

Badania złącza doczołowego blachy stalowej platerowanej wybuchowo stopem niklu Inconel 625

Research of the butt joint steel sheet metal that is explosively clad of nickel alloy Inconel 625

Streszczenie

W artykule przedstawiono porównanie dwóch technologii wykonania złącza doczołowego stali P355NH platerowanej wybuchowo stopem Inconel 625. Przedstawiono wpływ zastosowania prądu pulsującego na skład chemiczny ściegów wykonanych metodą 131. Opracowana technologia spawania zapewniła uzyskanie składu chemicznego zgodnie z wymaganiami norm ASME SECTION II, PART A oraz PN-EN 10095:2002.

Słowa kluczowe: Inconel 625; spawanie materiałów platerowanych; materiały różnoimienne

Abstract

The article presents a comparison of two welding technologies of butt joints of explosively clad P355NH – Inconel 625 plate. The influence of applying pulsing current on the chemical composition of stitches made by method 131 is presented. The applied welding technology ensure the chemical composition in accordance with the requirements of ASME SECTION II, PART A and PN-EN 10095:2002.

Keywords: Inconel 625; welding of clad materials; dissimilar materials

Wstęp

Nowoczesne instalacje energetyczne np. w geotermii, wymagają stosowania innowacyjnych materiałów konstrukcyjnych. Jedną z metod uzyskiwania takich materiałów jest zgrzewanie wybuchowe, jednak aplikacja uzyskanych platerów wymaga przygotowania technologii ich łączenia. W ramach projektu „Nowe, odporne korozyjnie materiały wytworzone metodą wybuchową dla zastosowań w instalacjach geotermalnych” opracowano technologię wykonania spawanego złącza doczołowego bimetalu, uzyskanego poprzez zgrzewanie wybuchowe stali P355NH ze stopem niklu Inconel 625. Spawanie złączy doczołowych stali platerowanych stopem Inconel 625 wiąże się z wieloma trudnościami, związanymi ze spawaniem materiałów różnoimienych, w tym głównie ze zjawiskiem mieszania materiału spoiny oraz związaną z tym makroniejednorodnością [1]. W wyniku procesu spawania mogą powstać eutektyki o niskiej temperaturze topnienia, co przyczynia się do powstawania pęknięć gorących [2,3]. Niejednorodność składu chemicznego dodatkowo powoduje lokalne obniżenie odporności korozyjnej materiału spoiny, a więc właściwości szczególnie pożądanej w przypadku większości zastosowań materiałów platerowanych [4]. W związku z tym konieczne jest specyficzne podejście do opracowania technologii spawania tych materiałów z uwzględnieniem stosowanych materiałów dodatkowych.

Kluczowe znaczenie w zapewnieniu oczekiwanych właściwości złącza spawanego ma właściwy dobór geometrii rowka spawalniczego, a także sekwencja układania ściegów spoiny. Decyduje ona o przebiegu procesów metalurgicznych podczas spawania na granicy pomiędzy materiałem bazowym a nakładanym. Granica ta i strefa wokół niej stanowią newralgiczny obszar dla złącza doczołowego materiałów platerowanych. Obszar ten jest związany ze zmianą składu chemicznego pomiędzy ściegami łączącymi stal a ściegami platerującymi. Zmiana ta następuje w spoinie stopniowo, a jej charakter jest uzależniony w głównej mierze od uzyskiwanych głębokości wtopienia, ruchu cieczy w jeziorku spawalniczym oraz materiałów rodzimych i dodatkowych. Czynniki te wpływają bezpośrednio na stopień wymieszania spoiny.

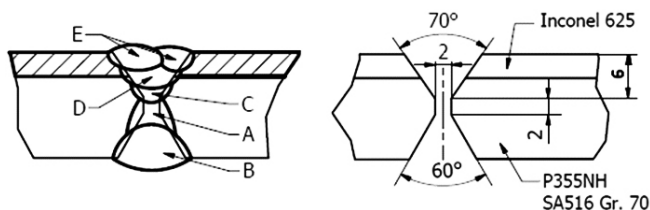
Badania własne

Badania technologii spawania przeprowadzono dla dwóch rodzajów złączy bimetalu – stal P355NH o grubości 10 mm platerowana wybuchowo stopem Inconel 625 o grubości 3 mm (rys. 1, 2).

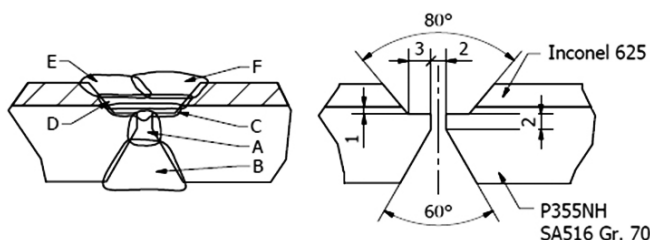
Mgr inż. Marcin Szmul – Famet S.A., dr inż. Anna Pocica – Politechnika Opolska, mgr inż. Zygmunt Szulc – ZTW Explomet Sp. J. Gałka, Szulc.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: marcin.szmul@wp.pl

Przyjęta konstrukcja złącza 1 (rys. 1) i planowane badania zakładają uwzględnienie w obliczeniach projektowych przenoszenia obciążeń przez cały przekrój poprzeczny plateru. W przypadku złącza 2 (rys. 2) przyjęto, iż materiał nakładany nie jest uwzględniany w obliczeniach wytrzymałościowych. Oba podejścia opisano w wytycznych projektowania aparatury z zastosowaniem materiałów platerowanych wg ASME Section VIII Division 1, co ma istotne znaczenie w przypadku badań właściwości uzyskanego złącza oraz kwalifikowania technologii spawania.



Rys. 1. Sposób przygotowania oraz kolejność spawania złącza nr 1
Fig. 1. Preparation and welding sequence of joint no. 1



Rys. 2. Sposób przygotowania oraz kolejność spawania złącza nr 2
Fig. 2. Preparation and welding sequence of joint no. 2

W złączu nr 1 zastosowano ukosowanie na „2V” ze szczeliną. Wybór sposobu ukosowania był podyktowany założeniem wykonywania 2-óch warstw ściegów platerujących D i E, drutem OK NiCrMo-3 w osłonie argonu o stopniu czystości 99,995%. Ściegi A, B i C zostały wykonane drutem stalowym ATBłu SG3 w osłonie mieszanki M21 (82% Ar + 18% CO₂). Po wykonaniu ściegów A i B usunięto grań ściegu A i wykonano ścieg C. Następnie wyszlifowano jego lico aż do uzyskania głębokości rowka od strony plateru równej 4 mm. Głębokość ta zapewnia naddatek na wykonanie ściegów E wypełniających rowek o głębokości 2÷3 mm, uzyskanych po szlifowaniu lica ściegu D. Założono, iż w ten sposób uzyska się żądany skład chemiczny spoiny warstwy platerującej, z uwzględnieniem wymieszania ściegów ze stopu niklu ze spoiną o składzie chemicznym odpowiadającym stali P355NH. Sekwencja układania ściegów spoiny została przedstawiona na rysunku 1. Spawanie odbywało się prądem stałym, ciągłym z biegunowością dodatnią.

W złączu nr 2 zastosowano ukosowanie na „V” ze szczeliną. Natomiast po stronie plateru wyfrezowano wybranie w celu wykonania platerowania na drodze napawania w 3-ech

warstwach. Ten sposób ukosowania jest często stosowany w praktyce przemysłowej. Ściegi A i B zostały wykonane drutem stalowym ATBłu SG3. Po wykonaniu ściegu B wyszlifowano grań ściegu A i wykonano ścieg C. Następnie wyszlifowano jego lico aż do uzyskania głębokości rowka od strony plateru równej 3 mm. Głębokość ta zapewnia naddatek na wykonanie dwóch kolejnych warstw. Po wykonaniu ściegu D przeprowadzono jego szlifowanie w celu uzyskania głębokości rowka wynoszącej 2 mm i ułożono ściegi E i F. Ściegi C, D, E i F wykonano drutem OK NiCrMo-3 w osłonie argonu o stopniu czystości 99,995%. Spawanie odbywało się prądem stałym pulsującym z biegunowością dodatnią ($I_b = 84 \text{ A}$, $I_p = 260 \text{ A}$, $U = 35 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$). Sekwencja układania ściegów została przedstawiona na rysunku 2. Po spawaniu wymiary płyt próbnych wynosiły 13 (10+3) x 300 x 400 mm.

Wyniki badań

Uzyskane złącza poddano badaniom zgodnie z wytycznymi określonymi w normie PN-EN ISO 15614-1. Przeprowadzone badania NDT (VT zgodnie z PN-EN ISO 17637; PT zgodnie z PN-EN 571-1; RT zgodnie z PN-EN ISO 17636-1) wykazały, iż złącza posiadają odpowiedni poziom jakości. Również przeprowadzone badania niszczące (tabl. I) – badania na rozciąganie poprzeczne zgodnie z AD-2000 Merkblatt W8 oraz PN-EN ISO 4136; badania na zginanie boczne zgodnie z PN-EN ISO 5173; badania udarowości zgodnie z PN-EN ISO 9016 i PN-EN ISO 148-1; badania twardości zgodnie z PN-EN ISO 15614-1 oraz PN-EN ISO 9015; badania metalograficzne makroskopowe zgodnie z EN 1321, potwierdziły, iż złącza spełniają wymagania stawiane przez poszczególne normy.

Poza wymienionymi wyżej badaniami, przeprowadzono także badania składu chemicznego ściegów platerujących, gdyż w dużej mierze decyduje on o odporności korozyjnej materiału.

Badania składu chemicznego ściegów platerujących

W celu określenia prawidłowości wykonanego procesu spawania złączy doczołowych stali platerowanej stopem Inconel 625, przeprowadzono badania składu chemicznego warstwy platerującej. Analiza składu chemicznego została wykonana przy użyciu mikroskopu skaningowego JEOL JCM-6000 wyposażonego w detektor do badań EDS. Sposób prowadzenia bezwzorcowej, jakościowej i ilościowej analizy liniowej składu chemicznego na przykładzie złącza 2 przedstawiono na rysunku 3, a uzyskane wyniki zestawiono w tablicach II i III.

Tablica I. Własności mechaniczne badanych złączy
Table I. Mechanical properties of tested joints

Nr złącza	R _m , MPa	Udarowość, J				Twardość HV5					
		Materiał bazowy		Materiał nakładany		Materiał bazowy			Materiał nakładany		
		Spoina	SWC	Spoina	SWC	MR	SWC	Spoina	MR	SWC	Spoina
1	680	59	59	22	23	188,8	222,6	205,3	301,8	264	212,7
2	606	32	35	–	–	189,3	229,1	217,2	288,8	269	231,7

Typ próbek do badań udarowości: materiał bazowy–KV450/5; Materiał nakładany–KV450/2,5

Tablica II. Wyniki badań składu chemicznego złącza 1
Table II. Obtained results of chemical composition research of joint 1

Złącze 1 – rozkład składu chemicznego										
Pierwiastek	Skład chemiczny spoiw i materiału podstawowego (P355NH), %			Zbadany udział masowy danego pierwiastka, %						
	OK Autrod NiCrMo-3	ATBlu SG3	P355NH	Odległość od lica spoiny platerującej [mm]						
				1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,5	7,5
C	0,016	0,008	0,18	–	–	–	–	–	–	–
Al	0,13	0,004	0,041	1,95	0,98	0,16	–	0,11	0,16	0,12
Si	0,06	0,94	0,35	–	0,12	0,27	0,03	0,1	0,16	0,09
Ti	0,19	0,002 (Ti+Zr)	0,003	0,18	0,28	0,16	0,18	0,1	0,3	0,18
Cr	22	0,03	0,02	20,75	20,88	21,35	19,66	19,04	18,55	21,4
Mn	0,02	1,68	1,19	0,38	0,16	0,61	0,45	0,65	0,71	0,6
Fe	0,42	98,14	98,14	5,64	6,82	5,34	13,43	14,47	17,48	5,74
Ni	65	0,026	0,22	58,96	58,08	59,48	55,8	53,91	51,82	59,47
Nb	3,48	–	0,02	3,29	3,26	3,14	2,38	2,57	2,69	3,14
Mo	8,7	0,019	0,012	8,85	9,41	9,49	8,08	8,87	8,12	9,25

Znak "–" oznacza, że nie określono zawartości danego pierwiastka

Tablica III. Wyniki badań składu chemicznego złącza 2
Table III. Obtained results of chemical composition research of joint 2

Złącze 2 – rozkład składu chemicznego												
Pierwiastek	Skład chemiczny spoiw i materiału podstawowego (P355NH), %			Zbadany udział masowy danego pierwiastka, %								Materiał rodzimy Inconel 625
	OK Autrod NiCrMo-3	ATBlu SG3	P355NH	Odległość od lica spoiny platerującej [mm]								
				0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,0	
C	0,016	0,008	0,18	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Al	0,13	0,004	0,041	0,1	0,11	0,16	0,08	0,12	0,03	0,13	0,16	0,16
Si	0,06	0,94	0,35	0,07	0,06	0,08	0,11	0,07	0,04	0,07	0,07	0,20
Ti	0,19	0,002 (Ti+Zr)	0,003	0,19	0,22	0,17	0,23	0,17	0,22	0,17	0,12	0,12
Cr	22	0,03	0,02	22	22,05	22,07	22,08	22,14	22,12	22	21,86	21,52
Mn	0,02	1,68	1,19	0,56	0,48	0,47	0,47	0,45	0,53	0,53	0,59	0,52
Fe	0,42	98,14	98,14	2,5	2,49	2,24	2,86	2,41	2,85	3,62	2,82	4,66
Ni	65	0,026	0,22	61,9	62,15	62,18	62,2	62,05	61,98	61,07	62,07	60,50
Nb	3,48	–	0,02	3,11	3,11	3,38	2,93	3,15	3,2	3,14	3,09	3,15
Mo	8,7	0,019	0,012	9,5	9,34	9,25	9,05	9,44	9,03	9,26	9,22	9,17

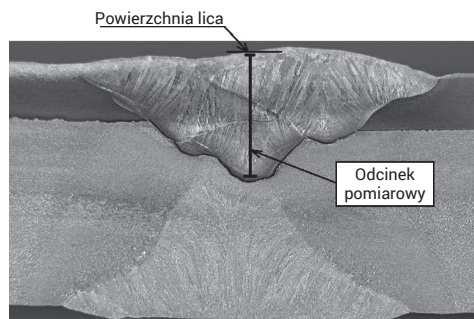
Znak "–" oznacza, że nie określono zawartości danego pierwiastka

Tablica IV. Skład chemiczny stopu Inconel 625 wg PN-EN 10095:2002

Table IV. The chemical composition of the Inconel 625 alloy according to PN-EN 10095:2002

Oznaczenie stopu		Dopuszczalny skład chemiczny wg PN-EN 10095:2002, % masy						
Znak	Numer	C	Mn max	Si max	P max	S max	Ni	Cr
NiCr22 Mo9Nb Inconel 625	2.4856	0,03÷0,10	0,5	0,5	0,02	0,015	min.58	20,0÷23,0
		Co max	Fe max	Mo	Al max	Ti max	Cu max	Nb+Ta
		1,0	5,0	8,0÷10,0	0,4	0,4	0,5	3,15÷4,15

Jako kryteria oceny składu chemicznego warstwy platerującej spoiny, przyjęto wymagania określone przez normę ASME SECTION II, PART A „Specification for nickel and nickel-base alloy-clad steel plate” SA-265, zgodnie z którymi skład chemiczny powinien odpowiadać wymaganiom określonym przez odpowiednie normy dotyczące składu chemicznego materiału nakładanego, określone w specyfikacjach sekcji II. W związku z powyższym dla warstwy platerującej przyjęto zakres zawartości poszczególnych pierwiastków chemicznych określony w tablicy IV na podstawie normy PN-EN 10095 „Stale i stopy niklu żaroodporne”.



Rys. 3. Schemat prowadzenia badań składu chemicznego na przykładzie złącza 2

Fig. 3. The chemical composition research scheme on the example of joint 2

Wnioski

1. Zastosowanie spawania prądem pulsującym zmniejsza stopień wymieszania, co wpływa na uzyskanieżądanego składu chemicznego spoiny;
2. Właściwa konstrukcja rowka spawalniczego, sekwencja układania ściegów wraz z zastosowaniem zabiegów ograniczających stopień wymieszania oraz odpowiednich materiałów dodatkowych, wpływają na uzyskanie odpowiedniej jakości złącza doczołowego stali platerowanej stopem Inconel 625.

Literatura

- [1] Cieślak M.: The welding and solidification metallurgy of alloy 625, Welding Research Supplement, https://app.aws.org/wj/supplement/WJ_1991_02_s49.pdf; 19.04.2017r.
- [2] Eui-Je Jung, Hae-Woo Lee: Comparison of Corrosion Resistance and Corroded Surfaces of Welding Metal in Overlay-Welded Inconel 600 and Inconel 625 by Gas Metal Arc Welding, Int. J. Electrochem. Sci., 11, 2016, pp. 7125-7138, doi: 10.20964/2016.08.71
- [3] Long Long Guo i in.: Effect of Heat Treatment Temperatures on Microstructure and Corrosion Properties of Inconel 625 Weld Overlay Deposited by PTIG, Int. J. Electrochem. Sci., 11, 2016, pp. 5507-5519, doi: 10.20964/2016.07.97
- [4] Tasak E.: Metalurgia spawania, Wydawnictwo JAK, Kraków 2008, ISBN 978-83-923191-1-5