and Meetings, Open Panel Session at Helsinki, Finland on 13th May 2005, Brussels, Belgium



Stale ferrytyczne

- brak niklu
- 100 % struktura ferrytyczna

Gatunki wg PN-EN 10088-2:

Podstawowe

X2CrNi12
X2CrTi12
X6CrNiTi12
X6Cr13
X6Cr17
X3CrTi17
X2CrMoTi18-2

Specjalne:

X2CrTi17
X2CrMoTi17-1
X6CrMoNb17-1
X2CrTiNb18
X6CrNi17-1



Podstawowe obszary stosowania stali ferrytycznych

- sprzęt AGD
- urządzenia gastronomiczne
- elementy dekoracyjne wewnątrz budynków
- środki transportu kołowego i szynowego
- windy
- elewacje zewnętrzne budynków



Osobliwości spawania stali ferrytycznych

Stale ferrytyczne są wrażliwe na przegrzanie podczas spawania.

W przypadku stosowania dużej energii liniowej, w SWC może nastąpić znaczący rozrost ziaren, któremu towarzyszy wzrost kruchości. Zwiększa się ponadto prawdopodobieństwo powstawania węglików na granicach ziaren, co z kolei powoduje pogorszenie własności plastycznych złączy spawanych.

Zwiększenie zawartości chromu zwiększa skłonność do procesów starzenia (kruchość 475 °C) w temperaturze 400÷525 °C.

W związku z powyższym, ferrytyczne stale nierdzewne cechują się ograniczoną spawalnością !



Sposoby spawania stali ferrytycznych

Spawanie stali ferrytycznych można dokonywać na dwa sposoby:

1. Z zastosowaniem materiałów spawalniczych o **składzie podobnym do składu chemicznego materiału podstawowego**.
2. Z zastosowaniem **austenitycznych** materiałów spawalniczych.



Podstawowe zalecenia dotyczące spawania stali ferrytycznych

Przy użyciu do spawania spoiw o składzie stali chromowej, zaleca się stosowanie

podgrzewania wstępnego w temperaturze 150÷180 °C,

a proces spawania należy prowadzić z zastosowaniem

minimalnej energii liniowej.

Po zakończeniu spawania zaleca się przeprowadzenie odpuszczania w temperaturze 700÷750 °C.



Podstawowe zalecenia dotyczące spawania stali ferrytycznych

Stale chromowe są podatne na korozję międzykrystaliczną w strefie wpływu ciepła (SWC). Odpuszczanie w temperaturze 730÷780 °C zwraca stali odporność korozyjną. Jednocześnie zwiększa się plastyczność metalu wokół spoiny, która uległa pogorszeniu w wyniku spawania.



Podstawowe zalecenia dotyczące spawania stali ferrytycznych

Przy zastosowaniu spoiw austenitycznych uzyskuje się spoiny cechujących się większą plastycznością i odpornością korozyjną. Należy jednak pamiętać, że:

wytrzymałość złączy zazwyczaj jest niższa od wytrzymałości materiału podstawowego !

Kolor spoin będzie ponadto różnił się od koloru materiału podstawowego.



Podstawowe zalecenia dotyczące spawania stali ferrytycznych

Przy zastosowaniu spoiw austenitycznych obróbka cieplna po spawaniu może być odsunięta w czasie, co jest szczególnie korzystne podczas prac montażowych.

Należy pamiętać, że złącze cechuje się niejednorodnością strukturalną, która potęguje się procesami dyfuzyjnymi, które zachodzą podczas eksploatacji wyrobów w podwyższonych temperaturach.



Podstawowe metody spawania stali ferrytycznych

- spawanie ręczne elektrodami otulonymi (MMA)
- spawanie elektrodą topliwą w osłonie gazów (MAG)
- spawanie elektrodą wolframową w osłonie argonu (TIG)
- spawanie łukiem krytym (SMAW)



Stale typu duplex

→ 50 % austenitu + 50 % ferrytu

Gatunki wg PN-EN 10088-2:

Podstawowe

X2CrNiN23-4
X2CrNiMoN22-5-3

Specjalne:

X2CrNiCuN23-4
X2CrNiMoN29-7-2
X2CrNiMoCuN25-6-3
X2CrNiMoN25-7-4
X2CrNiMoCuWN25-7-4
X2CrNiMoSi18-5-3



Skład chemiczny wybranych gatunków stali typu duplex

Gatunek wg EN 10088-2	Zawartość pierwiastków stopowych, [%]							
	C max	Mn max	Cr	Ni	Mo	N	Cu	W
X2CrNiN 23-4	0.03	2,0	22.0-24.0	3.5-5.5	0.1-0.6	0.05-0.20	0.10-0.60	-
X3CrNiMoN 27-5-2	0.05	2,0	25.0-28.0	4.5-6.5	1.3-2.0	0.05-0.20	-	-
X2CrNiMoN 22-5-3	0.03	2,0	21.0-23.0	4.5-6.5	2.5-3.5	0.10-0.22	-	-
X2CrNiMoCuN 25-6-3	0.03	2,0	24.0-26.0	5.5-7.5	2.7-4.0	0.15-0.30	1.0-2.0	-
X2CrNiMoN 25-7-4	0.03	2.0	24.0-26.0	6.0-8.0	3.0-4.5	0.20-0.35	-	-
X2CrNiMoCuWN 25-7-4	0.03	1.0	24.0-26.0	6.0-8.0	3.0-4.0	0.20-0.30	0.50-1.0	0.5-1.0



Podstawowe obszary stosowania stali typu duplex

- **konstrukcje przybrzeżno-morskie
„offshore”**
- **rurociągi**
- **urządzenia dla przemysłu chemicznego**
- **urządzenia dla rafinerii**
- **urządzenia dla przemysłu papierniczego**
- **chemikaliowce**



Osobliwości spawania stali typu duplex

Struktura dwufazowa stali typu duplex oraz zwiększona zawartość azotu (do 0,3÷0,5 %) powoduje prawie dwukrotne zwiększenie wytrzymałości w porównaniu z tradycyjnymi stalami austenitycznymi. Podwyższona zawartość azotu przyczynia się także do szybszego powstania austenitu podczas spawania.

Struktura dwufazowa tych stali warunkuje niską skłonność do powstania pęknięć gorących oraz zwiększoną odporność korozyjną.

Rozrost zierzen w strefie wpływu ciepła (SWC) jest istotnie ograniczony.



Osobliwości spawania stali typu duplex

Spawanie stali typu duplex może przebiegać za pomocą wszystkich metod spawania, stosowanych do łączenia stali austenitycznych.

Nadmieniając niedostatki stali duplex, należy wspomnieć o **skłonności do powstania w SWC kruchej fazy sigma σ** (475 °C). Tego można uniknąć poprzez regulowanie prędkości studzenia.



Spoiwa do spawania stali typu duplex

Dzięki zastosowaniu materiałów spawalniczych o odpowiednim składzie chemicznym stopiwa (z reguły o **podwyższonej zawartości w niklu i azotu**) można uniknąć powstania podwyższonej zawartości ferrytu w spoinie, która powinna mieścić się w zakresie od 22 do 70 %. Przy zastosowaniu odpowiednich materiałów spawalniczych, zawartość ferrytu mieści się w zakresie od 30 do 65 %.

Nie zaleca się spawania bez udziału spoiwa!



Ukosowanie brzegów podczas spawania stali typu duplex

W związku z mniejszą głębokością wtopienia oraz zwiększoną ciągliwością ciekłego metalu, próg na krawędziach ukosowanych brzegów podczas spawania stali typu duplex powinien być mniejszy niż podczas spawania stali austenitycznych.



Gazy osłonowe podczas spawania stali typu duplex

Podczas spawania metodą TIG w skład gazu osłonowego i formującego zaleca się wprowadzić azot N_2 . Prędkość spawania tą metodą jest nieco niższa niż podczas łączenia stali austenitycznych.

Podczas spawania metodą MIG/MAG zaleca się stosowanie łuku pulsującego. Jako gaz osłonowy można stosować mieszankę Ar z dodatkiem 30 % He i 2-3 % CO_2 . Hel zwiększa energię łuku, poprawia rozpląwność ciekłego metalu i nieco zwiększa szerokość spoiny.



Osobliwości przygotowania stali nierdzewnych do spawania

Podczas wykonywania wszystkich czynności związanych z przetwarzaniem stali nierdzewnych należy stosować urządzenia przeznaczone wyłącznie do przetwarzania tej grupy stali. Stale nierdzewne należy chronić przed wszystkimi materiałami, które mogłyby spowodować ich zanieczyszczenie, a w szczególności przed:

ołowiem, cynkiem, miedzią, stopami miedzi oraz stalami niestopowymi i niskostopowymi.

Do obróbki stali nierdzewnych należy stosować tylko takie narzędzia, które przeznaczone są dla stali nierdzewnych. Dotyczy to przede wszystkim tarcz ściernych i szczotek drucianych.

Wszystkie środki smarownicze, użyte w operacjach kształtowania stali nierdzewnych powinny być dokładnie usunięte z powierzchni wyrobów.



Mocowanie stali nierdzewnych przed spawaniem

Mocowanie stali nierdzewnych przed spawaniem jest operacją niezwykle ważną, ponieważ częściowo ogranicza odkształcenie łączonych elementów podczas spawania, będące skutkiem niskiego współczynnika przewodności cieplnej i dużego współczynnika rozszerzalności liniowej. W związku z powyższym mocowanie w pewnym stopniu zapobiega powstaniu niezgodności spawalniczych.

Mocowanie może odbywać się w specjalnych przyrządach lub za pomocą zacisków, jak również spoin szczepnych, które podczas spawania stali nierdzewnych powinny być dłuższe i rozmieszczone gęściej w porównaniu do spawania stali niestopowych lub niskostopowych.



Szczepianie stali nierdzewnych przed spawaniem

Spoiny szczepne są najczęściej wykonywane z zastosowaniem metod:

MMA lub **TIG**

Spoiny te powinny być przed spawaniem dokładnie oczyszczone i pozbawione wad w postaci:

pęknięć, zażużeń, pęcherzy i porów.



Ostona grani spoiny podczas spawania stali nierdzewnych

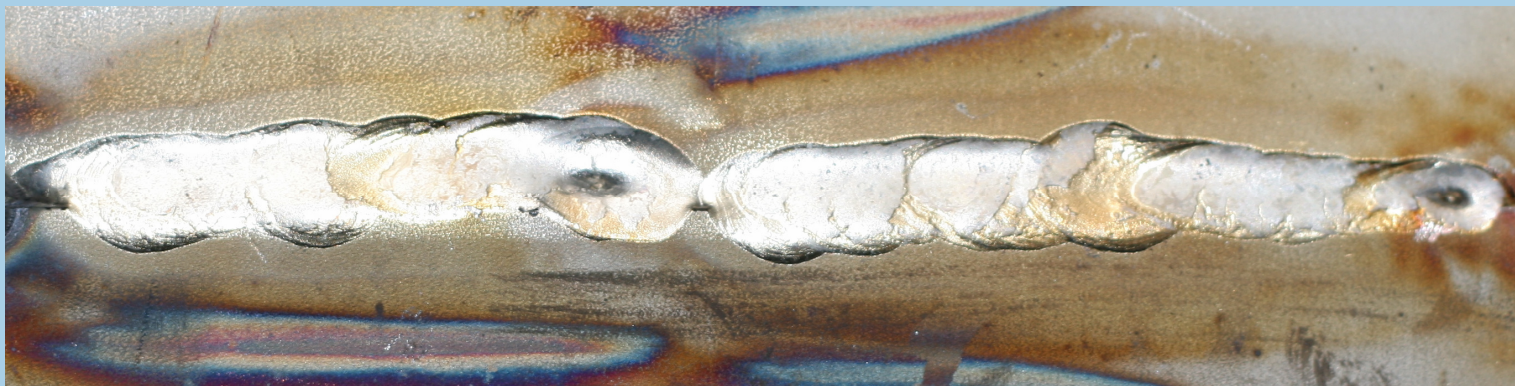
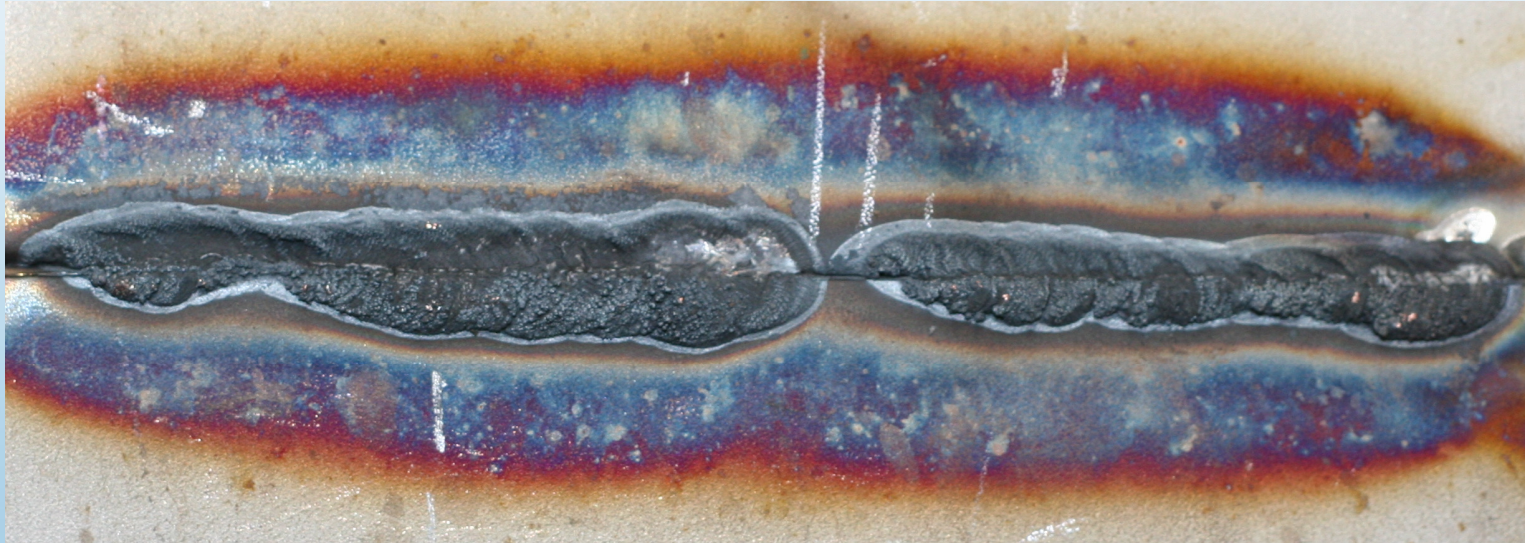
Jednym z podstawowych wymagań ogólnych, które należy spełnić podczas łączenia stali nierdzewnych, jest

ostona grani spoiny przed utlenianiem,

szczególnie podczas spawania metodą TIG (rzadziej MIG).



Skutki braku osłony grani spoiny podczas spawania stali nierdzewnych





Sposoby osłony grani spoiny podczas spawania stali nierdzewnych

- gaz formujący
- substancja chemiczna w postaci pasty
- podkładka miedziana
- podkładka ceramiczna
- podkładka topnikowa



Ośłona gazowa grani spoiny podczas spawania stali nierdzewnych

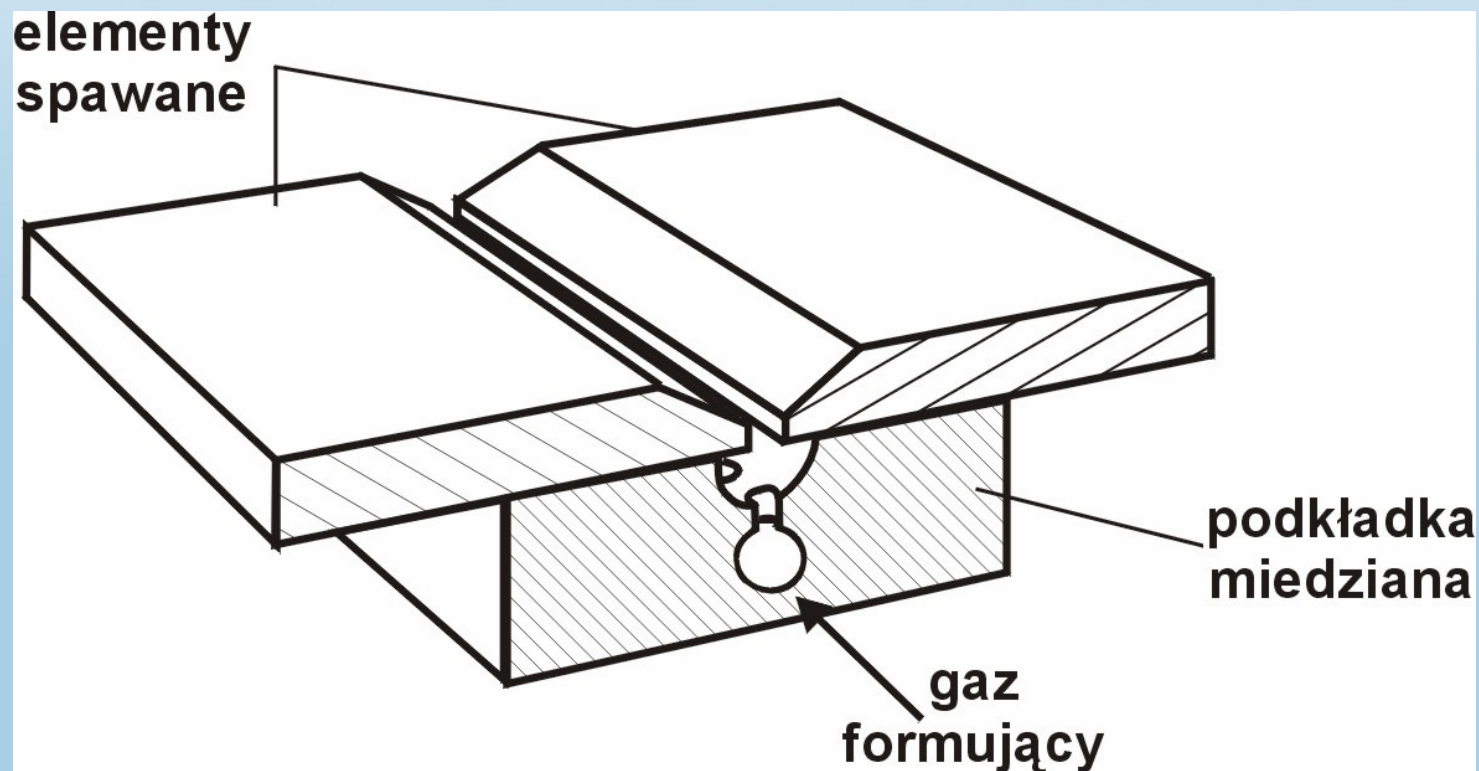
Jako gazy formujące podczas spawania metodą TIG (rzadziej MIG) stosuje się:

Ar i N₂

oraz ich mieszanki z wodorem

Ostona grani spoiny podczas spawania stali nierdzewnych

Za pomocą podkładki miedzianej z kanałem dostarczających gaz formującym





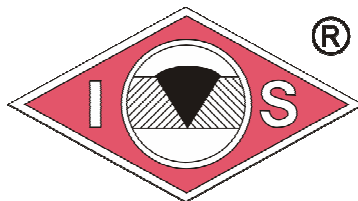
PODSUMOWANIE

- Stale ferrytyczne są trudnospawalne w związku z rozrostem ziaren, któremu towarzyszy zwiększenie kruchości.
- Do spawania stali ferrytycznych można stosować spoiwa o składzie zbliżonym do składu materiału podstawowego lub spoiwa austenityczne.
- Stale typu duplex są dobrze spawalne, należy jednak ściśle przestrzegać zaleceń technologicznych spawania w celu uniknięcia powstania w SWC kruchej fazy σ .



Instytut Spawalnictwa oferuje:

Doradztwo techniczne i
wszechstronną pomoc przy
wdrożeniu, próbach spawania oraz
badaniu i kwalifikowaniu technologii
spawania stali nierdzewnych z
zastosowaniem wszystkich metod, w
tym metody **A-TIG**.



INSTYTUT SPAWALNICTWA w Gliwicach

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ

dr inż. Jerzy Niagaj
e-mail: Jerzy.Niagaj@is.gliwice.pl

**ul. Błogosławionego Czesława 16/18
44-100 GLIWICE**

tel.: (032) 231-00-11; fax: (032) 231-46-52

<http://www.is.gliwice.pl>