

Wpływ podgrzewania wstępnego na właściwości mechaniczne złączy spawanych ze stali X10CrAlSi13

Influence of preheat temperature on mechanical properties of steel X10CrAlSi13 welded joints

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu podgrzewania wstępnego na właściwości mechaniczne złącza spawane ze stali X10CrAlSi13. Badaniu poddano dwa złącza oznaczone jako: P1 i P2, gdzie odpowiednio: nie zastosowano i zastosowano podgrzewanie wstępne. Analiza porównawcza złączy obejmowała badania właściwości mechanicznych, które obejmowały: statyczną próbę rozciągania, pomiar twardości, próbę udarności oraz próbę gięcia. Badania właściwości mechanicznych uzupełniono badaniami makroskopowymi. Dodatkowo została oceniona zasadność stosowania spoiw austenitycznych do spawania tej klasy stali. Wskazano również dalsze kierunki badań nad chromowymi stalami ferrytycznymi.

Słowa kluczowe: podgrzewanie wstępne; chromowa stal ferrytyczna; właściwości mechaniczne

Abstract

The paper presents influence of preheat temperature on mechanical properties of steel X10CrAlSi13 welded joints. Research also includes macrography with evaluation of grain growth and an angle bend test along with assessment of plasticity properties. Additionally austenitic welding consumables were validated in terms of forming weld joint with appropriate properties. Finally study provides guidance for further research on X10CrAlSi13 welded joints.

Keywords: preheat; chromium ferritic steel; mechanical properties

Wstęp

W przemyśle energetycznym stale ferrytyczne odporne na korozję stanowią konkurencję dla stali austenitycznych, ze względu na ich niższą cenę. Główną wadą stali ferrytycznych jest wysoka temperatura przejścia w stan kruchy, ze względu na dużą ilość chromu zawierającego się w przedziale od 10,5% do 30% oraz mniejsza odporność na korozję równomierną w porównaniu do stali austenitycznych. Cechą charakterystyczną tej grupy stali jest mała zawartość węgla oraz brak przemian fazowych, co czyni je stalami niehartującymi się. Warunkiem koniecznym uzyskania zadawalających

właściwości mechanicznych i plastycznych stali ferrytycznych jest uzyskanie drobnoziarnistej struktury [1÷4]. Ograniczeniem w zastosowaniu chromowych stali ferrytycznych jest niespełnienie wymagań dyrektywy ciśnieniowej 97/23/WE PED dotyczących stali. Dyrektywa ta narzuca energię łamania na poziomie co najmniej 27 J i wydłużenia wynoszącego minimalnie 14 % w każdej strefie złącza spawanego.

Chromowa stal ferrytyczna X10CrAlSi13 należy do grupy stali żaroodpornych i jest przeznaczona na żaroodporne części kotłów (m.in. brodawki pomiarowe, elementy mocujące

Tablica I. Skład chemiczny stali X10CrAlSi13

Table I. Chemical composition of X10CrAlSi13 steel

Zawartość pierwiastków, % masy							
X10CrAlSi13	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
Skład chemiczny badanej stali	0,065	0,94	0,84	0,021	0,001	12,56	0,93
Wymagana zawartość pierwiastków według PN-EN 10095	max 0,12	0,50÷1,0	max 1,00	max 0,040	max 0,015	12,00÷14,00	0,70÷1,20

Mgr inż. Maciej Woszek – Doosan Babcock Energy Polska Sp. z o.o.; dr hab. inż. Jacek Słania, Prof. PCz; dr hab. inż. Grzegorz Golański, Prof. PCz – Politechnika Częstochowska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: maciejwoszek@gmail.com

Tablica II. Właściwości mechaniczne stali X10CrAlSi13**Table II.** Mechanical properties of X10CrAlSi13 steel

	R_{p0,2}, MPa	R_m, MPa	Twardość, HV10	Wydłużenie A, %
Właściwości stali w stanie dostawy	437	591	192	15
Wymagane właściwości według PN-EN 10095	min. 250	450÷650	max 250	min. 15

Tablica III. Skład chemiczny, właściwości mechaniczne oraz parametry pracy elektrody FOX A7**Table III.** Chemical composition and welding parameters of FOX A7 electrode

Zawartość pierwiastków, % masy				
C	Si	Mn	Cr	Ni
0,1	0,7	6,5	18,8	8,8
Właściwości mechaniczne				Parametry pracy
R _e , MPa	R _m , MPa	A, %	KV, J	Temperatura pracy
480	660	38	90	do 850 °C

i szeregujące przegrzewacze) oraz pieców przemysłowych, komór próżniowych itp. Maksymalna temperatura pracy – żaroodporność tej stali wynosi 850 °C. Stal ta jest odporna na działanie gazów zawierających związki siarki i gazy redukujące, słabo odporna na działanie atmosfery nawęglającej, azotującej i węgloazotującej [5].

Spawalność stali X10CrAlSi13 jest kompleksowym problemem, ze względu na skład chemiczny z dużą ilością ferrytotwórczych pierwiastków stopowych (Cr, Al, Si), małą plastyczność stali i wrażliwość na przegrzanie powodująca uzyskanie struktury gruboziarnistej [1,3,4]. Prawidłowy dobór techniki, parametrów spawania oraz materiałów dodatkowych do spawania jest bardzo istotny ze względu na uzyskanie właściwości mechanicznych i plastycznych spełniających wymagania stawianym konstrukcjom wykonanym ze stali X10CrAlSi13.

Materiał do badań

Materiałem do były płyty o wymiarach 10 x 200 x 125 mm wykonane ze stali X10CrAlSi13. Badany materiał dostarczony był w stanie wyżarzonym. Skład chemiczny oraz właściwości mechaniczne materiału rodzimego w stanie dostawy zestawiono w tablicy I i II.

Technologia spawania

Ze względu na dane literaturowe [1,3,4] zalecające stosowanie podgrzewania wstępnego na poziomie temperatury 200 ÷ 300 °C oraz wyżarzania odprężającego w temperaturze 700 ÷ 750 °C opracowane zostały dwa pWPS-y. W pierwszym wykonano złącze doczołowe blach w pozycji PF z podgrzewaniem wstępnym na poziomie 200 °C i temperaturą międzyścięgnową wynoszącą 250 °C (złącze oznaczono jako P2). W drugim również wykonano złącze doczołowe blach w pozycji PF, ale bez podgrzewania wstępnego z temperaturą międzyścięgnową na poziomie 150 °C (złącze oznaczono jako P1). Zarówno złącze P1, jak i P2 nie zostały poddane obróbce cieplnej po spawaniu. Technologia spawania została zaplanowana w celu zbadania zasadności podgrzewania wstępnego stali X10CrAlSi13. Charakterystyka stali ferrytycznych wrażliwych na przegrzanie i doprowadzane ciepło

do złącza oraz jednofazowa struktura ferrytyczną nie wskazuje na słusność zaleceń obróbki cieplnej i podgrzewania wstępnego stali tej klasy.

Złącza wykonano metodą 111 ze względu na dużą wszechstronność metody oraz częste wykonywanie złączy tego typu w warunkach montażowych, gdzie wykorzystanie gazu osłonowego może być problematyczne. Warto zauważyć, że w przypadku spawania metodą 111 tej klasy złącza musi być zapewniony dostęp do złącza z dwóch stron ze względu na konieczności wycięcia/wyszlifowania grani i wykonaniu drugiego lica lub zastosowanie spawania na podkładce z osłoną grani gazem obojętnym.

Materiałem dodatkowym wykorzystanym w obu technologiach była elektroda E 18 8 Mn B 2 2 (Böhler FOX A7). Spoiwa austenityczne są zalecane do spawania chromowych stali ferrytycznych ze względu na bardzo dobre właściwości plastyczne, udarność stopiwa oraz podwyższenie odporności na korozję spoiny. Elektroda FOX A7 w pełni spełnia wymagania stawiane materiałowi rodzimemu. Skład chemiczny oraz właściwości mechaniczne elektrody FOX A7 zostały przedstawione w tablicy III.

Badania właściwości mechanicznych

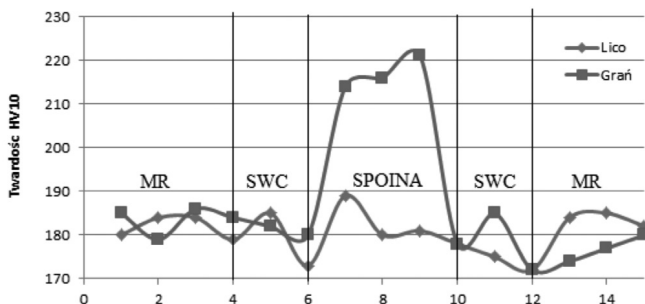
Badania właściwości mechanicznych obejmowały: pomiar twardości metodą Vickers'a, statyczną próbę rozciągania, próbę udarności oraz próbę gięcia. Badania właściwości mechanicznych zostały przeprowadzone zgodnie z obowiązującymi normami. Uzyskane wyniki badań przedstawiono na rysunkach 1÷6 oraz tablicy IV.

Pomiar twardości

Dla złącza P1 maksymalna twardość nie przekracza wartości 225 HV10 dla pomiaru od strony grani. Twardość materiału rodzimego (MR) i strefy wpływu ciepła (SWC) była na poziomie nie przekraczającym 190 HV10. Według normy materiałowej PN-EN 10095 materiał rodzimy X10CrAlSi13 powinien wykazywać twardość poniżej 250 HV10. Ten warunek został spełniony dla SWC i spoiny złącza P1. Warto jednak zauważyć, iż norma dotycząca kwalifikacji technologii spawania 15614-1 nie stawia wymagań twardości chromowym

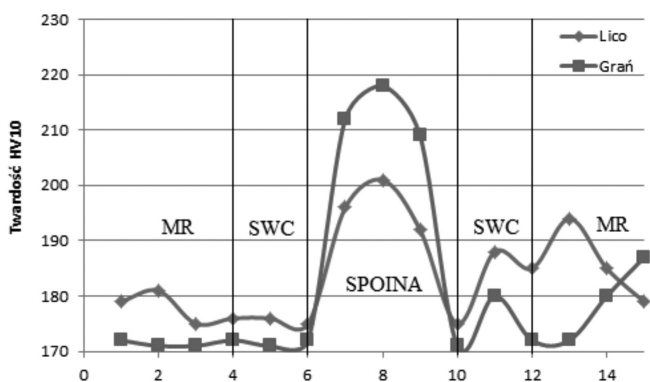
stalom ferrytycznym (grupa materiałowa 7 według ISO TR 15608). W związku z powyższym złącze P1 spełnia wszelkie wymagania stawiane twardości przez normy dotyczące stali X10CrAlSi13.

Złącze P2 w którym zostało zastosowane podgrzewanie wstępne na poziomie 200 °C wykazuje bardzo podobny rozkład twardości do złącza P1. Maksymalna twardość w spoinie, podobnie jak w złączu P1, nie przekracza 225 HV10. Twardość materiału rodzimego i strefy wpływu ciepła nie przekracza wartości 190 HV10. Porównywalna twardość na przekroju złącza P1 i P2 wskazuje, że podgrzewanie wstępne nie miało wpływu na twardość.



Rys. 1. Rozkład twardości od strony lica i grani w złączu niepodgrzewanym wstępnie (P1)

Fig. 1. Hardness distribution from toe and root side in weld joint without preheat (P1)



Rys. 2. Rozkład twardości od strony lica i grani w złączu podgrzewanym wstępnie (P2)

Fig. 2. Hardness distribution from toe and root side in preheated weld joint (P1)

Statyczna próba rozciągania

Właściwości wytrzymałościowe obu złączy spełniają wymagania normy PN-EN 10095 (tablica II) dla stali X10CrAlSi13. Wytrzymałość na rozciąganie R_m dla złącza P1 wynosiła 495 MPa, natomiast dla złącza P2: 517 MPa (tablica IV). Uzyskane wartości wytrzymałości na rozciąganie dla złącz P1 i P2 są do siebie zbliżone (różnica jest poniżej 5%), co wskazuje że zastosowane podgrzewanie wstępne, podobnie jak w przypadku pomiaru twardości, nie miało istotnego wpływu na właściwości wytrzymałościowe złącza ze stali X10CrAlSi13. Zarówno złącze P1, jak i złącze P2

Tablica III. Wytrzymałość na rozciąganie badanych złączy

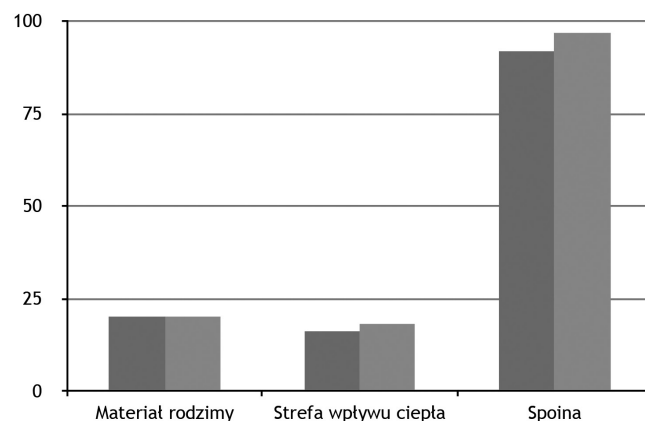
Table III. Ultimate tensile strength of both welded joints

Złącze	R_m , MPa	A, %
P1	495	10,95
P2	517	13,4

nie spełnia warunków dyrektywy ciśnieniowej 97/23/WE PED wymagającej wydłużenia A na poziomie $\geq 14\%$.

Próba udarności

Energia łamania próbek złączy P1 i P2 w analizowanych obszarach są również porównywalne. Strefa wpływu ciepła dla złącza bez podgrzewania wstępnego P1 charakteryzowała się energią łamania na poziomie 16 J, natomiast energia łamania SWC złącza z podgrzewaniem wstępnym P2 wynosiła 18 J. Najwyższą wartością energii łamania charakteryzowała się natomiast spoina, dla której zmierzona wartość energii łamania KV wynosiła ponad 90 J (rys. 3). Wysoka energia łamania spoiny wynika z zastosowania jako materiału dodatkowego spoiwa austenitycznego, gwarantującego uzyskanie wysokiej ciągliwości. Złącze P2 odznacza się energią łamania nieznacznie większą od złącza niepodgrzewanego P1. Norma PN – EN 15614-1 oraz PN – EN 10095 nie stawiają określonych wymagań energii łamania stali X10CrAlSi13. Porównywalna wartość energii łamania SWC i MR oraz wysoka energia łamania spoiny świadczy o poprawnie wykonanych złączach. Wyniki potwierdzają również znikomy wpływ podgrzewania wstępnego na uzyskaną wartość energii łamania złącza wykonanego ze stali X10CrAlSi13.



Rys. 3. Średnia wartość energii łamania w różnych strefach złączy P1 i P2

Fig. 3. Impact energy of melt 1 and 2

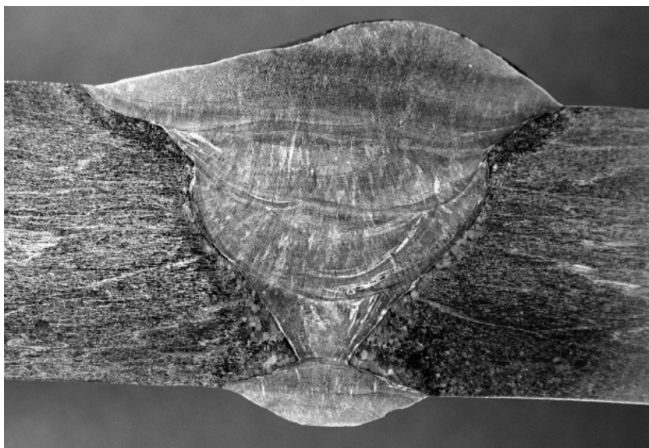


Rys. 4. Wyniki próby gięcia z rozciąganiem lica (TFBB) i grani (TRBB) dla złączy P1 i P2

Fig. 4. Results of angle bend test from toe side (TFBB) and root side (TRBB) for welded joints P1 and P2

Próba gięcia

Próba technologiczna gięcia zakończyła się wynikiem negatywnym zarówno w przypadku złącza P1, jak i dla złącza P2 (rys. 4). Próba gięcia z rozciąganiem lica (TFBB) uzyskała wymagany kąt 180° zarówno dla złącza P1, jak i P2. Próba gięcia z rozciąganiem grani (TRBB) ujawnia widoczne pęknięcia przez cały przekrój złącza już przy 20° dla złącza P1 i przy 28° dla złącza P2. Analizowane złącza otrzymały wynik negatywny podczas próby, lecz warto podkreślić, że próba gięcia nie jest wymagana dla złączy ze stali X10CrAlSi13.

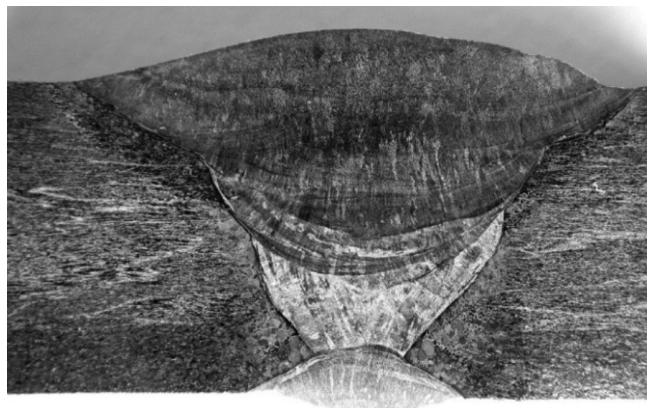


Rys. 5. Makrostruktura złącza bez podgrzewania wstępnego ze stali X10CrAlSi13 (P1). Trawiono chlorek żelaza

Fig. 5. Macrography of X10CrAlSi13 welded join (P1) without preheat

Badania makroskopowe

Badania makroskopowe przeprowadzone na złączu P1 (Rys. 5) i P2 (Rys. 6) potwierdziły brak niezgodności spawalniczych po badaniach wizualnych VT. Złącza P1 i P2 spełniają kryteria jakości B według PN-EN 5817. Na zdjęciach makrostruktury można zauważyć rozrost ziaren struktury w strefie wpływu ciepła w obydwu złączach, szczególnie w obszarze CGHAZ, czyli strefie struktury przegrzanej.



Rys. 6. Makrostruktura złącza ze stali X10CrAlSi13 z podgrzewaniem wstępnym (P2). Trawiono chlorek żelaza

Fig. 6. Macrography of X10CrAlSi13 welded join (P2) with preheat

Podsumowanie

Złącze P1 tj. złącze wykonane bez podgrzewania wstępnego charakteryzowało się właściwościami bardzo zbliżonymi do właściwości złącza P2, które wykonano z podgrzewaniem wstępnym. Wskazuje to na znikomy wpływ podgrzewania wstępnego na właściwości mechaniczne złączy wykonanych ze stali X10CrAlSi13.

Uzyskane wyniki pomiaru twardości dla badanych złączy były na podobnym poziomie ze względu na jednofazową strukturę ferrytyczną stali X10CrAlSi13.

Spoivo austenityczne jest zalecane dla spawania tej klasy stali ze względu na gwarantowaną wysoką energię łamania (90 J) oraz spełnienie wymaganych właściwości wytrzymałościowych.

Dalsze badania nad złączami spawanymi stali X10CrAlSi13 powinny obejmować zastosowanie obróbki cieplnej według zaleceń norm, na złączach bez podgrzewania i z zastosowanym podgrzewaniem wstępnym.

Ponadto istotnym byłoby określenie wpływu zmniejszenia energii liniowej na poziomie 0,5÷1 kJ na właściwości złącza wykonanego ze stali X10CrAlSi13.

Literatura

- [1] Tasak E., Ziewiec A.: Spawalność materiałów konstrukcyjnych Tom 1: Spawalność stali. Wydawnictwo JAK, Kraków 2009.
- [2] Blicharski M.: Inżynieria Materiałowa stal. WNT wydanie drugie, Warszawa 2012.
- [3] Poradnik Inżyniera: Tom 1 Spawalnictwo, pod redakcją prof. dr. hab. Inż. Jana Pilarczyka. Wydawnictwo WNT, Warszawa 2014.
- [4] Dobrzański L.A.: Metaloznawstwo i obróbka cieplna stopów metali. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1993.
- [5] Ferenc K.: Spawalnictwo. WNT, Warszawa 2013.