

Właściwości połączeń spawanych stali 7CrMoVTiB10-10 (T24) po obróbce cieplnej

The properties of joints of 7CrMoVTiB10-10 (T24) steel
after heat treatment

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki oceny twardości i pracy łamania spoin po obróbce cieplnej złączy spawanych żarowytrzymałej stali niskostopowej T24 (7CrMo-VTiB10-10). Wykazano, że otrzymanie jednocześnie wymaganych właściwości plastycznych i twardości jest możliwe jedynie po wyżarzaniu w temperaturze co najmniej 700°C. Podjęto również próbę wyjaśnienia przyczyn występowania niezadowalającej twardości złączy i udarności spoin po obróbce cieplnej w stosunkowo do niskiej temperaturze wyżarzania.

Abstract

The paper presents the results of hardness test and nominal energy of impact test of welds after heat treatment of low alloy T24 (7CrMoVTiB10-10) steel. It is obtained that the required plasticity properties and hardness is possible only after annealing at a temperature of at least 700°C. It is made an effort to clarify the causes of unsatisfactory weld hardness and weld notch toughness after heat treatment at relatively low annealing temperature.

Wstęp

Stal T24 (7CrMoVTiB10-10) należy do grupy nowoczesnych stali bainitycznych stosowanych w energetyce na ściany szczelne kotłów. Charakteryzuje się dużo lepszą czasową wytrzymałością na pęczanie w porównaniu do konwencjonalnych stali, dzięki czemu może być z powodzeniem stosowana w konstrukcjach pracujących w warunkach nadkrytycznych. Osobnym zagadnieniem są jej właściwości mechaniczne po spawaniu. Literatura polska i zagraniczna dostarcza informacji o udanych próbach spawania doczołowego metodą GTAW rur o grubościach do 7,1 mm bez stosowania zabiegów obróbki cieplnej po spawaniu [1÷4]. W przypadku oceny technologii spawania wg normy PN-EN ISO 15614-1 [5] uzyskujemy ściśle określony zakres kwalifikowania dla grubości materiału, wyszczególniony w tablicy.

Kwalifikowanie technologii na złączach próbnych o grubości 6,3 lub 7,1 mm (w przypadku badania pracy łamania) obejmuje zakres grubości 3÷12 mm. Chociaż złącze w tych przypadkach zostałoby zakwalifikowane, zwiększenie grubości do 11,2 mm (będącej w zakresie kwalifikacji) może nie spełnić założonych kryteriów, co pokazano w [6]. Z badań tych wynika, że dla połączeń spawanych doczołowo rur o grubości 11,2 mm metodą GTAW nie jest możliwe otrzymanie twardości poniżej 350 HV10 i pracy łamania w spoinie większej niż 27 J bez obróbki cieplnej w temperaturze wyższej od 300°C.

Tablica. Zakres kwalifikowania wg PN-EN ISO 15614-1 dla grubości materiału spoin czołowych i grubości metalu spoiny [5]

Table. The scope of qualifying acc. to PN-EN ISO 15614-1 for the butt welds and weld metal thickness [5]

Grubość złącza próbego t, mm	Zakres kwalifikowania	
	jednościgowe	wielościigowe
t ≤ 3	0,7-1,3t	0,7-2t
3 < t ≤ 12	0,5 (3 min.)-1,3t ^a	3-2t ^a
12 < t ≤ 100	0,5-1,1t	0,5-2t
t > 100	niestosowane	50-2t

^a Jeśli wymagania udarności są określone, górna granica kwalifikowania wynosi 12 mm, chyba że nie bada się udarności.

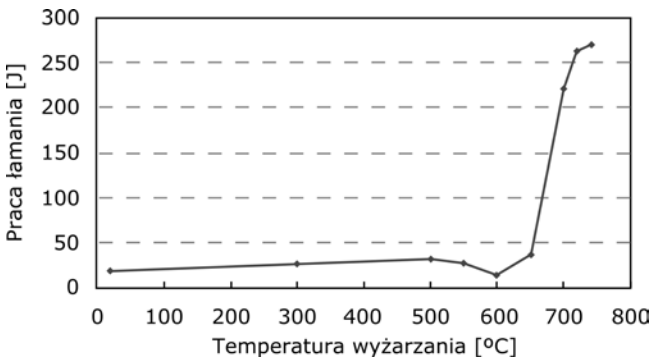
Mgr inż. Krzysztof Pańcikiewicz, prof. dr hab.
inż. Edmund Tasak – Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, mgr inż. Sławomir Kwiecień – Polimex Mostostal Zakład ZRE, Kraków.

Przebieg badań

Do badań użyto króćców spawanych doczołowo w pozycji H-L045 metodą 141 ze stali T24 o wymiarach: $\varnothing 48,3 \times 11,2$ mm. Po wstępnym przygotowaniu próbek o wymiarach poprzecznych 10×10 mm wykonano obróbkę cieplną w temperaturze $500 \div 740^\circ\text{C}$. Czas wyżarzania w każdym przypadku wynosił dwie godziny. Ze względu na brak możliwości wyznaczenia czasu $t_{8/5}$ został wyznaczony zastępczy czas $t_{7/4} = 102$ s, opisujący przebieg chłodzenia w powietrzu po obróbce cieplnej. Następnie nacięto karby do próby Charpy-V w osi spoiny (VWT). Wyniki badania pracy łamania przedstawiono na rysunku 1 (z uwzględnieniem poprzednich prób [6]). Wykonano również pomiary twardości połączeń spawanych metodą Vickersa przy obciążeniu 98,1 N. Na rysunku 2 przedstawiono maksymalne twardości poszczególnych stref złącza spawanego po obróbce cieplnej.

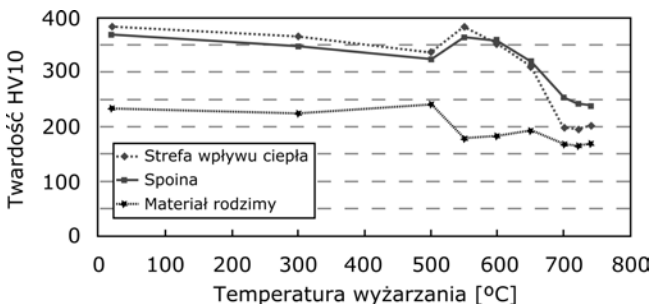
Analiza wyników

Badania dylatometryczne wykazały, że przyczyną występowania niezadowalającej udarności spoin i twardości połączeń spawanych po obróbce cieplnej



Rys. 1. Średnia wartość pracy łamania spoin ze stali T24 po obróbce cieplnej

Fig. 1. Average value of nominal KV energy of T24 steel welds after heat treatment



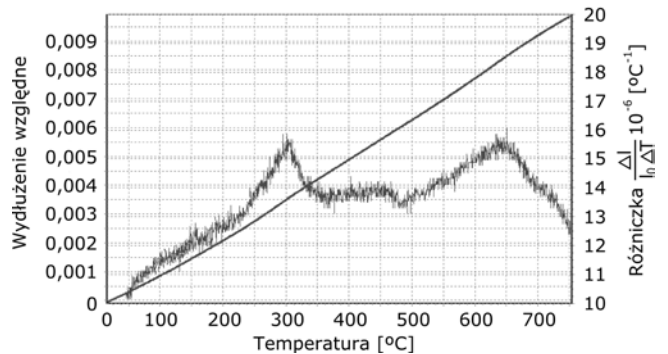
Rys. 2. Maksymalne twardości poszczególnych stref złącza spawanego stali T24 po obróbce cieplnej

Fig. 2. The maximum hardness of the joint zones for T24 steel after heat treatment

w zakresie temperatury $300 \div 400^\circ\text{C}$ są przemiany fazowe zachodzące podczas nagrzewania i wygrzewania w tej temperaturze. Wykres dylatometryczny przedstawiony na rysunku 3 pokazuje, że w zakresie temperatury $230 \div 370^\circ\text{C}$ dochodzi do przemiany austenitu szczytkowego w przesycony ferryt i bainit. W wyższej temperaturze dodatni efekt dylatometryczny od przemiany austenitu może zostać „wytlumiony” przez ujemny efekt dylatometryczny pochodzący od wydzielania się cementytu. Powyżej 500°C zachodzi wydzielanie węglików MC, powodujących wystąpienie dodatniego efektu dylatometrycznego. Wydzielenia te doprowadzają do tzw. efektu twardości wtórnej, widocznego na rysunku 2.

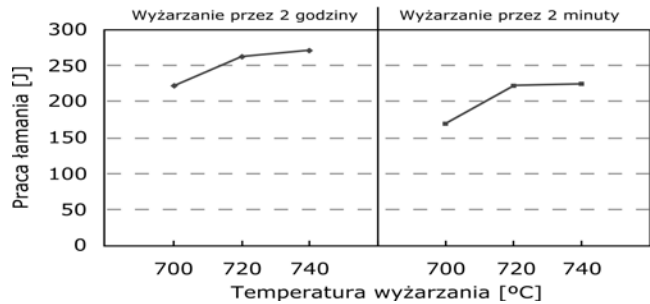
Optymalizacja obróbki cieplnej

Ze względu na wysoki koszt obróbki cieplnej istotną jest optymalizacja tego procesu. Dokonano zatem wyżarzania w temperaturze zapewniającej wymaganą pracę łamania, ograniczając czas tych zabiegów do nagrzania, wytrzymania przez 2 min. celem wyrównania temperatury na przekroju próbki i schłodzenia na wolnym powietrzu. Otrzymane wyniki badań zestawiono na rysunkach 4 i 5.



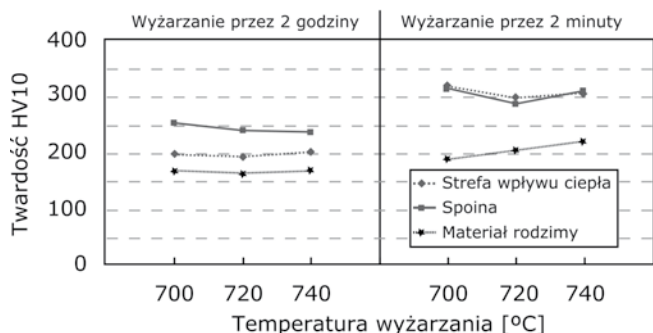
Rys. 3. Dylatogram nagrzewania z szybkością $0,05^\circ\text{C/s}$ próbki ze spoiny wykonanej łukiem krytym

Fig. 3. Dilatograph of heating with a rate of $0,05^\circ\text{C/s}$ samples of the submerged arc weld



Rys. 4. Średnia wartość pracy łamania spoin ze stali T24 po obróbce cieplnej przez 2 h i przez 2 min

Fig. 4. Average value of nominal KV energy for T24 steel welds after heat treatment for 2 h and for 2 min



Rys. 5. Maksymalne twardości poszczególnych stref złącza spawanego stali T24 po obróbce cieplnej przez 2 h i przez 2 min
Fig. 5. The maximum hardness of the zones in the T24 steel weld after heat treatment for 2 h and for 2 min

Z danych przedstawionych na rysunkach 4 i 5 wynika, że już nagrzanie do temperatury wyżarzania, krótkie wytrzymanie przez 2 min i następnie schłodzenie na wolnym powietrzu umożliwia uzyskanie wysokich wartości pracy łamania. Ponadto największa zmierzona twardość strefy wpływu ciepła i spoiny nie przekroczyła wartości 350 HV10, co pozwala na spełnienie wymagań norm [5].

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że aby zapewnić odpowiednie właściwości plastyczne spoin doczołowych rur o grubości 11,2 mm wykonanych metodą GTAW oraz wymaganą twardość złączy ze stali T24, należy wykonać obróbkę cieplną po spawaniu w temperaturze co najmniej 700°C. Otrzymanie wymaganych wartości w niższej temperaturze wyżarzania nie jest możliwe ze względu na występowanie przemian fazowych zachodzących

podczas odpuszczania, takich jak przemiana austenitu szczytkowego w przesycony ferryt i bainit, wydzielanie cementytu czy wydzielanie węglików typu MC. Ponadto stwierdzono, że jest możliwa optymalizacja obróbki cieplnej, polegająca na nagraniu złącza do temperatury wyżarzania, wytrzymaniu przez dwie minuty w celu ujednorodnienia temperatury w elemencie, a następnie bezpośrednim schłodzeniu na powietrzu.

Literatura

- [1] Brózda J., Zeman M., Pasternak J., Fudali S.: Żarowytrzymałe stale bainityczne nowej generacji – ich spawalność i właściwości złączy spawanych [w:] Materiały i technologie stosowane w budownictwie kotłów nadkrytycznych i spalarni odpadów, Katowice, 2009, s. 27-46.
- [2] Heuser H.: Filler Metals for T/P23 and T/P24, Seminarium Rafako, 15.01.2009.
- [3] Urzyncik M., Kwiecieński K., Stania J.: Właściwości złączy spawanych ze stali bainitycznej 7CrMoVTiB10-10 (T24) stosowanej w elektrowniach pracujących przy parametrach nadkrytycznych, Biuletyn Instytutu Spawalnictwa w Gliwicach, 2009, R. 53, nr 6, s. 63-68.
- [4] Urzyncik M., Kwiecieński K., Stania J.: Doświadczenia przy wykonywaniu połączeń doczołowych rur ze stali 7CrMoVTiB10-10 (T24), Materiały i technologie stosowane w budownictwie kotłów nadkrytycznych i spalarni odpadów. Katowice, 2009, s. 172-183.
- [5] PN-EN ISO 15614-1:2008 – Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali – Badanie technologii spawania – Część 1: Spawanie łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu.
- [6] Pańcikiewicz K., Kwiecień S., Tasak E.: Właściwości połączeń spawanych stali bainitycznej 7CrMoVTiB10-10, Przegląd Spawalnictwa, 2010, R. 82, nr 8, s. 8-14.

Referat pt. „Wpływ obróbki cieplnej na właściwości połączeń spawanych stali 7CrMoVTiB10-10” został wygłoszony przez Krzysztofa Pańcikiewicza na XLVIII Sesji Studenckich Kół Naukowych Pionu Hutniczego AGH 2011 w Sekcji Inżynieria Spajania oraz wyróżniony I nagrodą. Opiekun pracy ze strony Polimex Mostostal Zakład ZRE Kraków – mgr inż. Sławomir Kwiecień, opiekun naukowy referatu – prof. dr hab. inż. Edmund Tasak.

Badania wykonano w ramach pracy statutowej nr 11.11.110.790

W następnym numerze

Temat wiodący numeru 2/2012 miesięcznika naukowo-technicznego Przegląd Spawalnictwa – Plany Spawania