

Andrzej KLIMPEL

Instytut Metaloznawstwa i Spawalnictwa

SPAWANIE W OSŁONACH GAZOWYCH BLACH
ZE STALI KONSTRUKCYJNEJ St36K
PLATEROWANYCH STALĄ CHROMOWĄ OH17T

Streszczenie. Przeprowadzono badania nad ustaleniem warunków spawania łukowego w osłonie gazów ochronnych blach ze stali konstrukcyjnej St36K, platerowanych stalą chromową OH17T o łącznej grubości 8 mm. Określono własności mechaniczne złączy spawanych przy użyciu różnych materiałów dodatkowych oraz przeprowadzono badania metalograficzne i odporności na korozję. Opracowana technologia znajduje zastosowanie w warunkach warsztatowych wytwarzania konstrukcji.

1. Wstęp

Deficyt niklu wskazuje, jako konieczność, stosowanie substytutów stali austenitycznych chromowo-niklowych w postaci stali ferrytycznych chromowych, które w wielu środowiskach agresywnych charakteryzują się nie niższą odpornością korozyjną od stali austenitycznych a w przypadku atmosfery zawierającej siarkę znacznie je odpornością przewyższają [1,2]. Zjawiska kruchości stali ferrytycznych chromowych pojawiające się w pewnych określonych warunkach powodują, że w praktyce chętniej korzysta się ze stali chromowo-niklowych. Analiza ekonomiczna kosztów konstrukcji zmusza jednakże do coraz szerszego stosowania tych stali na powłoki odporne na korozję. Ogólnie przyjmuje się, że przyczyną kruchości złączy spawanych ze stali ferrytycznych chromowych są [2-5]:

- rozrost ziarn w strefie wpływu ciepła złącza, wynikający z braku przemian fazowych stali,
- utwardzenie strefy wpływu ciepła spowodowane lokalnym utworzeniem martenzytu,
- kruchość 475°C,
- rozpad przesyconego roztworu stałego i powstałe stąd koherentne wydzielania,
- korozja międzykrystaliczna strefy wpływu ciepła złącza.

Spawanie stali o zawartości ok. 17% Cr wymaga zachowania szeregu warunków technologicznych, z których najważniejszymi są podgrzewanie wstępne i obróbka cieplna po spawaniu. Zalecana temperatura podgrzewania wstęp-

nego nie powinna przekraczać 200°C natomiast wyżarzanie złącza po spawaniu należy dokonać w zakresie temperatur 800-900°C [3,4,5,7,8].

Podłoże ze stali St36K, na którym ułożony jest plater ze stali OH17T, po wyżarzeniu w zakresie temperatur 800-900°C wykazuje wyraźny spadek wytrzymałości na rozciąganie, natomiast hartowanie stali St36K z wymienionego zakresu temperatur przyczynia się do wydatnego wzrostu własności wytrzymałościowych [7]. Ta sama obróbka dla plateru ze stali OH17T powoduje zwiększenie stopnia przesylenia roztworu stałego i wystąpienie kruchości [4]. Przytoczona analiza wskazuje na celowość spawania blach ze stali konstrukcyjnej węglowej platerowanych stałą ferrytyczną chromową, bez jakichkolwiek zabiegów cieplnych. Mała grubość warstwy plateru, zwykle 2-3 mm, nie wymaga podgrzewania wstępnego zalecanego dla tych stali [3,5].

Spawanie blach platerowanych musi być prowadzone bez obniżenia odporności korozyjnej plateru lub zmniejszenia własności mechanicznych złączy, co przy złożonym układzie metalurgicznym spoiny stawia przed technologią spawania szereg wymagań. Podstawowym z nich jest, aby metal stopowy warstwy plateru nie był nadmiernie rozcieńczony metalem niskowęglowym warstwy podłoża, gdyż może to doprowadzić do powstania pęknięć lub niekorzystnego wzrostu twardości [8]. Spawanie łukowe w osłonie gazów ochronnych pozwala uzyskać złącza spawane o najwyższej jakości a w przypadku metody TIG równocześnie gładkie i równe i co spoiny zapewniające jej dużą odporność korozyjną.

2. Przebieg badań

Badania nad ustaleniem optymalnych warunków spawania łukowego w osłonach gazowych blach platerowanych wykonano na blachach ze stali konstrukcyjnej St36K, platerowanych przez walcowanie stałą ferrytyczną chromową, stosując jako przekładkę żelazo Armco E05A. Całkowita grubość blach wynosiła 8 mm, w tym przekładki 0,5 mm a plateru 2 mm. Skład chemiczny badanych blach oraz materiałów dodatkowych podano w tablicy 1 a własności mechaniczne blach w tablicy 2.

Spawanie podłoża St36K wykonano automatycznie w osłonie CO₂ na urządzeniu As14c-800 przy użyciu drutu elektrodowego SP1GS o średnicy 2 mm. Plater OH17T spawano w osłonie argonu nietopliwą elektrodą wolframową (metoda TIG) na urządzeniu EGB-500, stosując jako materiały dodatkowe drut ze stali ferrytycznej chromowej H17T oraz austenitycznej OH17N17MS odpowiednio o średnicy 3,15 i 3 mm.

Optymalne parametry spawania ustalono w wyniku prób spawania płyt kontrolnych przeznaczonych do oceny własności mechanicznych oraz badań metalograficznych i odporności korozyjnej złączy. Jako kryterium doboru parametrów spawania przyjęto:

- prawidłowy kształt złącza (minimalna wysokość nadlewów),

- własności mechaniczne nie niższe od własności materiału rodzimego,
- odporność korozyjna nie mniejsza od właściwej dla materiału plateru.

Tablica 1

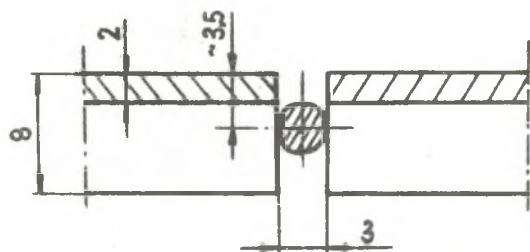
Skład chemiczny blach ze stali St36K platerowanych stalą OH17T oraz materiałów dodatkowych, stosowanych do spawania tych blach

Materiał	Rodzaj	Skład chemiczny %								
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Nr	Mo	Ti
St36K	blacha g=8 mm	0,12	0,50	0,27	0,004	0,003	0,12	0,08	-	-
ArmCo E05A		0,01	0,03	0,02	0,0001	0,0001	-	-	-	-
OH17T		0,08	0,36	0,43	0,022	0,012	17,40	0,12	-	0,75
SP1GS	drut Ø2,00	0,10	1,3	0,9	0,025	0,020	0,21	0,24	-	-
H17	drut Ø3,15	0,10	0,40	0,35	0,024	0,018	16,55	-	-	0,49
OH17N17MS	drut- Ø 3,0	0,03	0,77	0,46	0,020	0,015	16,89	17,03	7,90	0,30

Tablica 2

Własności mechaniczne blach ze stali St36K platerowanych stalą OH17T

Własności mechaniczne (średnie)				
Re (daN/mm ²)	Rm (daN/mm ²)	A5 %	Gięcie statyczne od strony α°	
			podłoża	plateru
37	49	29	180	180



Rys. 1. Sposób przygotowania blach platerowanych do spawania łukowego w osłonie gazowej ochronnych

metodą spawania w CO₂. Obliczenia optymalnej średnicy drutu wkładki, zapewniającej utrzymanie prawidłowego kształtu złącza oraz stanowiącej zapórę

Pomiędzy blachy przeznaczone do spawania o wymiarach 100x150x8 mm o krawędziach obrobionych mechanicznie wprowadzono wkładkę z drutu z żelaza Armco E05A (rys. 1), umożliwiającą regulację rozpuszczenia stopowej warstwy spoiny plateru w niskowęglowej warstwie spoiny podłoża. Drut ten mocowano punktowymi spoinami szczelnymi do jednej ze spawanych blach metodą

przed nadmierną dyfuzją węgla z warstwy spoiny podłoża do plateru, pozwoliły ustalić, że powinna ona wynosić 3 mm.

Jako pierwszą układano warstwę spoiny od strony plateru, ustalając parametry spawania tak, aby warstwa ta opierała się jedynie na wkładce, nie przetapiając jej. Po ustaleniu parametrów spawania warstwy plateru dla obu materiałów dodatkowych przeprowadzono badania parametrów spawania automatycznego warstwy spoiny podłoża w osłonie CO₂, zgodnie z założonym kryterium. Dodatkowo ustalono warunki spawania łukowego w osłonie gazów ochronnych bez wzajemnego stopienia warstw podłoża i plateru złączy, co ma zastosowanie np. przy wykonywaniu zbiorników stacjonarnych, gdzie wymagana jest jedynie dobra odporność korozyjna złączy. Optymalne parametry spawania łukowego w osłonie gazów ochronnych blach platerowanych podano w tablicy 3.

Tablica 3

Optymalne parametry spawania blach ze stali konstrukcyjnej St36K, platerowanej stalą chromową OH17T o grubości 8 mm

Oznaczenie złącza spawanego	Podłoże				Plater			
	I (A)	U (V)	V m/godz.	Q l/min	I (A)	U (V)	Q l/min	Materiały dodatkowe
I	440-460	38	30	20	230-240	20	12	H17T
II	380-400	32	40	20	220	20	12	H17T
III	440-460	38	30	20	230-240	20	12	OH17N17MB
IV	380-400	32	40	20	220	20	12	OH17N17MB

3. Wyniki badań złączy spawanych

Złącza kontrolne wykonane przy optymalnych parametrach spawania (tablica 3) poddano statycznej próbie rozciągania, zgodnie z normą PN-64/M-69713 oraz statycznej próbie gięcia, według normy PN-66/M-69723 z trzpieniem o średnicy $d = 2g$ przy gięciu od strony podłoża i $d = 4g$ przy gięciu od strony plateru. Badań udarności nie przeprowadzono z uwagi na brak odpowiedniej znormalizowanej próby dla bimetalu. Wyniki badań mechanicznych podano w tablicy 4.

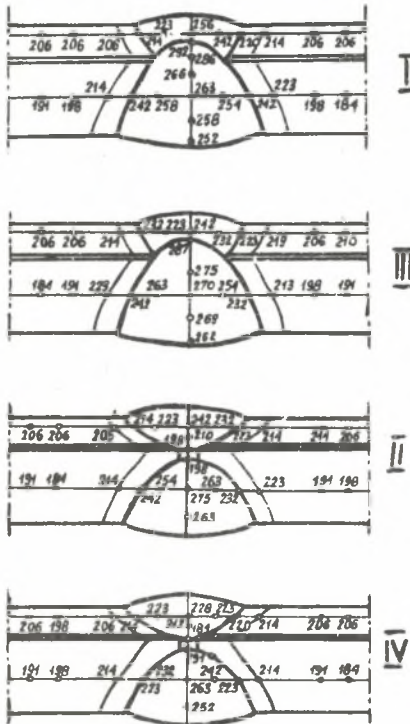
Pomiary twardości złączy spawanych wykonano na zglądach metodą Vickersa przy obciążeniu 30 daN, zgodnie z normą PN-67/M-69751. Rozkład punktów pomiarowych oraz odpowiadające im twardości dla poszczególnych złączy przedstawiono na rys. 2. Równocześnie złącza spawane poddano obserwacjom makro i mikroskopowym w celu ujawnienia wad spawalniczych, zwłaszcza w obszarze stopienia obu warstw spoiny i określenia struktur w poszczególnych

Tablica 4

Własności mechaniczne złączy spawanych blach ze stali konstrukcyjnej St36K platerowanej stalą chromową OH17T o grubości 8 mm

Oznaczenie złącza spawanego	Rm _{min} - Rm _{max} Rm _{śr} $\left \frac{\text{daN}}{\text{mm}^2} \right $	Miejsce zerwania	Kąty gięcia od strony	
			$\alpha^\circ \text{ min} - \alpha^\circ \text{ max}$	
			podłoża	plateru
I	$\frac{48,9 - 52,9}{51,0}$	poza spoiną	$\frac{180 - 180}{180}$	$\frac{40 - 120}{80}$
II	$\frac{42,9 - 44,8}{43,8}$	w spoinie	$\frac{180 - 180}{180}$	$\frac{10 - 80}{180}$
III	$\frac{51,4 - 54,2}{53,2}$	poza spoiną	$\frac{180 - 180}{180}$	$\frac{180 - 180}{180}$
IV	$\frac{46,2 - 47,6}{46,8}$	w spoinie	$\frac{180 - 180}{180}$	$\frac{180 - 180}{180}$

Uwaga: Wyniki pomiarów średnie z pięciu prób.



miejscach złącza. Zgłądzy makro trawiono w odczynniku Adlera a mikro CrO₃ + Nital. Typowe obrazy makroskopowe złączy spawanych pokazano na rys. 3 i 4. Obserwacje mikroskopowe przeprowadzono w obszarach stopienia warstw spoiny podłoża i plateru oraz stref wpływu ciepła poszczególnych złączy. Wyniki obserwacji złącza spawanego I (tablica 3) pokazano na rys. 5 i 6.

Na próbce pobranej ze złącza spawanego I (rys. 3) wykonano jakościową mikroanalizę rentgenowską rozkładu węgla i chromu w obszarze stopienia warstwy spoiny podłoża i plateru a wyniki podano na rys. 7.

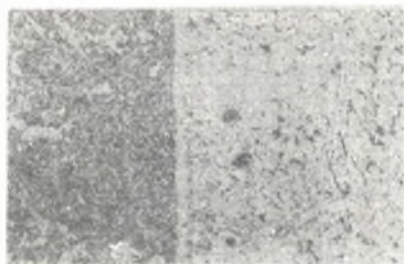
Rys. 2. Rozkład punktów pomiarowych oraz wyniki pomiarów twardości HV/30 złączy spawanych blach platerowanych stalą OH17T



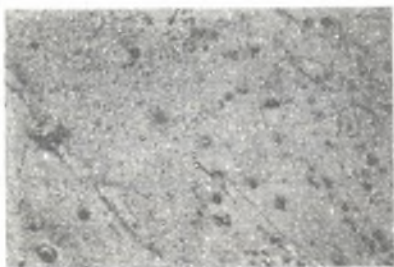
Rys. 3. Makrostruktura złącza spawanego ze stopieniem warstwy spoiny podłoża i plateru. Złącze spawane I. Pow. 1x



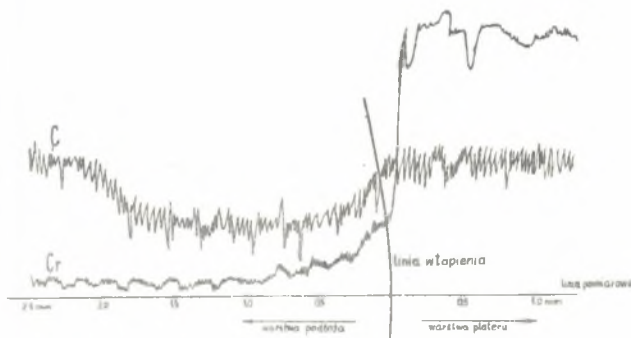
Rys. 4. Makrostruktura złącza spawanego bez stopienia warstwy spoiny podłoża i plateru. Złącze spawane II. Pow. 1x



Rys. 5. Struktura złącza spawanego I. Obszar stopienia warstwy spoiny podłoża i plateru (po lewej stronie warstwa podłoża). Pow. 250 x



Rys. 6. Struktura złącza spawanego I. Strefa wpływu ciepła warstwy spoiny plateru (po lewej stronie spoina). Pow. 250 x



Rys. 7. Mikroanaliza jakościowa rozkładu węgla i chromu w obszarze stopienia warstwy spoiny podłoża i plateru złącza spawanego I

4. Analiza wyników i wnioski

Badania wykazały możliwość stosowania opracowanej technologii spawania łukowego w osłonach gazowych blach platerowanych do spawania konstrukcji w warunkach warsztatowych przy zapewnieniu dokładnego przygotowania brzegów blach do spawania i ścisłego przestrzegania parametrów spawania (tablica 3).

Wkładka z drutu z żelaza Armco wstawiona między krawędzie spawanych blach (rys. 1) upraszcza znacznie technologię spawania i eliminuje między innymi konieczność wycinania grani warstwy spoiny podłoża czy też specjalnego przygotowywania krawędzi [3,5]. Równocześnie wkładka stanowi przegrodę regulującą rozcieńczenie stopowej warstwy spoiny plateru w niskowęglowej warstwie podłoża.

Przeprowadzone badania mechaniczne wykazały, że opracowana technologia spawania spełnia założone kryterium jakości złączy z wyjątkiem złączy spawanych od strony plateru stopiwem ferrytycznym chromowym, wykazujących niższe kąty gięcia od materiału rodzimego. Wytrzymałość na rozciąganie złączy spawanych z wzajemnym stopieniem warstwy spoiny podłoża i plateru nie jest niższa od wytrzymałości materiału rodzimego (złącza I i III) a złączy spawanych bez wzajemnego stopienia obu warstw spoiny tylko o 10-15%, niższa (złącza II i IV) (tablica 4). Próby gięcia statycznego ujawniły dobrą plastyczność złączy także od strony plateru, spawanego stopiwem austenitycznym. Badania twardości wykazały dopuszczalny wzrost twardości w strefie wpływu ciepła i spoinie, złączy nie wskazując na obecność martenzytu (rys. 2). Obserwacje makroskopowe nie ujawniły żadnych wad w złączach spawanych i potwierdziły prawidłowy dobór parametrów spawania, zapewniających zgodny z przyjętym kryterium kształt złączy (rys. 3 i 4).

Obserwacje mikroskopowe potwierdziły wyniki badań mechanicznych wykazując w warstwie spoiny spawanej stopiwem ferrytycznym rozrost ziarn, obniżający jej własności plastyczne (rys. 5 i 6) a równocześnie brak martenzytu w plastycznym obszarze stopienia warstwy spoiny podłoża i plateru, rozcieńczonym metalem wkładki z żelaza Armco, zmniejszającym wyraźnie zawartość węgla i chromu w tym obszarze (rys. 7).

Badania odporności na korozję złączy spawanych w warunkach optymalnych wykazały, że trwałość korozyjna platerów spawanych metodą TIG z dodatkiem spoiwa H17T i OH17N17MS jest wystarczająca w silnie agresywnych mediach, takich jak 30% HNO_3 i 10% kwas szczawowy oraz dobra w 50% kwasie octowym, 10% kwasie winowym, 20% NaCl , 50% KOH , acetonie i wodzie utlenionej. Nie ujawniono także w złączach śladów korozji międzykrystalicznej bez względu na rodzaj stopiwa.

LITERATURA

- [1] Mrowec S, Werber T. - Nowoczesne tworzywa żaroodporne, WNT, Warszawa, 1968.
- [2] Colombier L., Hochmann J. - Stale odporne na korozję i stale żaroodporne, Śląsk, Katowice, 1964.
- [3] Linnert G.E. - Welding Metallurgy - AWS, New York, t.2, 1967.
- [4] Węgrzyn J. - Spawalność nierdzewnych stali o zawartości 17% Cr - Praca habilitacyjna, Gliwice, 1962.
- [5] Welding handbook, AWS, t.5, 1961.
- [6] Arink G. - Met. Constr.a.Br.Weld. Journal, nr 8, 1972, 286.
- [7] Praca badawcza - Wpływ obróbki cieplnej na strukturę i własności mechaniczne blach ze stali konstrukcyjnej węglowej St36K platero-platerowanych stalami nierdzewnymi 1H18N9T oraz H17T - Politechnika Śląska, 1971.
- [8] Castro R. de Cadenet J.J. - Metalurgia spawania stali odpornych na korozję i żarowytrzymałych - WNT, Warszawa, 1972.

ДУГОВАЯ ЭЛЕКТРОСВАРКА ПЛАКИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ В СРЕДЕ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОВ

Р е з ю м е

Проведены исследования в оптимальных условиях дуговой сварки в среде защитных газов конструкционной углеродистой стали St36K сталью OH17T толщиной 8 мм. Определено механические свойства соединений выполненных при использовании различных присадочных материалов и были проведены исследования металлографические и коррозионности сварных соединений.

GAS - SHIELDED WELDING OF CLAD STEEL SHEETS

S u m m a r y

Tests have been carried out in order to establish the optimum conditions of gas - shielded welding of sheets from constructional St36K carbon steel clad with OH17T steel, of the total thickness amounting to 8 mm. Mechanical properties of joints made with the use of various additional materials have been determined, and the metallographic and corrosion resistance tests of joints have been carried out. This technology is particularly useful in a shop conditions.