ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1975

Seria: Mechanika z. 55 Nr kol. 446

Andrzej Klimpel

Instytut Metaloznawstwa i Spawalnictwa
Politechniki Śląskiej

TECHNOLOGIA SPAWANIA DOCZOŁOWEGO RUR Z ŻAROWYTRZYMAŁEJ STALI H9M

Streszczenie. Opracowano optymalne warunki spawania doczołowego rur ze stali H9M o średnicy Ø = 169 mm, g = 8 mm; Ø =160 mm g =7 mm i Ø = 89 mm, g = 5 mm elektrodami otulonymi materiałopodobnymi i austenitycznymi oraz z wkładką pierścieniową stapianą w grani metodą TIG. Przeprowadzono badania mechaniczne i metalograficzne złączy spawanych oraz ich odporności na korozję.

Wprowadzenie

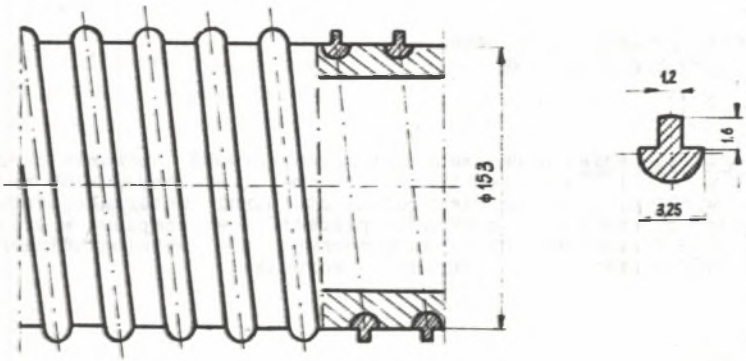
Żarowytrzymałe stale chromowo-molibdenowe H9M o bainitycznej strukturze w stanie dostawy, są w pewnych przypadkach zasadniczym substytutem znacznie droższych stali austenitycznych chromowo-niklowych w szeregu zastosowań w przemyśle rafineryjnym i petrochemicznym. Stale chromowo-molibdenowe cechują się żarowytrzymałością do temperatury 550°C i żaroodpornością do ok. 700°C, a równocześnie są daleko mniej wrażliwe od stali chromowo-niklowych na pękanie transkrystaliczne, wywołane korozją naprężeniową w związkach chloru, odporne na utlenianie w wysokich temperaturach oraz odporne na agresywne działanie związków siarki w temperaturach podwyższonych a szczególnie ropy naftowej o dużej zawartości siarki [1 - 4]. Molibden, którego zawartość w tej stali wynosi około 1% podwyższa znacznie żarowytrzymałość i odporność na pełzanie a równocześnie poprawia własności korozyjne.

Wadą ograniczającą wyraźnie zastosowanie stali chromowo-molibdenowych jest ich trudna spawalność, wynikająca głównie z tworzenia się w złączu martenzytu, obniżającego znacznie własności plastyczne złącza a zwłaszcza odporność na obciążenia dynamiczne. Zapobiega się temu przez włączenie do technologii spawania specjalnych zabiegów cieplnych takich jak podgrzewanie wstępne lub obróbka cieplna po spawaniu [2-8].

Badania technologii spawania doczołowego rur ze stali H9M ograniczono do spawania łukowego ręcznego elektrodami otulonymi materiałopodobnymi i austenitycznymi oraz technologii spawania z zastosowaniem wkładki pierścieniowej, stapianej w grani złącza metodą TIG.

Materiały użyte do badań

Badania nad opracowaniem technologii spawania doczołowego rur ze stali H9M wykonano dla rur produkcji francuskiej o średnicy 169 mm i grubości ścianki 8 mm oraz dla rur produkcji krajowej o średnicy 160 mm i g = 7 mm a także ø 89 mm i g = 5 mm. Jako materiały dodatkowe do spawania łukowego



Rys. 1. Kształt i sposób wykonania wkładki pierścieniowej dla rury ø 169 mm i g = 8 mm

Tablica 1

Skład chemiczny badanych rur ze stali H9M i stopiw materiałów dodatkowych

Oznaczenie		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
Rury	Według normy	max 0,12	0,35–0,45	0,40–0,60	max 0,030	max 0,030	max 8,5–9,5	0,9 1,1	–	–
	ø 169 mm, g = 8 mm	0,12	0,40	0,45	0,013	0,012	8,95	1,02	0,18	–
	ø 160 mm, g = 7 mm	0,085	0,39	0,39	0,012	0,016	7,64	1,15	0,14	0,07
	ø 89 mm, g = 5 mm	0,10	0,51	0,68	0,012	0,010	9,56	1,13	0,135	0,06
Materiały dodatkowe	OK.76.96	0,08	0,6	0,6	–	–	9,0	1,0	–	–
	PPC-9	0,08	0,6	0,6	–	–	9,0	1,0	–	–
	ES20-24-4CuB	0,09	1,2	0,3	–	–	21,5	4	24	1,3
	ES18-8-2B	0,07–0,09	ok. 1,5	ok. 0,6	–	–	ok. 18,5	1,9	ok. 9,5	–
	SP13	max 0,06	1–2	max 0,6	–	–	18–20	2–3	10–12	

Tablica 2

Własności mechaniczne badanych rur ze stali H9M i stopiw materiałów dodatkowych

Oznaczenie		Re daN/mm^2	Rm daN/mm^2	A5 (%)	KV daJ/cm^2	α^o	Twardość HV/30	Uwagi
Rury	Według normy	30	55	22	-	-	-	W stanie wyżarzonym
	Ø 169 mm, g = 8 mm	32	58,8	30	7^{xx}	180°	-	Stan dostawy
	Ø 160 mm, g = 7 mm	-	63,9	-	15,6^{xx}	180°	-	Stan dostawy
	Ø 89 mm, g = 5 mm	-	65,0 (74,0^x)	-	-	180°	-	Stan dostawy
Materiały dodatkowe	OK.76.96	45	60	16	6	-	-	-
	PPC-9	45	60	16	6	-	-	-
	ES20-24-4CuB	-	69-75	25-35	9-11	-	200	-
	ES18-8-2B	-	62-70	35-40	11-15	-	170-180	-
	SP13	-	50-60	25-35	-	-	-	-

^{x}Część badanych rur dostarczono w stanie surowym.

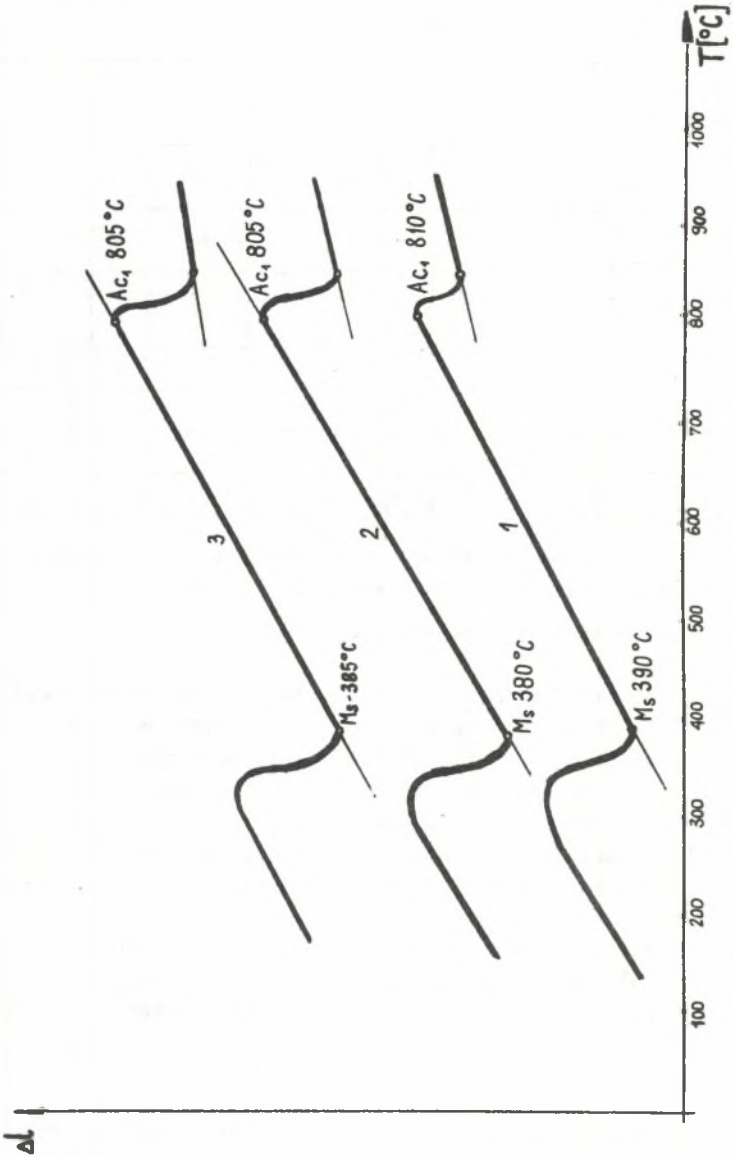
^{xx}Próbki nietypowe 10 x 5 mm z karbem Charpy V.

ręcznego zastosowano elektrody otulone materiałopodobne OK.76.96 firmy ESAB i PPC-9 (symbol tymczasowy) opracowane przez Hutę Baildon na bazie elektrod OK.76.96 oraz elektrody otulone austenityczne ES18-8-2B i ES20-24-4CuB. Na wkładkę pierścieniową stapianą w grani złącza metodą TIG użyto drut austenityczny SP13 o średnicy 3,25 mm. Sposób wykonania wkładki dla rur o średnicy 169 mm i g = 8 mm przedstawia rys. 1. Skład chemiczny materiałów użytych do badań podano w tablicy 1 a ich własności mechaniczne w tablicy 2.

Wszystkie elektrody przed spawaniem suszono w temperaturze 250°C przez ok. 2 godz. Spawanie łukowe ręczne prowadzono przy zastosowaniu jako źródła prądu spawarki prostownikowej SPB-315 a stapianie wkładki pierścieniowej metodą TIG stosując urządzenie EGb-500, wyposażone w palnik nr 1.

Spawanie łukowe ręczne elektrodami otulonymi materiałopodobnymi

Złącza próbne rur spawano zgodnie z ustalonym w badaniach wstępnych programem spawania stali martenzytycznych, zawierającym podgrzewanie wstępne i obróbkę cieplną (odpuszczanie) po spawaniu 8 . Złącza bezpośrednio po spawaniu chłodzono w spokojnym powietrzu do temperatury pokojowej w celu



Rys. 2. Krzywe dylatometryczne materiałów badanych rur ze stali H9M
1 - rura ø 160 x 7 mm, 2 - rura ø 89 x 5 mm, 3 - rura ø 169 x 8 mm

otrzymania w spoinie i SWC struktury martenzytycznej a następnie odpuszczano dla otrzymania wysokich własności wytrzymałościowych i plastycznych. Temperaturę podgrzewania wstępnego ustalono na podstawie krzywych dylatometrycznych (rys. 2), korzystając z wzoru Tp = Ms - 50°C ≅ 300°C, jak również zaleceń praktycznych AWS [3, 5]. Równocześnie wykonano badania sprawdzające złączy spawanych bez podgrzewania wstępnego i podgrzanych do 150, 200, 250 i 300°C przy silnym usztywnieniu rur.

Tablica 3

Wpływ parametrów odpuszczania na własności mechaniczne złączy rur ze stali H9M, spawanych elektrodami materiałopodobnymi

Rodzaj złącza	Parametry obróbki cieplnej		$Rm_{śr}$ daN/mm²	Miejsce zerwania	α^o śr		KVS daJ/cm²	KVW daJ/cm²
	Temperatura odpuszczania (°C)	Czas odpuszczania (min)			GL	GG		
Ø 169 mm g = 8 mm	700	120	61,2	w materiale rodzimym	180x	90	3,8	5,6
	730	120	59,5	"	180	180	6,2	8,2
	750	120	59,0	"	180	180	6,7	9,5
	750	60	60,2	"	180x	120	4,2	6,4
	750	90	59,4	"	180	180	6,8	8,0
Ø 160 mm g = 7 mm	700	120	60,4	"	180x	100	3,5	6,5
	730	120	58,2	"	180	120	6,6	12,4
	750	120	57,2	"	180	180	9,5	19,7
	750	60	58,8	"	180x	140	5,5	13,7
	750	90	57,6	"	180	180	6,2	15,7
Ø 89 mm g = 5 mm	750	30	70,2	w spoinie	140	120	-	-
	750	60	65,6	"	180	180	-	-
	750	90	62,2	"	180	180	-	-

Uwaga: Wyniki średnie z pięciu pomiarów
x - zgięcie daszkowe jak na rys. 3.

W złączach spawanych bez podgrzewania wstępnego jak i podgrzewanych do 150 i 200°C ujawniono pęknięcia w spoinie i SWC o wielkości wzrastającej z obniżaniem temperatury podgrzewania. Ustalono, że temperatura podgrzewania wstępnego powinna mieścić się w zakresie 250-300°C.
Spawanie złączy próbnych prowadzono w pozycji podolnej z największą energią liniową łuku dla uzyskania możliwie najmniejszej szybkości chłodzenia.

Tablica 4

Optymalne parametry obróbki cieplnej złączy rur ze stali H9M, spawanych elektrodami materiałopodobnymi

Oznaczenie rury	Temperatura odpuszczania (°C)	Czas wygrzewania (min)	Sposób chłodzenia
Ø 169 mm g = 8 mm	750	90-120	W spokojnym powietrzu
Ø 160 mm g = 7 mm	750	90-120	"
Ø 89 mm g = 5 mm	750	ok. 60	"

Tablica 5

Wyniki badań mechanicznych złączy rur ze stali H9M, spawanych elektrodami materiałopodobnymi

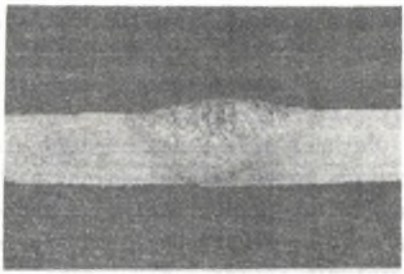
Oznaczenie	$Rm_{śr}$ daN/mm^2	Miejsce zerwania	$KVS_{śr}$ daJ/cm^2	$KVW_{śr}$ daJ/cm^2	Gięcie $\alpha^o_{śr}$		Uwagi
					od strony lica GL	od strony grani GG	
Ø 169 mm g = 8 mm	59,6	w materiale rodzimym MR	3,3	2,5	180^x	120	Bez obróbki cieplnej po spawaniu
	59,0	MR	9,7	9,5	180	180	Odpuszczanie w 750°/2h po ochłodzeniu złączy po spawaniu do temperatury pokojowej
Ø 160 mm g = 7 mm	62,6	MR	1,7	3,1	180^x	115	Bez obróbki cieplnej po spawaniu
	57,2	MR	9,5	19,7	180	180	Odpuszczanie w 750°/2h po ochłodzeniu złączy po spawaniu do temperatury pokojowej
Ø 89 mm g = 5 mm	73,3^{xx}	w spoinie	-	-	180^x	95	Bez obróbki cieplnej po spawaniu
	65,6	MR	-	-	180	180	Odpuszczanie w 750°/1h po ochłodzeniu złączy do temperatury pokojowej

Uwaga: Wyniki średnie z pięciu pomiarów

^{x}Zgięcie daszkowe jak na rys. 3

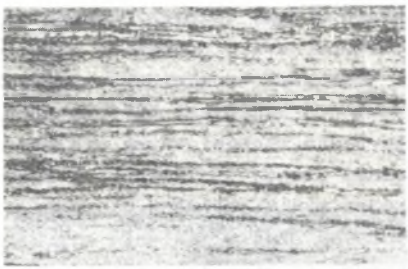
^{xx}Złącze rur dostarczonych w stanie surowym.

Rys. 3. Makrostruktura złącza rury Ø 169 mm i g = 8 mm spawanego elektrodą OK.76.96 po próbie gięcia; stan surowy po spawaniu, 2x.



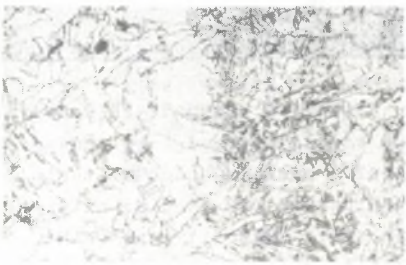
Rys. 4. Makrostruktura złącza rury Ø 169 mm i g = 8 mm, spawanego elektrodą OK.76.96, odpuszczonego po spawaniu w 750°C/2h, 2x.

Rys. 5. Mikrostruktura materiału rur Ø 169 mm i g = 8 mm w stanie dostawy, 250x.



Rys. 6. Mikrostruktura materiału rur Ø 89 mm i g = 5 mm w stanie dostawy, 250x

Rys. 7. Mikrostruktura strefy przejściowej złącza rury Ø 169 mm, i g=8mm spawanego elektrodą OK.76.96; stan surowy po spawaniu; z lewej strony spoina, 250x



Rys. 8. Mikrostruktura strefy przejściowej złącza rury Ø 169 mm i g = 8 mm, spawanego elektrodą OK. 76.96 po odpuszczeniu w 750°C/2h, z lewej strony spoina, 250x

Jako dodatkowe kryteria doboru parametrów spawania przyjęto prawidłowy kształt złącza, brak jakichkolwiek wad wewnętrznych i zewnętrznych, określonych badaniami rentgenowskimi (min 3 klasa jakości złącza wg PN-60) (M-69773) oraz własności mechaniczne zbliżone do własności mechanicznych materiału rodzimego.

Warunki niezbędnej obróbki cieplnej po spawaniu ustalono na podstawie wyników badań mechanicznych, które zawierały statyczną próbę rozciągania wg PN-64/M-69720, statyczną próbę gięcia od strony lica i od strony grani, zgodnie z PN-64/M-69710 na trzpieniu o średnicy d = 2g oraz badania udarności dla spoiny - kVS i strefy wpływu ciepła złącza - KVW wg PN-69/H-04370. Ponieważ grubość ścianek rur Ø 169 i 160 mm była poniżej 10 mm zastosowano nietypową próbkę 10 x 5 mm z karbem Charpy V. Dla złączy spawanych Ø 89 mm, g = 5 mm prób udarności nie wykonano z uwagi na brak znormalizowanych warunków dla złączy o $g \leqslant 5$ mm. Wyniki badań mechanicznych złączy spawanych rur poddanych po spawaniu odpuszczaniu w różnych temperaturach i przy różnych czasach wygrzewania przedstawiono w tablicy 3, a ustalone na ich podstawie optymalne warunki odpuszczania złączy w tablicy 4. Własności mechaniczne złączy rur w stanie surowym po spawaniu jak i po ustalonej badaniami obróbce cieplnej podano w tablicy 5. Ponieważ w czasie badań mechanicznych nie stwierdzono żadnych różnic pomiędzy własnościami stopiw otrzymanych z elektrod OK.76.96 i PPC-9 w tablicach 3 i 5 podano wyniki wspólne dla obu gatunków elektrod. Dla wykrycia ewentualnych wad oraz określenia struktur w poszczególnych obszarach złącza spawanego, przeprowadzono obserwacje makro i mikroskopowe, na zgładach pobranych ze złączy wykonanych przy ustalonych warunkach optymalnych. Zgłady makro trawiono w odczynniku Adlera a mikro w alkoholowym roztworze $FeCl_3$ i HCl. Wyniki obserwacji przedstawiono na rys. 3-8.

Spawanie łukowe ręczne elektrodami otulonymi austenitycznymi

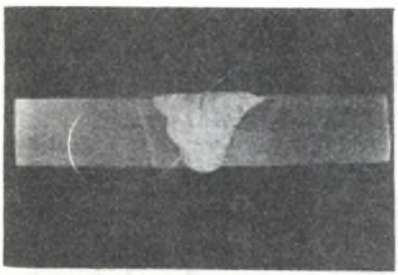
W pewnych przypadkach konstrukcje spawane nie mogą być poddane zabiegom cieplnym przed i po spawaniu. Wtedy zachodzi potrzeba zastosowania stopiwa posiadającego w stanie surowym po spawaniu lepszych własności mechanicznych niż stopiwo materiałopodobne [2, 3, 5]. Są to przede wszystkim stale austenityczne Cr-Ni lub stopy niklu. Mimo tego, że stopiwa austenityczne mają odpowiednią wytrzymałość i udarność, zastosowanie ich nie eliminuje utwardzenia SWC. Dlatego też ważne jest ustalenie czy otrzymany po spawaniu stan strukturalny SWC wpływa na własności eksploatacyjne złączy i w jaki sposób ograniczyć ujemne oddziaływanie tych obszarów.
Dla uzyskania możliwie najwęższej SWC i jak najmniejszego udziału materiału rodzimego w stopiwie a równocześnie uniknięcia pęknięć gorących stopiwa austenitycznego, złącza próbne wykonano przy najniższej energii liniowej łuku. Uwzględniając pozostałe kryteria jak przy spawaniu rur elektro-

Tablica 6

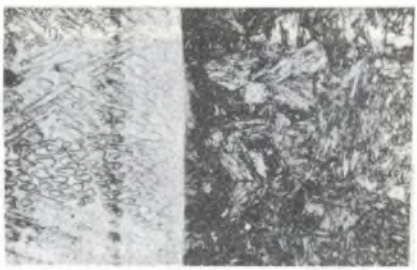
Własności mechaniczne złączy rur ze stali H9M, spawanych elektrodami otulonymi austenitycznymi

Oznaczenie rury	Gatunek elektrod	$Rm_{śr}$ daN/mm^2	Miejsce zerwania	$KVS_{śr}$ daJ/cm^2	$KVW_{śr}$ daJ/cm^2	Gięcie $\alpha^o_{śr}$	
						od strony lica GL	od strony grani
Ø 169 mm g = 8 mm	ES20-24-4CuB	58,6	w materiale rodzimym MR	13,2	6,4	180	140
	ES18-8-2B	58,2	MR	10,8	6,6	180	100
Ø 160 mm g = 7 mm	ES20-24-4CuB	63,6	MR	12,8	6,5	180	120
	ES18-8-2B	61,2	MR	11,0	6,4	180	90
Ø 89 mm g = 5 mm	ES20-24-4CuB	69,2	w spoinie	-	-	180	120
	ES18-8-2B	65,4	w spoinie	-	-	180	100

U w a g a: Wyniki średnie z pięciu pomiarów.



Rys. 9. Makrostruktura złącza rury Ø 160 mm i g = 7 mm, spawanego elektrodą ES20-24-4CuB, 2x



Rys. 10. Mikrostruktura strefy przejściowej złącza rury Ø 160 mm i g = 7 mm, spawanego elektrodą ES20-24-4CuB; z lewej strony spoina, 250x

dami otulonymi materiałopodobnymi ustalono optymalne parametry spawania złączy poszczególnych rur elektrodami austenitycznymi ES18-8-2B i ES20-24-4CuB.

Złącza spawane rur według tych parametrów poddano podobnym badaniom mechanicznym jak złącza spawane elektrodami materiałopodobnymi a wyniki badań zestawiono w tablicy 6.

Na zgładach pobranych z typowych złączy rur, przeprowadzono obserwacje makro i mikroskopowe. Zgłady makro trawiono w odczynniku Adlera a mikro w alkoholowym roztworze $FeCl_2$ i HCl. Wyniki obserwacji podano na rys. 9, 10

Spawanie łukowe ręczne z wkładką pierścieniową, stapianą w grani metodą TIG

Z uwagi na ograniczone środki techniczne przy wykonywaniu wkładek, badania wykonano wyłącznie dla rur Ø 169 mm i g = 8 mm stosując do ułożenia pozostałych warstw złącza elektrody ES18-8-2B, dające stopiwo o zbliżonym

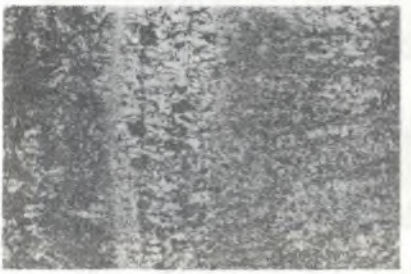
Tablica 7

Własności mechaniczne złączy rur ze stali H9M, spawanych z wkładką pierścieniową z drutu SP13 i elektrodami ES18-8-2B

Oznaczenie rury	$Rm_{śr}$ (daN/mm^2)	Miejsce zerwania	$KVS_{śr}$ (daJ/cm^2)	$KVW_{śr}$ (daJ/cm^2)	Gięcie $\alpha^o_{śr}$	
					od strony lica GL	od strony grani GG
Ø 169 mm g = 8 mm	59,2	w materiale rodzimym	11,4	6,6	180	180

U w a g a: wyniki średnie z pięciu pomiarów.

Rys. 11. Makrostruktura złącza rury Ø 169 mm i g = 8 mm, spawanego z wkładką pierścieniową z drutu SP13 i elektrodą ES18-8-2B, 2x



Rys. 12. Mikrostruktura strefy przejściowej między warstwą graniową i pierwszą warstwą wypełniającą złącza rury Ø 169 mm i g = 8 mm, spawanego z wkładką pierścieniową z drutu SP13 i elektrodą ES18-8-2B; z lewej strony warstwa graniowa, 250x

składzie chemicznym do stopiwa SP13. Brak drutu ze stali H9M uniemożliwił wykonanie podobnych badań ze stapianiem wkładki pierścieniowej dla stopiwa materiałopodobnego. Ustalenie optymalnych parametrów spawania rur wykonano przy tych samych kryteriach jak przy spawaniu rur wyłącznie elektrodami austenitycznymi. Złącza spawane rur spełniające założone kryteria

poddano identycznym badaniom mechanicznym i metalograficznym jak złącza spawane uprzednimi metodami a wyniki badań przedstawiono w tablicy 7 i na rys. 11 i 12.

Analiza wyników badań

Badania mechaniczne materiałów przeznaczonych do spawania wykazały znaczny rozrzut wytrzymałości na rozciąganie rur produkcji polskiej (zwłaszcza rur Ø 89 mm i g = 5 mm), wynikający z braku lub niewłaściwej obróbki cieplnej rur po przeróbce plastycznej (tablicy 2, rys. 5 i 6). Badania nad technologią spawania łukowego ręcznego rur ze stali H9M elektrodami otulonymi materiałopodobnymi OK.76.96 i PPC-9 wykazały, że dla uzyskania własności mechanicznych złączy nie niższych od materiału rodzimego konieczne jest spawanie z podgrzewaniem wstępnym do 250-300°C, dużymi energiami liniowymi łuku (kąt ukosowania 70°) i obróbką cieplną po spawaniu (tablica 3, 4 i 5). Równocześnie nie stwierdzono żadnych różnic własności mechanicznych stopiwa elektrod otulonych OK.76.96 i PPC-9 jak i ich własności spawalniczych. Przy niższych temperaturach podgrzewania wstępnego, zwłaszcza przy silnym usztywnieniu rur spawanych, istnieje niebezpieczeństwo pojawienia się pęknięć. Złącza rur w stanie surowym po spawaniu cechują się wysoką wytrzymałością na rozciąganie i wyraźnym spadkiem własności plastycznych a szczególnie odporności na obciążenia dynamiczne (tablica 5). Przy gięciu statycznym złączy, otrzymano typowe zgięcie daszkowe, składające się z części płaskiej, zawierającej twardą i kruchą spoinę i SWC i z plastycznych zagięć w obszarach przejścia ze SWC do materiału rodzimego (rys. 3).
Badania wpływu obróbki cieplnej po spawaniu na własności mechaniczne złączy ujawniły wyraźny spadek wytrzymałości na rozciąganie i znaczny wzrost własności plastycznych, statycznych i dynamicznych, ze wzrostem temperatury i czasu odpuszczania (tablica 3). Krucha struktura martenzytyczny spoiny i SWC (rys. 7) w wyniku odpuszczenia ulega przemianie na ciągliwy ferryt iglasty z wydzieleniami węglików na granicach ziarn (rys. 8).
Dobór warunków odpuszczania złączy po spawaniu zawiera kompromis między zapewnieniem odpowiednio wysokiej wytrzymałości a wymaganej warunkami eksploatacyjnymi plastyczności. W pewnych przypadkach, gdy złącza konstrukcji spawanej ze stali H9M pracują przy obciążeniach statycznych lub małozmiennych i w wysokiej temperaturze, krucha i twarda spoina i SWC ulega odpuszczeniu przez co złącza uzyskują zadowalające własności plastyczne. Wtedy zbędne jest specjalne odpuszczanie złączy po spawaniu.

Złącza rur spawane elektrodami otulonymi austenitycznymi ES18-8-2B i ES20-24-4CuB jak i złącza wykonane ze stapianiem w grani wkładki pierścieniowej metodą TIG, cechują się wysoką wytrzymałością (zerwanie w materiale rodzimym), dobrymi własnościami plastycznymi stopiwa oraz znacznym spadkiem udarności w obszarach SWC (tablica 6 i 7). Obserwacje makro i mikro-

skopowe złączy potwierdziły prawidłowy dobór warunków spawania, zapewniających wąskie martenzytyczne SWC i strefy przejściowe o mieszanej strukturze austenityczno-martenzytycznej (rys. 9 do 12).
Nieco wyższa udarność SWC w porównaniu z udarnością SWC złączy spawanych elektrodami materiałopodobnymi w stanie surowym po spawaniu praktycznie przy tej samej twardości, rzędu 380-400 HV, wynika prawdopodobnie z amortyzacji wąskiej i twardej SWC stopiwem austenitycznym i ciągliwym materiałem rodzimym z drugiej strony. Oprócz niekorzystnych zmian strukturalnych w SWC, znaczne różnice w rozszerzalności cieplnej pomiędzy materiałem rodzimym i stopiwem austenitycznym prowadzą do powstania w złączu wysokich naprężeń, które mają tendencję do koncentracji przy brzegu spoiny a więc w obszarze o niskiej plastyczności. Naprężenia te są szczególnie niebezpieczne, gdy złącze poddane jest w czasie pracy cyklicznym zmianom temperatury, które pobudzić mogą utworzenie się pęknięć cieplno-zmęczeniowych lub pęknięć korozji naprężeniowej. Z tych względów technologia spawania stali H9M z zastosowaniem stopiwa austenitycznego powinna być stosowana wyłącznie przy wytwarzaniu urządzeń przeznaczonych do pracy w stałej temperaturze i przy możliwie stałym obciążeniu, co ma miejsce w zakładach petrochemicznych.
Zastosowanie wkładki pierścieniowej w technologii spawania doczołowego rur usprawnia znacznie proces spawania, zapewniając równocześnie otrzymanie wysokiej wytrzymałości, jednorodności i gładkości ściegu graniowego złącza (rys. 11). Stopiona wkładka pierścieniowa staje się częścią ściegu grani spoiny i zapewnia całkowite przetopienie oraz łagodne przejście pomiędzy łączonymi rurami a stopiwem grani. Uzyskuje się przez to dodatkowo obniżenie do minimum ograniczenia przepływu medium wewnątrz rurociągu i eliminuje całkowicie pęknięcia w tym obszarze, dzięki łatwej regulacji energii liniowej łuku stapiającego wkładkę.

Wstępne badania odporności na korozję złączy spawanych według ustalonych warunków przeprowadzono w 10% H_2SO_4 w 20°C. Wykazały one dobrą odporność korozyjną złączy spawanych elektrodami otulonymi materiałopodobnymi i austenitycznymi, przy czym odporność korozyjna spoin austenitycznych zależy od stosunku powierzchni anody (materiału rodzimego) i katody (spoiny austenitycznej). Pełne badania odporności na korozję złączy spawanych według ustalonych technologii, prowadzone są w Instytucie Spawalnictwa w Gliwicach.

LITERATURA

[1] L. Colombier, J. Hochmann - Stale odporne na korozję i stale żaroodporne, Śląsk, Katowice, 1969.

[2] R. Castro, J. de Cadenet - Metalurgia spawania stali odpornych na korozję i żarowytrzymałych, WNT, W-wa, 1972.

[3] G.E. Linnert - Welding metallurgy AWS, 2, 1967, 540.
[4] W.G. Diakow - Liegirowannyie stali dla nieftiechniczieskogo oborudowanija, Maszinostrojenieje, Moskwa, 1971.
[5] Al. Phillips - Welding handbook AWS, 4, 1960, 64.2.
[6] W.N. Pupelis - Awt. Swarka, 10, 1973, 48.
[7] G. Arink- Met. Constr. a. British Weld. J., 8, 1972, 286.
[8] A. Klimpel, Z. Bulski - Biuletyn Instytutu Spawalnictwa, 49, 1973, 49

ТЕХНОЛОГИЯ ТОРЦЕВОЙ СВАРКИ ТРУБ ИЗ ЖАРОПРОЧНОЙ СТАЛИ Н9М

Р е з ю м е

Разработано оптимальные условия сварки труб из стали Н9М диаметром Ø = 169 мм, g = 8 мм, Ø = 160 мм, g = 7 мм, Ø = 89 мм, g = 5 мм мартенситными и аустенитными покрытыми электродами, а также с применением кольцевой втулки сплавляемой в корне шва методом TIG. Проведено механические, металлографические и корозионные испытания сварных соединений.

WELDING TECHNOLOGY OF BUTT JOINTS OF PIPES FROM H9M TYPE HEAT RESISTING STEEL

S u m m a r y

Optimal butt arc welding conditions H9M type steel pipes of diameter Ø = 169 mm and g = 8 mm, Ø 160 mm and g = 7 mm and Ø = 89 mm, g = 5 mm using martensitic and austenitic types covered elektrodes and ring inserts melted TIG-arc at root of joint have been stated. Mechanical, metallographical and corrosion tests of welded pipe joints have been carried out.