

Spawanie stali ulepszonej cieplnie na przykładzie S690QL

Welding of heat-treated steel on the example of S690QL

Streszczenie

W pracy przedstawiono technologię spawania stali ulepszonej cieplnie na przykładzie S690QL. Część badawcza pracy prezentuje wszystkie istotne parametry i założenia niezbędne do wykonania złącza spawanego. Dodatkowo zawarte zostały wyniki badań, które przeprowadzono na specjalnie przygotowanych próbkach. Dla porównania zestawiono ze sobą dwa złącza czołowe o grubości 12 mm i 50 mm oraz złącze pachwinowe o grubości 40 mm. Zakres badań obejmuje badania nieniszczące takie jak: wizualne, penetracyjne, ultradźwiękowe i radiograficzne oraz badania niszczące tj. próby rozciągania, zginania, udarności, ocenę makrostruktury oraz pomiar twardości złącza.

Słowa kluczowe: złącze spawane; badania nieniszczące; własności mechaniczne

Abstract

The paper presents the technology for welding of heat-treated steel on the example of S690QL steel. Part of the research work shows all relevant parameters and assumptions necessary for the implementation of the welded joint. In addition, part of the research included the results of studies that were conducted on specially prepared specimens. For comparison two butt welds with a thickness of 12 mm and 50 mm and a fillet weld thickness of 40 mm are presented. The scope of research includes the non-destructive testing such as visual test, penetration test, ultrasonic test, radiographic test and destructive tests, which include: tensile test, bending test, impact test, macro test and measurement of hardness.

Keywords: welding joint; non-destructive testing; mechanical properties

Wstęp

Stale ulepszone cieplnie są to stale drobnoziarniste niskostopowe, w których dzięki dobraniu odpowiedniego składu chemicznego, warunków walcowania oraz obróbki cieplnej można uzyskać granicę plastyczności w zakresie 450÷1000 MPa [1].

Obecnie wprowadza się nową technologię wytwarzania stali ulepszonych cieplnie, która polega na bezpośrednim hartowaniu blachy po jej odwalcowaniu bez ponownego nagrzewania. Dzięki tej technologii uzyskuje się granicę plastyczności stali większą o ok. 130 MPa, w porównaniu do konwencjonalnego ulepszenia cieplnego przy tym samym składzie chemicznym stali. Przy zastosowaniu tej metody można utworzyć stal ulepszoną cieplnie, która posiada o 0,05% mniejszy równoważnik węgla, a tym samym odznacza się lepszą spawalnością w porównaniu ze stalą wyprodukowaną według dotychczasowej techniki [2].

Ze względu na to, że dla stali ulepszonych cieplnie wartości równoważnika węgla są wyższe niż dla stali walcowanych normalizująco lub normalizowanych, ulegają one w strefie wpływu ciepła większemu utwardzeniu, przez co należy przestrzegać zasad spawania, aby zapobiec powstaniu zimnych pęknięć. Jeżeli równoważnik węgla dla stopiwa będzie większy od równoważnika węgla dla materiału

rodzimego, temperaturę wstępnego podgrzania należy dobrać zgodnie ze składem chemicznym stopiwa [3].

Obniżenie wytrzymałości strefy wpływu ciepła wynikające z nagrzania złącza do temperatury przekraczającej temperaturę odpuszczania stali, a także występowanie przy końcu SWC obszaru o obniżonej twardości powoduje, że powinno się kontrolować maksymalną temperaturę międzycięgową oraz ilość wprowadzonego ciepła [4]. Tym samym ogranicza się szerokość tego obszaru oraz stopień jego zmiękczenia.

Materiały dodatkowe do spawania stali ulepszonej cieplnie dobiera się w taki sposób, aby uzyskać stopiwo o granicy plastyczności dostosowanej do granicy plastyczności określonej stali. W przypadku stali o wyższej granicy plastyczności do spawania zaleca się stosowanie spoiw, których granica plastyczności stopiwa jest niższa od granicy plastyczności dla materiału rodzimego. Jest to warunek istotny dla wykonywania ściegów graniowych, ponieważ występuje duża skłonność do pojawienia się zimnych pęknięć. Do wykonania warstw wypełniających i licowych stosuje się drut, który daje stopiwo o nieco mniejszej wytrzymałości od materiału rodzimego. Wskutek dużego stopnia wymieszania można uzyskać wyższe własności wytrzymałościowe dla całego złącza w porównaniu do materiału rodzimego.

Dr inż. Anna Pocica – Politechnika Opolska, inż. Maciej Obara – Famet S.A.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: a.pocica@po.opole.pl

Badania własne

Badaniom poddano złącza doczołowe i teowe ze stali S690QL (tabl. I). Złącza wykonano metodą MAG (135) w osłonie mieszanki gazowej 82% Ar i 18% CO₂, drutem Bohler X 70-IG EN ISO 16834-A: G Mn3NiCrMo, o średnicy 1,2 mm. Temperatura podgrzewania wstępnego wynosiła min. 100 °C, temperatura międzyścięgowa złączy doczołowych 200 °C, a teowych 250 °C. Parametry spawania przedstawiono w tablicy II. W przypadku złączy doczołowych wymiary blach wynosiły 12 x 300 x 350 mm oraz 50 x 300 x 350 mm natomiast w przypadku połączenia teowego 40 x 350 x 350 mm przy podstawie oraz 40 x 150 x 350 mm w pionie.

Tablica I. Skład chemiczny i własności badanej stali

Table I. Chemical composition and mechanical properties of tested steel

Skład chemiczny stali [%]							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0,17	0,28	1,03	0,01	0,003	0,59	0,47	0,32
Al	N	V	Nb	Ti	B	Cu	C _{eq}
0,051	0,0089	0,04	0,004	0,004	0,0031	0,12	0,57
Właściwości mechaniczne							
R _m , MPa	R _e , MPa		A ₅ , %	Udarność, J			
921	855		15,6	139			

Zgodnie z PN-EN ISO 15614-1 [5] zakres badań złącza doczołowego obejmował badania nieniszczące: wizualne, penetracyjne oraz radiograficzne w przypadku blach o grubości 12 mm i ultradźwiękowe w przypadku blach o grubości 50 mm. Badania obejmowały 100% długości złącza oraz SWC od strony lica i grani. Przeprowadzono również próby rozciągania, zginania, udarności, ocenę makrostruktury spoiny oraz twardości. Dla złącza teowego wykonano badania wizualne, penetracyjne, obejmujące 100% długości złącza i SWC od strony lica 1 i lica 2, a także ocenę makrostruktury oraz pomiary twardości.

Badania wizualne, przeprowadzone przy użyciu standardowego wyposażenia, wykazały, że wszystkie złącza spełniają klasę jakości B.

Badania penetracyjne przeprowadzono metodą penetracji barwnej preparatami firmy DIFFU-THERM w temperaturze pokojowej. Wszystkie złącza spełniały poziom jakości B, zgodnie z PN-EN ISO 23277 [6].

Dla złącza o grubości 12 mm wykonano badania rentgenowskie, a dla złącza o grubości 50 mm badania ultradźwiękowe.

Badania rentgenowskie wykonano aparatem MXR200. Napięcie przyspieszające wynosiło 160 kV, a czas ekspozycji 2,5 min. Stwierdzono, że złącze spełnia poziom jakości B, zgodnie z PN-EN ISO 23277.

Badania ultradźwiękowe prowadzono metodą OWR defektoskopem Olympus EPOCH 650. Stwierdzono brak wskazań przekraczających poziom rejestracji, a złącze spełniało poziom jakości B.

Tablica II. Parametry spawania

Table II. Welding parameters

Rodzaj złącza	Prąd spawania [A]	Napięcie prądu [V]	Natężenie przepływu gazu [l/min]	Pozycja spawania	Rodzaj prądu
Doczołowe g = 12 mm	110÷245	19÷27	13÷15	PA	DC+
Doczołowe g = 50 mm	105÷215	15÷27	15÷17	PA	DC+
Teowe g = 40 mm	220÷240	26÷29	14÷16	PB	DC+

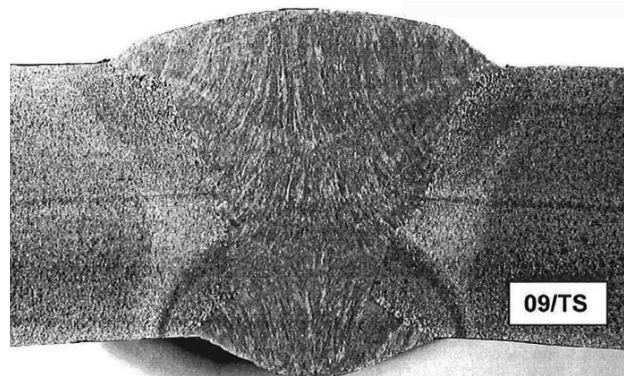
Próby rozciągania wykonano na zrywarce ZD40 NR 282/53 o zakresie siłomierza 300 N, a udarności na młocie WPM NR 423/48. Zginanie wykonano trzpieniem o średnicy 40 mm, przy rozstawie podpór 70 mm. Próba udarności została przeprowadzona na próbkach z karbem Charpy, w temperaturze -40 °C i przy minimalnej pracy łamania 30 J. Wartości średnie badań mechanicznych przedstawiono w tablicy III.

Makrostrukturę złączy określono stosując odczynnik Adlera, przy powiększeniu 4x. Zaobserwowane struktury przedstawiono na rysunkach 1÷3.

Tablica III. Własności mechaniczne złączy spawanych

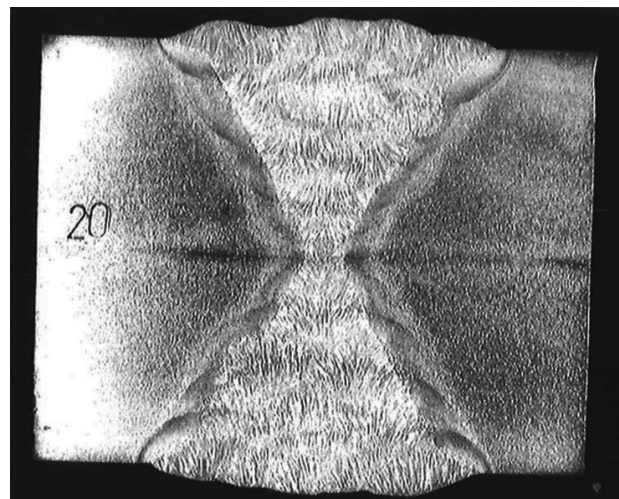
Table III. Mechanical properties of welding joint

Rodzaj złącza	R _m [MPa]	Miejsce zerwania	Kąt zginania 180°	Praca łamania [J]
Doczołowe g = 12 mm	772	spoina	brak wad	87
Doczołowe g = 50 mm	798	spoina	brak wad	91



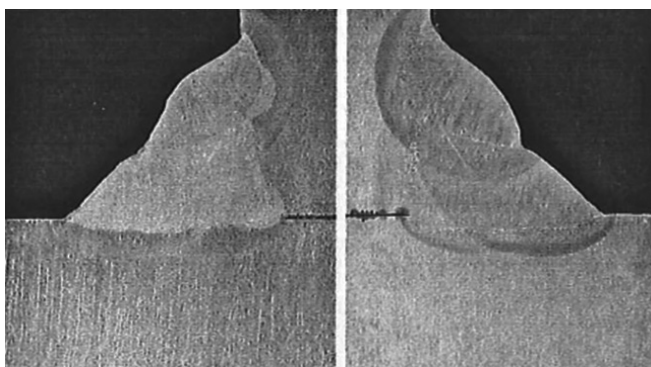
Rys. 1. Makrostruktura złącza o grubości 12 mm

Fig. 1. Macrostructure of the joint with a thickness of 12 mm



Rys. 2. Makrostruktura złącza o grubości 40 mm

Fig. 2. Macrostructure of the joint with a thickness of 40 mm



Rys. 3. Makrostruktura złącza o grubości 50 mm
Fig. 3. Macrostructure of the joint with a thickness of 50 mm

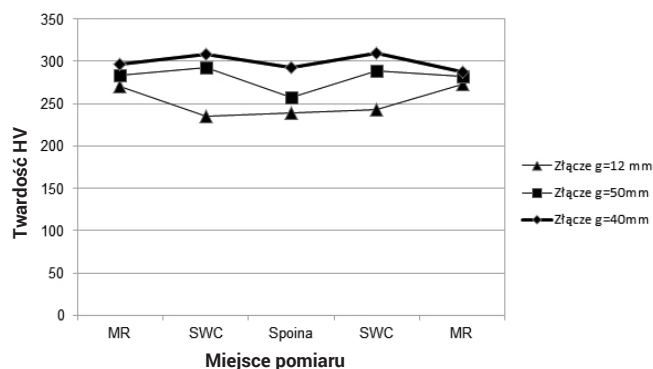
Na podstawie obserwacji stwierdzono, że budowa wewnętrzna spoiny i SWC jest prawidłowa, bez widocznych niezgodności spawalniczych, a złącze spełnia poziom jakości B.

Badania twardości wykonano na twardościomierzu Vickersa ZWICK. Dla złączy o grubości 12 i 40 mm pomiary prowadzono w dwóch liniach pomiarowych, a dla złącza o grubości 50 mm, w trzech liniach. W każdym obszarze złącza wykonano po 3 pomiary. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 4.

Na podstawie wstępnej instrukcji spawania oraz uzyskanych wyników badań opracowano instrukcje WPS dla wszystkich złączy.

Analiza wyników badań

Przeprowadzone badania statyczne pozwoliły stwierdzić, że w przypadku próby rozciągania próbek wartości granicy wytrzymałości są podobne. Granica wytrzymałości R_m oscy-



Rys. 4. Rozkład twardości w przekroju poprzecznym badanych złączy
Fig. 4. Hardness distribution in the cross-section of tested joints

luje między 770÷800 MPa, przy wartościach dopuszczalnych 770÷940 MPa. W próbie zginania nie wykryto żadnych nieprawidłowości. Maksymalna udarność wynosiła 103 J, charakter przelomów był plastyczny lub mieszany. Wszystkie wyniki mieszczą się w wytycznych normy. Badanie twardości wykazało zbliżoną twardość wszystkich złączy. Wyniki spełniają kryteria PN-EN ISO 9015-1.

Po zestawieniu ze sobą wszystkich wyników badań można zauważyć, że wszystkie próbki muszą zostać podgrzane do pewnej temperatury przed spawaniem. Dla stali S690QL zaleca się stosować podgrzewanie przed spawaniem już od grubości równej 10 mm. Następnym istotnym aspektem jest temperatura międzyścięgowa, która w przypadku tej stali nie może przekroczyć 250 °C, w przeciwnym razie może dojść do znacznego osłabienia własności mechanicznych złącza. Badania makroskopowe wskazują na to, że złącza spawane spełniają poziom jakości B wg PN-EN ISO 5817 [7]. Oznacza to, że spoina została wykonana w sposób prawidłowy.

Podsumowanie

Wyniki wszystkich przeprowadzonych badań były do siebie podobne, co jednoznacznie potwierdza fakt, że technologie spawania i parametry zostały dobrane prawidłowo. Jednakże podczas spawania stali S690OL należy zwracać szczególną uwagę na to, aby nie wprowadzić do spoiny zbyt dużej ilości ciepła, ponieważ może to doprowadzić do drastycznego spadku własności mechanicznych połączenia spawanego, takich jak obniżenie granicy plastyczności R_e i granicy wytrzymałości R_m . Może również dojść do znacznego rozrostu ziarna i jego iglastej budowy, co jest niepożądane.

Literatura

- [1] Tasak E.: Spawalność stali, Fotobit, Kraków, 2002.
- [2] Tasak E.: Metalurgia spawania, Wyd. Jak, Kraków, 2008.
- [3] Brózda J.: Stale konstrukcyjne i ich spawalność, Instytut Spawalnictwa, Gliwice, 2008.
- [4] Makles K., Spawalność i wybrane właściwości złączy stali ulepszanych cieplnie. Przegląd Spawalnictwa nr 8, 2014, s.19-25
- [5] PN-EN ISO 15614-1: Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali – Badanie technologii spawania – Część 1: Spawanie łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu
- [6] PN-EN ISO 23277:2015-05: Badanie nieniszczące spoin – Badanie penetracyjne spoin – Poziomy akceptacji tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek) – Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych
- [7] PN-EN ISO 5817: Spawanie – Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązek) – Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych