

Jan SMAJDA

Instytut Metaloznawstwa i Spawalnictwa

Zakład Spawalnictwa

Politechnika Śląska

TECHNOLOGIA SPAWANIA METODĄ GTA (TIG) I WIĄZKĄ ELEKTRONÓW BLACH ZE STALI TYPU 18Cr-2Mo Z OGRANICZONĄ ZAWARTOŚCIĄ PIERWIĄSTKÓW MIĘDZYWĘZŁOWYCH

Streszczenie. Omówiono wpływ zawartości C+N, wielkości ziarn ferrytu w spoinie i SWC oraz techniki spawania na własności plastyczne połączeń spawanych blach ze stali typu 18Cr-2Mo z ograniczoną zawartością pierwiastków międzywęzłowych, wykonanych metodą GTA (TIG) i wiązką elektronów.

WPROWADZENIE

Opracowanie powtarzalnej na skalę przemysłową technologii produkcji stali ferrytycznych chromowych typu 18Cr-2Mo z ograniczoną zawartością pierwiastków międzywęzłowych ($C+N \leq 0,03\%$) pozwoliło na częściowe zastępowanie deficytowych ze względu na nikiel, stali austenitycznych typu 18-10, zwłaszcza w konstrukcjach narażonych na działanie korozji naprężeniowej w środowiskach zawierających jony chloru.

Binder i Spendelov [1] oraz Hochmann [2] wykazali, że jedyną drogą do poprawienia odporności na kruche pękanie i plastyczności stali ferrytycznych chromowych jest ograniczenie w nich zawartości pierwiastków międzywęzłowych. Również badania nad problemem kruchości złączy spawanych z tych stali, zapoczątkowane przez Węgrzyna [3], pozwoliły na jednoznaczne określenie, że podstawową przyczyną kruchości złączy spawanych jest przesylenie spoiny i SWC pierwiastkami międzywęzłowymi (C+N) oraz ich koherentne stadia wydzielenia.

Stale typu 18Cr-2Mo-ELI (Extra Low Interstitial), ferrytyczne w całym zakresie temperatur, są bardzo wrażliwe na rozrost ziarn ferrytu, zwłaszcza w temperaturach wyższych od 950°C. Rozrost ziarn ferrytu zależy od składu chemicznego stali (zawartość C; N; Ti lub Nb) oraz od temperatury i czasu wytrzymania. W literaturze [3; 4; 5; 6] spotyka się niejednoznaczną interpretację wpływu znacznego rozrostu ziarn ferrytu na własności plastyczne połączeń spawanych.

W pracy przedstawiono wpływ wielkości ziarn ferrytu i przesylenia pierwiastkami międzywęzłowymi spoiny i SWC na własności plastyczne połączeń spawanych.

BADANIA WŁASNE

Opracowanie technologii spawania stali ferrytycznej chromowej o symbolu OOH18M2Nb przeprowadzono na czterech kolejnych wytopach przemysłowych

(30T), równoległe z dochodzeniem przez producenta (Huta "Bałdon") do uzyskania powtarzalności składu chemicznego stali na poziomie uzyskiwanym przez produkujące firmy światowe, zwłaszcza pod względem zawartości węgla i azotu (tablica 1).

Opracowano technologię spawania doczołowego blach o grubości 3 mm w osłonie argonu elektrodą nietopliwą (GTA) oraz w celach porównawczych zastosowano technologię spawania wiązką elektronów zapewniającą rafinację metalu i bardzo wąską SWC. W celu określenia wpływu stopnia przesylenia spoiny i SWC pierwiastkami międzywęzłowymi na własności plastyczne połączenia, złącza próbne poddano obróbce cieplnej przez wyżarzanie w ciągu 2 godzin w temperaturze 850°C i ochłodzenie w wodzie.

Ocenę jakości złączy spawanych o prawidłowym kształcie, nie zawierających żadnych wad zewnętrznych i wewnętrznych (min. 2 klasa wadliwości w PN-74/M-69772), przeprowadzono na podstawie badań rentgenowskich, mechanicznych, temperatury przejścia w stan kruchości (według próby udarności Charpy V) oraz obserwacji metalograficznych i mikrofraktograficznych.

Złącza próbne metodą GTA spawano ręcznie techniką w lewo, stosując spoiwo materiałopodobne oraz automatycznie bez użycia materiału dodatkowego. Proces spawania prowadzono prostymi ściegami przy założeniu minimalnej energii liniowej spawania, zachowując następujące warunki technologiczne:

- brzegi blach i materiał dodatkowy oczyszczono mechanicznie i trawiono przed spawaniem,
- stosowano osłonę argonową grani ($Q_{Ar} = 4 \text{ dcm}^3/\text{min.}$).

Parametry spawania metodą GTA blach o grubości 3 mm przedstawiono w tablicy 2, a własności mechaniczne połączeń spawanych w tablicy 3. Dokładnie prostopadłe brzegi blach, trawione przed spawaniem, po zamocowaniu na styk w odpowiednim oprzyrządowaniu w komorze próżniowej spawano wiązką elektronów, dobierając parametry spawania według kryterium minimalnej energii liniowej. Parametry spawania wiązką elektronów złączy doczołowych przedstawiono w tablicy 4 a własności mechaniczne połączeń spawanych w tablicy 5.

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Skład chemiczny stali z wytopu 1 odbiega zawartością pierwiastków międzywęzłowych od poziomu 0,03% (C+N), wymaganego od stali typu 18Cr-2Mo ELI, zbliżony jest natomiast znacznie składem chemicznym (pomijając zawartość Mo i Nb) i własnościami mechanicznymi do dobrych stali chromowych OH17T produkowanych obecnie przez polski przemysł. Dopiero blachy z wytopów 3 i 4 są porównywalne ze względu na skład chemiczny (C+N 0,03%, zawartość niobu w granicach 0,2-0,5%) (tablica 1) i własności wytrzymałościowe (tablica 3) ze stalami typu 18Cr-2Mo ELI produkowanymi przez

firmy zachodnie. Dzięki sumarycznej zawartości węgla i azotu około 0,03% oraz odpowiedniej zawartości niobu posiadają one temperaturę przejścia w stan kruchości poniżej temperatury pokojowej (tablica 3).

Spawanie ręczne metodą GTA, mimo stosowania ściągów prostych i ograniczenia energii liniowej spawania, nie pozwoliło na uzyskanie zadowalających własności plastycznych połączenia, zwłaszcza w spoinie (tablica 3). Bardzo duży rozrost ziarn ferrytu w spoinie (rys.1) powoduje znaczny spadek udarności spoiny, a kąty gięcia po statycznej próbie zginania nie przekraczają 90° (tablica 3). W tym przypadku obróbka cieplna po spawaniu nie polepsza własności plastycznych złącza (rys.2). Złącza spawane automatycznie metodą GTA bez materiału dodatkowego charakteryzują się dobrymi własnościami mechanicznymi, zwłaszcza złącza blach z wytopów 3 i 4 (tablica 3, rys.2). Bardzo mała energia liniowa spawania ($E = 0,3 \text{ kJ/mm}$), mały udział materiału przetopionego w złączu spawanie bez odstępów, bez materiału dodatkowego pozwala na uzyskanie stosunkowo wąskiej spoiny i SWC z nieznacznym rozrostem ziarn ferrytu (rys.3) i dzięki temu nieznaczny spadek udarności złącza (tablica 3). Przy tej technice spawania zaznacza się korzystny wpływ obróbki cieplnej po spawaniu ($850^\circ\text{C}/2\text{h}/\text{woda}$) na własności plastyczne złączy (rys.2). Mankamentem tej techniki spawania jest konieczność dokładnego przygotowania krawędzi łączonych elementów przed spawaniem (spawanie na I bez odstępów). Złącza blach ze stali OOH18M2Nb charakteryzują się dużą różnorodnością pod względem wielkości ziarn ferrytu w SWC w spoinie wykonanej spoiwem materiałopodobnym lub bez dodatku spoiwa. Równolegle ze wzrostem ziarn następuje przesylenie atomami węgla i azotu spoiny i SWC. Na skutek tych zjawisk następuje spadek udarności w spoinie i SWC w porównaniu do udarności materiału rodzimego (tabl.3, rys.2). Obróbka cieplna po spawaniu mająca na celu odblokowanie swobodnego ruchu dyslokacji poprzez wiązanie wolnego węgla i azotu w węgliki, azotki i węglikoazotki oraz tworzenie niekoherentnych z osnową wydzielen polepsza udarność złączy wykonanych automatycznie bez materiału rodzimego. Zaznaczyć należy, że rozrost ziarn w tych złączach nie był zbyt duży. Nie zauważa się wyraźnej poprawy udarności po procesie wyżarzania spoin wykonanych stopiwem materiałopodobnym. Obserwacje skaningowe przekomów (rys.4) wykazały, że wielkość ziarn ferrytu nie ma wpływu na morfologię przekomu. We wszystkich przypadkach przekomy mają charakter transkryształiczny żupliwy, porównywalny niezależnie od wielkości ziarn ferrytu.

Złącza spawane wiązką elektronów potwierdziły spodziewane wyniki, wykazując własności mechaniczne nie niższe od materiału rodzimego, wykonanego ze skrajnych pod względem zawartości C+N wytopów (tablica 5). W przypadku spawania wiązką elektronów, pomimo dużego rozrostu ziarn w spoinie i przesyleniu jej pierwiastkami międzywęzłowymi nie następuje jednak spadek udarności spoiny a wręcz przeciwnie, jej wzrost (tablica5). Należy przypuszczać, że w tym przypadku decydujący wpływ na udarność po-

siada czystość materiału rafinacja spoiny w wysokiej próżni a nie przesycenie i rozrost ziarn. Potwierdzeniem tego są obserwacje skaningowe przekłomów, gdzie na przekłomie transkryystalicznym kupliwym, przebiegającym wzdłuż spoiny wykonanej wiązką elektronów, widoczne są gniazda przekłomu ciągliwego (rys.5).

WNIOSKI

1. Dostarczona przez producenta stal typu COH18M2Nb w postaci blach o grubości 3 mm z wytopów 3 i 4 spełnia wymogi stawiane stalom ferrytycznym chromowym typu ELI.
2. Złącza blach wykonane metodą GTA z zastosowaniem stopiwa materiałopodobnego, na skutek znacznego rozrostu ziarn ferrytu w spoinie, mają własności plastyczne znacznie niższe od własności materiału rodzimego. Jedynie złącza wykonane automatycznie bez materiału dodatkowego posiadają własności mechaniczne porównywalne z własnościami materiału rodzimego.
3. Spawanie wiązką elektronów złączy doczołowych, dzięki bardzo wąskiej SWC i spoinie oraz jej częściowej rafinacji w wysokiej próżni, zapewnia własności mechaniczne nie niższe od materiału rodzimego.

LITERATURA

- [1] Binder W.O., Spindelov H.R.: Transaction ASM, nr 43, s.759.
- [2] Hochman H.: Rev.Met., nr 48, 1951, s.734.
- [3] Węgrzyn J.: Praca habilitacyjna. Gliwice 1962, s.22.
- [4] Abo H. i inni: Konf."Stainless Steel 77" 1977, s.37.
- [5] Klimpel A.: Praca doktorska. Gliwice, 1970.
- [6] Lewanow A.N., Frantow J.J.: Swarocznijje Proizwodstwo, nr 11,1979,s.17.

Recenzent

Doc.dr inż.J.Brózda

GTA, AND EB, AND AN ELECTRON BEAM METHODS FOR WELDING STEEL SHEETS OF THE TYPE 18 Cr - 2 Mo WITH EXTRA LOW CONTENTS OF INTERSTITIAL ELEMENTS

SUMMARY

The influence of the contents of C+N, ferrite grains dimentions in weld, and HAZ and weld technique on the properties of welded joints of steel sheets of the type 18Cr-2Mo with extra low contents of interstitial elements.

An analysis of technological factors influencing the hardness of plasma arc weld surfacing layers.

ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ МЕТОДАМИ TIG И ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ ЛИСТОВ ИЗ СТАЛИ
ТИПА 18Cr-2Mo С ОГРАНИЧЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ МЕЖУЗЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

РЕЗЮМЕ

В работе было представлено влияние содержания элементов C + N, величины зери феррита в сварном шве и зоне термического влияния, а также сварной техники на пластические свойства сварных соединений листов из стали типа 18Cr-2Mo с ограниченным содержанием межузловых элементов, изготовленных методами TIG и электронным пучком.

T a b l i c a 1

Skład chemiczny blach ze stali COH18M2Nb wykonanych
z wytopów przemysłowych

| Nr wytopu | Skład chemiczny % | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|----------------|-------|-------|
| | C | Mn | Si | P | S | Cr | Ni | Mo | Nb | Ti | Cu | Al | O ₂ | N | C+N |
| 1 | 0,024 | 0,27 | 0,55 | 0,026 | 0,015 | 17,64 | 0,77 | 1,96 | 0,72 | 0,13 | 0,07 | 0,12 | 0,004 | 0,044 | 0,068 |
| 2 | 0,02 | 0,28 | 0,04 | 0,03 | 0,014 | 18,14 | 0,36 | 1,92 | 0,26 | - | - | 0,01 | - | 0,02 | 0,04 |
| 3 | 0,012 | 0,24 | 0,34 | 0,029 | 0,007 | 17,87 | 0,19 | 1,99 | 0,55 | - | 0,07 | - | - | 0,071 | 0,033 |
| 4 | 0,01 | 0,32 | 0,17 | 0,023 | 0,030 | 19,20 | 0,25 | 1,80 | 0,50 | - | - | - | - | 0,019 | 0,029 |

T a b l i c a 2

Parametry spawania doczołowego metodą GTA
blach ze stali OOH18M2Nb o grubości 3 mm

| Sposób spawania | Grubość blachy mm | Materiał dodatkowy | Natężenie prądu A | Napięcie łuku V | Prędkość spawania mm/min | Średnica elektrody mm | Przepływ argonu dm^3/min | Energia liniowa kJ/mm |
|-----------------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------|--------------------------|-----------------------|--|--------------------------------|
| Ręcznie | 3 | OOH18M2Nb | 140 | 14 | 111 | 2 | 10 | 1,1 |
| Automatycznie | 3 | - | 300 | 11 | 660 | 2 | 10 | 0,3 |



Rys.1. Obraz makroskopowy złącza spawanego blach ze stali OOH18M2Nb o grubości 3 mm wykonanego ręcznie stopiwem materiałopodobnym.

Traw. Adler

pow. 5x

T a b l i c a 3

Właściwości mechaniczne połączeń spawanych metodą GTA
blach ze stali COH18M2Nb o grubości 3mm

| Sposób spawania | Nr wytopu | Rodzaj obróbki cieplnej | Rozciąganie | | Gięcie α° x | | Temp. przejścia w stan kruchości | | |
|-----------------|-----------|-------------------------|-----------------------|------------------|-------------------------|-----|----------------------------------|-----|-----|
| | | | R _m MPa | Miejsce zerwania | GL | GG | C ^{xx} | | |
| | | | | | | | MR | SWC | S |
| Ręcznie | 1 | bez obróbki | 630 | S | 40 | 55 | 60 | 90 | 140 |
| | 1 | 850°C/2h/woda | 584 | S | 40 | 55 | 60 | 80 | 135 |
| | 2 | bez obróbki | 583 | S | 60 | 90 | 35 | 55 | 130 |
| | | 850°C/2h/w | 580 | S | 80 | 90 | 35 | 50 | 125 |
| | 3 | bez obróbki | 530 | S | 90 | 90 | 10 | 20 | 55 |
| | | 850°C/2h/w | 512 | SWC | 100 | 90 | 10 | 15 | 55 |
| | 4 | bez obróbki | 546 | S | 90 | 90 | 10 | 15 | 55 |
| | | 850°C/2h/w | 530 | SWC | 100 | 90 | 10 | 10 | 55 |
| Automatycznie | 1 | bez obróbki | 600 | SWC | 110 | 130 | 60 | 70 | 110 |
| | | 850°C/2h/w | 587 | SWC | 180 | 180 | 60 | 60 | 180 |
| | 2 | bez obróbki | 590 | SWC | 140 | 160 | 35 | 50 | 80 |
| | | 850°C/2h/w | 576 | MR | 180 | 180 | 35 | 36 | 50 |
| | 3 | bez obróbki | 580 | MR | 180 | 180 | 10 | 15 | 25 |
| | | 850°C/2h/w | 540 | MR | 180 | 180 | 10 | 10 | 15 |
| | 4 | bez obróbki | 573 | MR | 180 | 180 | 10 | 15 | 20 |
| | | 850°C/2h/w | 546 | MR | 180 | 180 | 10 | 10 | 15 |

x - średnica trzpienia gnącego $d = 2g$,

GL - rozciągane lico,

GG - rozciągana grań,

xx - za wartość krytyczną przyjęto $35 J/cm^2$ - karb Charpy V -
wynik średni z pięciu pomiarów,

S - spoina,

MR - materiał rodzimy,

SWC - strefa wpływu ciepła.

T a b l i c a 4

Parametry spawania doczołowego wiązką elektronów
blach ze stali 00H18M2Nb o grubości 3 mm

| Napięcie wiązki kV | Natężenie prądu wiązki mA | Próżnia komory roboczej Pa | Prędkość spawania mm/min | Energia liniowa kJ/mm |
|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 30 | 80 | $1,33 \times 10^{-2}$ | 1166 | 0,12 |

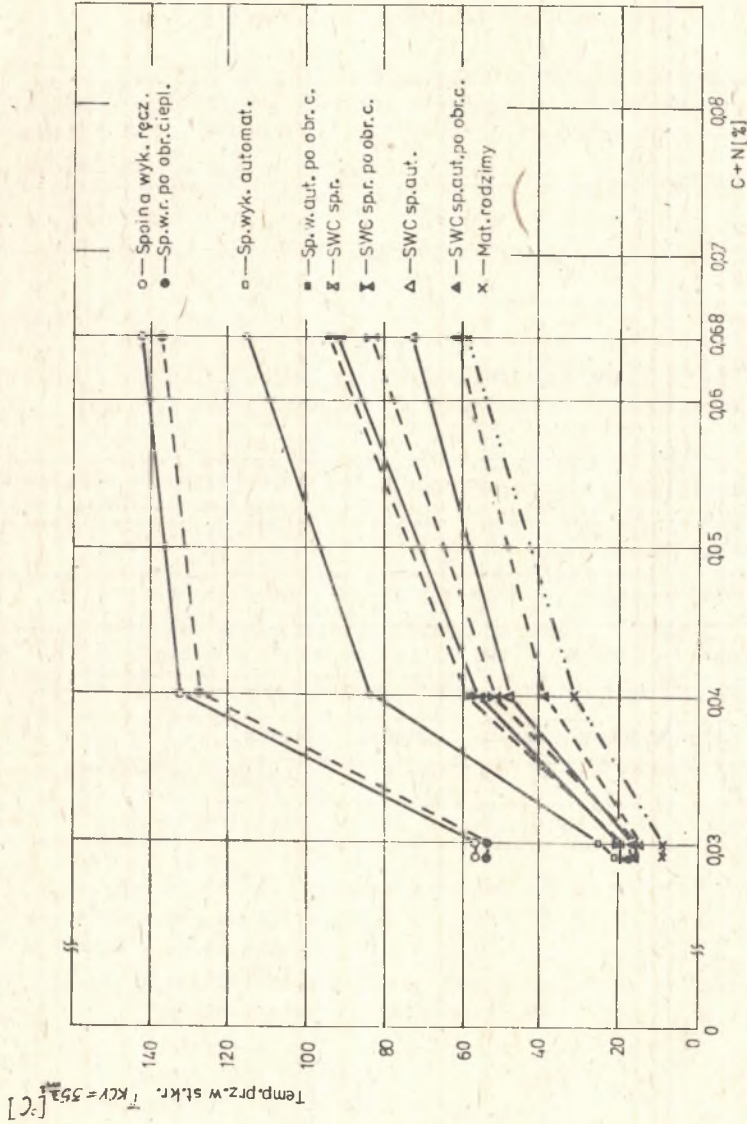
T a b l i c a 5

Własności mechaniczne połączeń spawanych wiązką
elektronów blach ze stali 00H18M2Nb o grubości 3 mm

| Nr wytopu | Rozciąganie | | Gięcie α° x | | Temp.przejścia w stan kru- chości $^{\circ}\text{C}$ xx | | |
|--------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----|--|-----|----|
| | Rm MPa | Niejsze zerwania | GL | GG | MR | SWC | S |
| 1 | 600 | MR | 180 | 180 | 60 | 60 | 20 |
| 4 | 590 | MR | 180 | 180 | 10 | 10 | 0 |

x - średnica trzpienia gnącego $d = 2g$,

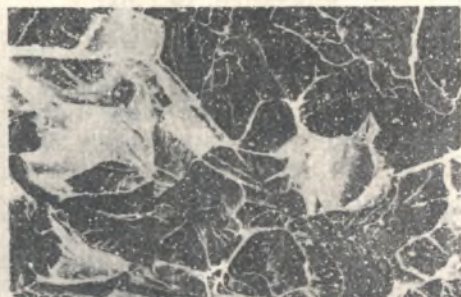
xx - karb Charpy V - wynik średni z pięciu pomiarów.



Rys. 2. Wpływ zawartości C+N oraz obróbki cieplnej po spawaniu ($950^{\circ}\text{C}/2\text{h}/\text{woda}$) na temperaturę przejścia w stan kruchości połączeń spawanych ręcznie i automatycznie metodą GTA blach ze stali OOH18M2Nb o grubości 3 mm.



Rys.3. Obraz makroskopowy złącza spawanego blach ze stali OGH18M2Nb o grubości 3 mm wykonanego automatycznie bez materiału dodatkowego. pow. 5x



Rys.4. Przekłom w obszarze spoiny złącza wykonanego metodą GTA. Przekłom transkrystaliczny żupliwy. pow. 300x



Rys.5. Przekłom w obszarze spoiny złącza wykonanego wiązką elektronów. Przekłom mieszany, na tle przekłomu transkrystalicznego żupliwego widoczne gniazda przekłomu ciągłego. pow. 300x