

# Wpływ obróbki cieplnej na właściwości spawanych austenitycznych rur wymienników ciepła

The effect of heat treatment on the properties of welded austenitic tubes for heat exchangers

## Streszczenie

W artykule przedstawiono technologię spawania wzdłużnego metodą TIG bez materiału dodatkowego (142) rurek wymienników ciepła ze stali austenitycznych AISI 316L i AISI 321. Zaprezentowano wyniki badań wpływu obróbki cieplnej, przesycania, na wytrzymałość na rozciąganie, twardość złączy, właściwości plastyczne oraz strukturę rurek gładkich i karbowanych. Ustalono, że zmiana temperatury przesycania w badanym zakresie ma wpływ na właściwości mechaniczne rurek spawanych oraz wyznaczono najkorzystniejszą pod względem tych właściwości temperaturę przesycania (1100÷1150 °C).

**Słowa kluczowe:** wymiennik ciepła, spawanie TIG, obróbka cieplna

## Abstract

The article presents a technology of TIG longitudinal welding without filler material (142) of heat exchanger tubes made of austenitic steels AISI 316L and AISI 321. The results of studies on the effects of heat treatment (solution annealing) on tensile strength, hardness, plasticity and the structure of smooth and corrugated tubes are shown. It was found, that the change in solution annealing temperature across the tested range has an impact on mechanical properties of welded tubes and the most advantageous solution annealing temperature (1100÷1150 °C) was determined.

**Keywords:** heat exchanger, TIG welding, heat treatment

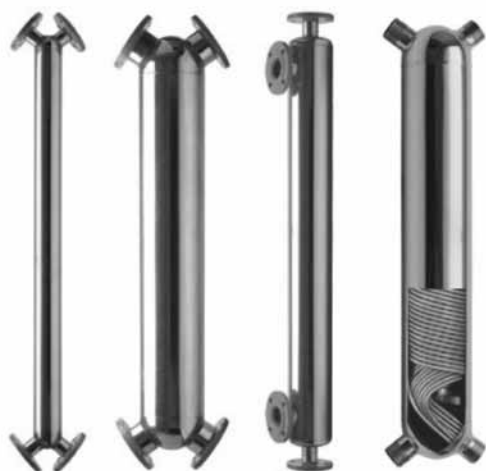
## Wstęp

Obecnie na rynku istnieje wiele typów wymienników ciepła, których konstrukcja zależy m.in. od warunków pracy, stosowanych czynników roboczych i technologii wytwarzania (rys. 1) [1]. Spośród wielu kryteriów doboru wymiennika do określonych zastosowań najważniejszym jest jego niezawodność. Z tego punktu widzenia istotny jest dobór materiałów podstawowych, z których będzie on wykonany. Wymienniki ciepła są wytwarzane ze stali niestopowych (P265GH), stali stopowych (P22, P91), niklu i jego stopów (Incoloy 800), tytanu

(np. Gr2) oraz wysokostopowych stali odpornych na korozję (AISI 304, AISI 316L, AISI 321) [2÷4]. Należy zwrócić uwagę, że nawet austenityczne stale odporne na korozję w pewnych warunkach pracy mogą ulegać zniszczeniu, np. podczas kontaktu ze środowiskiem zawierającym chlorki podlegają korozji naprężeniowej, której efektem są pęknięcia (rys. 2). Stale o strukturze w pełni austenitycznej mogą wykazywać ograniczoną spawalność ze względu na skłonność do formowania się pęknięć gorących oraz procesów wydzieleniowych prowadzących m.in. do spadku udarności oraz zwiększonej podatności na korozję międzykrystaliczną [5, 6].

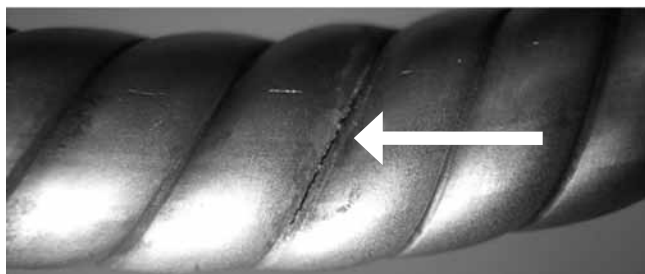
Dr inż. Grzegorz Rogalski; dr hab. inż. Jerzy Łabanowski, prof. nzw. PG; dr inż. Dariusz Fydrych, mgr inż. Aleksandra Świerczyńska – Politechnika Gdańska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: grogalski@mech.pg.gda.pl



**Rys. 1.** Płaszczowo-rurowe wymienniki ciepła produkowane przez firmę SECESPOL Sp. z o.o. [1]

**Fig. 1.** Shell-and-tube heat exchangers manufactured by SECESPOL Sp. z o.o. [1]

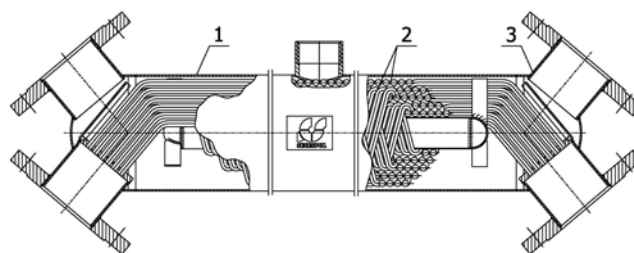


**Rys. 2.** Pęknięcie rurki węzownicy wymiennika ciepła ze stali 321 powstałe w wyniku oddziaływania korozji naprężeniowej

**Fig. 2.** Stress corrosion crack at coil steel tube made of 321 stainless steel

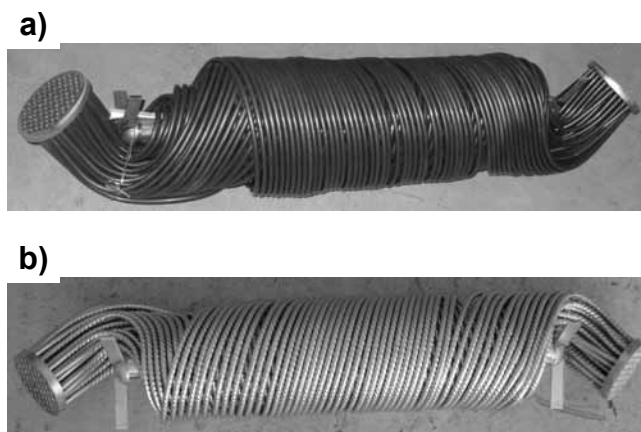
Na rysunku 3 przedstawiono płaszczowo-rurowy wymiennik ciepła JAD XK 6.50 produkowany przez firmę SECESPOL Sp. z o.o. [1]. Wymienniki tego typu najczęściej wykonywane są z austenitycznej stali odpornej na korozję. Główne elementy wymiennika to płaszcz, węzownica oraz przyłącza w postaci króćców. Elementem szczególnie narażonym na zniszczenie podczas montażu i dalszej eksploatacji jest węzownica. Konstrukcja węzownic przedstawionych na rysunkach 4a, 4b wymaga zwijania rur do odpowiedniego kształtu. W praktyce rury poddane odkształceniu plastycznemu podczas zwijania często ulegają pęknięciom. Podatność na pęknięcie nasila się w przypadku stosowania rur ze wzdłużnym złączem spawanym. Polepszenie plastyczności rur ze stali austenitycznych uzyskuje się w wyniku obróbki cieplnej – przesycania. Ta obróbka powoduje uzyskanie jednofazowej struktury austenitycznej bez wydzielenia węglków na granicach ziaren, zabezpieczając stal przed postępowaniem korozji międzykryształicznej w obszarach SWC uwarunkowanych podczas spawania. Przesycanie powoduje zwiększenie właściwości plastycznych, ale należy pamiętać, że jednocześnie może powodować obniżenie wytrzymałości i twardości stali. Dlatego ważne jest określenie wpływu parametrów spawania i następującej po nim obróbki

cieplnej na właściwości mechaniczne rur stosowanych w płaszczowo-rurowych wymiennikach ciepła. Warunki przesycania po spawaniu stali austenitycznych opisywane są w literaturze głównie w aspekcie odporności korozyjnej [5, 6], brakuje natomiast informacji opisujących ich wpływ na plastyczność stali.



**Rys. 3.** Budowa płaszczowo-rurowego wymiennika ciepła JAD XK 6.50 firmy SECESPOL Sp. z o.o.; 1 – płaszcz, 2 – węzownica, 3 – króciec z kołnierzem [1]

**Fig. 3.** Construction of shell-and-tube heat exchanger JAD XK 6.50 manufactured by SECESPOL Sp. z o.o.; 1 – shell, 2 – coil, 3 – flange [1]



**Rys. 4.** Węzownice wykonane ze spawanych rur ze stali 321: a) rurki gładkie, b) rurki karbowane [1]

**Fig. 4.** Coils made of welded 321 steel tubes: a) smooth tubes, b) corrugated tubes [1]

## Badania własne

### Materiał i technologia spawania

Praca jest kontynuacją prowadzonych wcześniej badań [2], a jej celem jest określenie wpływu parametrów przesycania na strukturę i właściwości mechaniczne spawanych rur  $\varnothing 8,0 \times 0,6$  mm ze stali odpornych na korozję.

Rurki wykonano ze stali austenitycznych AISI 316L (X2CrNiMo17-12-2/1.4404) oraz AISI 321 (X6CrNiTi18-10/1.4541). Skład chemiczny oraz właściwości wytrzymałościowe zastosowanych stali przedstawiono w tablicach I oraz II. Do wykonania rurek użyto taśmy o szerokości 24 mm i grubości 0,6 mm. Po operacji spawania próbki zostały poddane przesycaniu w wodzie z temperatury w zakresie  $1000 \pm 1200$  °C. Celem obróbki cieplnej była poprawa plastyczności rurek oraz zabezpieczenie przed korozją międzykryształiczną.

Badano rurki gładkie oraz karbowane. Karbowanie ścianek rurek wykonuje się ze względów eksploatacyjnych. Specjalne formowanie powoduje zwiększenie powierzchni wymiany ciepła oraz wymusza przepływ turbulenty, co wiąże się z większą sprawnością wymiennika.

Osiągnięcie postawionego celu zrealizowano, opierając się na następującym planie badań:

1. Opracowanie technologii spawania (instrukcji technologicznej WPS).
2. Wykonanie złączy próbných wg zestawienia podanego w tablicy III.
3. Wykonanie badań nieniszczących:
  - wizualnych (VT),
  - prądami wirowymi (ET).
4. Wykonanie badań niszczących:
  - statycznej próby rozciągania,
  - próby spłaszczania,
  - próby wywijania kołnierza (rozłaczania),
  - badań metalograficznych makroskopowych i mikroskopowych,
  - pomiarów twardości.

Przed przystąpieniem do opracowania instrukcji technologicznej spawania WPS określono zmienne istotne, które wpływają na przebieg całego procesu wytwarzania. Zaliczono do nich:

1. Gatunek materiału podstawowego: austenityczne stale odporne na korozję 316L (1.4404) i 321 (1.4541); grupa materiałowa wg TR ISO 15608: 8.1 [8].
2. Wymiary geometryczne rurki:  $\varnothing = 8,0$  mm,  $t = 0,6$  mm.
3. Rodzaj złącza oraz spoiny: spoina czołowa wzdłużna (BW), złącze doczołowe.
4. Rodzaj spawania: spawanie automatyczne.
5. Metoda spawania: TIG (142) bez materiału dodatkowego.
6. Pozycja spawania: PA.
7. Gazy osłonowe: od strony grani I1 (100% Ar); od strony uchwytu spawalniczego R1 (Ar + 5% H<sub>2</sub>) wg PN-EN ISO 14175 [9].
8. Obróbka cieplna: przesycanie, 1000÷1200 °C.  
Do wytwarzania rur zastosowano automatyczną linię produkcyjną składającą się z następujących elementów:
  - zespołu magazynującego szpule z taśmą,
  - zespołu rolek ciągnących,
  - zespołu rolek formujących,
  - komory spawania,
  - urządzenia spawalniczego do spawania metodą TIG z osprzętem,
  - zespołu obróbki cieplnej,
  - zespołu kontroli prądami wirowymi,
  - zespołu tnącego i magazynującego.

**Tablica I.** Skład chemiczny stali AISI 316L i AISI 321, % wag. [7]  
**Table I.** Chemical composition of AISI 316L and AISI 321 steels, wt.% [7]

Stal	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	Ni	Ti
AISI 316L	≤ 0,03	≤ 1,0	≤ 2,0	≤ 0,045	≤ 0,015	≤ 0,11	16,5÷18,5	2,0÷2,5	10,0÷13,00	-
AISI 321	≤ 0,08	≤ 1,0	≤ 2,0	≤ 0,045	≤ 0,015	-	17,0÷19,0	-	9,00÷12,00	5xC do 0,7

**Tablica II.** Właściwości mechaniczne taśm AISI 316L i 321 w stanie przesyconym [7]  
**Table II.** Mechanical properties of AISI 316L and AISI 321 steel strips in solution annealing condition [7]

Stal	R <sub>m</sub> , MPa	R <sub>p0,2 min.</sub> , MPa	A <sub>80 min.</sub> , %	Zalecana temp. przesycania, °C
AISI 316L	530÷680	240	40	1030÷1100
AISI 321	520÷720	220	40	1000÷1100

**Tablica III.** Zestawienie próbek przygotowanych do badań  
**Table III.** List of specimens prepared for testing

Oznaczenie próbki	316G-03	316G-02	316G-04	316K-03	316K-02	316K-04	321G-01	321K-01
Rodzaj powierzchni	gładka	gładka	gładka	karbowana	karbowana	karbowana	gładka	karbowana
Gatunek stali	316L	316L	316L	316L	316L	316L	321	321
Temperatura przesycania	1000 °C	1100 °C	1200 °C	1000 °C	1150 °C	1200 °C	1080 °C	1140 °C

Na rysunku 5 przedstawiono komorę spawania, która znajduje się w ciągu technologicznym linii produkcyjnej.



**Rys. 5.** Komora spawania linii produkcyjnej rurek ze stali austenitycznej [1]

**Fig. 5.** Welding chamber at production line of austenitic stainless steel tubes [1]

Próby technologiczne spawania rur na linii automatycznej wykonano z uwzględnieniem uprzednio określonych zmiennych istotnych. Na podstawie wyników tych prób opracowano instrukcję technologiczną spawania WPS, która została wykorzystana do wykonania próbek przeznaczonych do badań. W tabelicy IV przedstawiono parametry spawania złączy próbnych.

#### Badania nieniszczące

Badania wizualne zostały wykonane na wszystkich próbkach zgodnie z wytycznymi PN-EN ISO 17637 [10]. Nie stwierdzono zewnętrznych niezgodności spawalniczych, a tym samym uznano, że odpowiadają one poziomowi jakości B wg PN-EN ISO 5817 [11]. Cechą charakterystyczną po przesycaniu jest ciemna i matowa (utleniona) warstwa powierzchni rurek. Badania prądami wirowymi wykonano zgodnie z wymaganiami PN-EN 12084 [12]. Realizowano je przy użyciu urządzenia zamontowanego bezpośrednio na linii do wytwarzania rur. Tego rodzaju rozwiązanie umożliwia bieżące eliminowanie odcinków rur, które mają niezgodności spawalnicze. W rozpatrywanym przypadku nie ujawniono niezgodności spawalniczych i podobnie jak przy badaniach wizualnych złącza spawane odpowiadają poziomowi jakości B wg PN-EN ISO 5817 [11].

**Tabela IV.** Parametry wykonania złączy próbnych

**Table IV.** Welding parameters of test joints

Kształt połączenia				Kolejność spawania		
Ścieg	Proces	Natężenie prądu spawania, A	Napięcie łuku, V	Rodzaj prądu / biegunowość	Prędkość spawania m/min	Ilość wprowadzonego ciepła, kJ/mm
1	142	115	10÷11	DC (-)	4,3	0,17

#### Badania niszczące

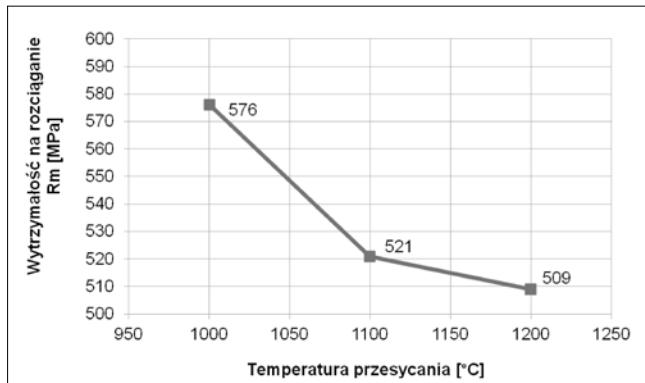
##### Statyczna próba rozciągania

Próby rozciągania wykonano zgodnie z wymaganiami PN-EN ISO 10002-1 [13]. Umożliwiły one określenie wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$  oraz wydłużenia  $A_{80}$  dla wszystkich 8 grup rur (trzy próbki dla każdej grupy). Otrzymane wyniki badań przedstawiono w tabelicy V oraz na rysunkach 6 i 7. Badania wykazały, że prawie wszystkie próbki poddane badaniom spełniły wymagania stawiane przez normę PN-EN 10088-2 [7]. Rurki o oznaczeniu 316G-04 oraz 316K-04 nie spełniają minimalnego kryterium akceptacji dla  $R_m$  stali 316L. Uzyskano wynik na poziomie 509 MPa, podczas gdy wymagana przez normę PN-EN 10088-2 minimalna wartość to 520 MPa. Odnosząc jednak ten wynik do przepisów ASME/ASTM zgodnie z wymaganiami SA240, uzyskana wartość spełnia kryterium akceptacji, tzn. 485 MPa. Najniższą wartość  $R_m$  uzyskano dla najwyższej temperatury przesycania równej 1200 °C. Jest ona wyższa o 80 °C od maksymalnej temperatury ustanowionej przez normę przedmiotową [7] i jak wynika z badań, nie powinna być już stosowana. Stwierdzono występowanie spodziewanej zależności, tzn. że wraz ze wzrostem temperatury przesycania maleje wytrzymałość na rozciąganie, a rośnie wydłużenie  $A_{80}$  (maks.  $A_{80} = 64,58\%$ ). Tego rodzaju zmiany są pozytywne pod warunkiem, że wraz ze wzrostem plastyczności uzyskuje się wymaganą wytrzymałość na rozciąganie. Zaobserwowane zależności są takie same dla stali 316L oraz 321. Wykonane złącza próbne przesycane w 1000 °C charakteryzują się najmniejszą wartością wydłużenia ( $A_{80} = 46,35\div 50,42\%$ ), co podczas formowania węzownicy może doprowadzić do pęknięcia.

**Tabela V.** Wyniki prób rozciągania, wartości średnie

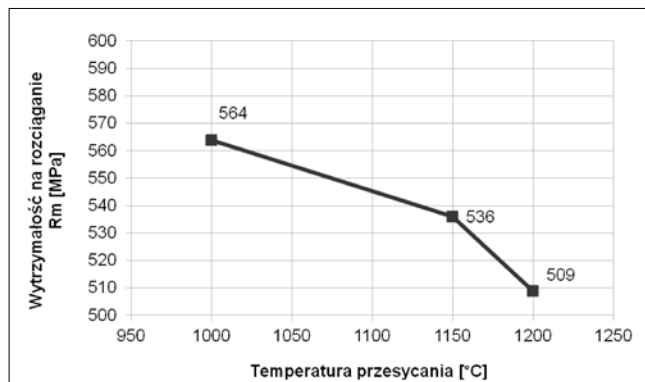
**Table V.** Results of tensile tests, mean values

Nr próbki	$A_{80}$ %	Kryterium akceptacji $A_{80}$ , %	$R_m$ MPa	Kryterium akceptacji $R_m$ , MPa
316G-03	46,25	40	576	530
316G-02	64,58		521	
316G-04	63,75		509	
316K-03	50,42		564	
316K-02	62,92		536	
316K-04	64,17		509	
321G-01	54,17		587	520
321K-01	60,00		563	



**Rys. 6.** Zależność wytrzymałości na rozciąganie od temperatury przesycania dla spawanych rurek gładkich ze stali 316L

**Fig. 6.** Relationship of tensile strength and solution annealing temperature for smooth welded tubes made of 316L steel

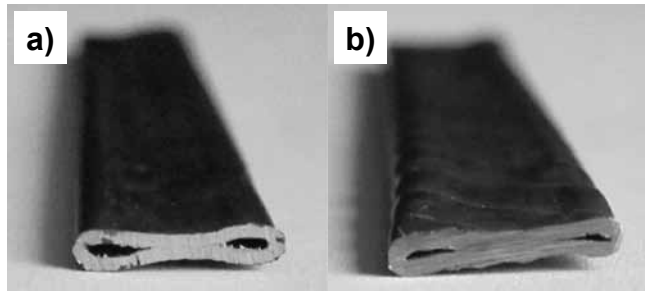


**Rys. 7.** Zależność wytrzymałości na rozciąganie od temperatury przesycania dla spawanych rurek karbowanych ze stali 316L

**Fig. 7.** Relationship of tensile strength and solution annealing temperature for corrugated welded tubes made of 316L steel

### Próba spłaszczania

Próbkę spłaszczania wykonano zgodnie z wymaganiami PN-EN ISO 8492 [14]. Badania takie mają na celu określenie podatności rur metalowych o przekroju okrągłym na odkształcenie plastyczne. Badania wykonano na próbkach długości od 10 do 100 mm pobranych z 8 badanych grup rur. Próbkę wykonano na prasie hydraulicznej. Próbkę układano tak, aby oś spoiny znajdowała się w połowie wysokości rury i była narażona na największe naprężenia ściskające. Rurki spłaszczano aż do osiągnięcia styku powierzchni na odcinku odpowiadającym co najmniej połowie szerokości wewnętrznej próbki. Na rysunku 8 pokazano wyniki próby dla rurki karbowanej i gładkiej. Ocenie poddano



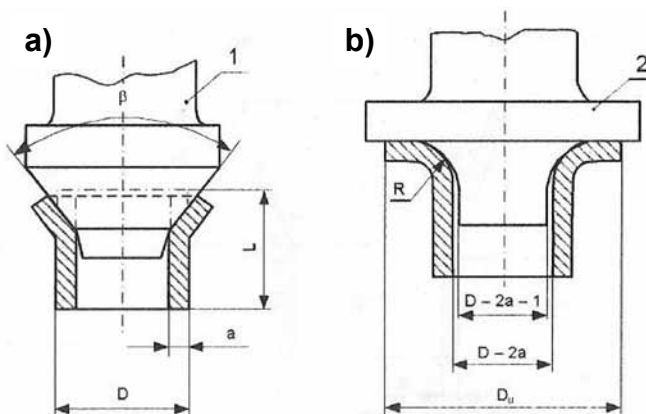
**Rys. 8.** Próbką gładką (a) i karbowaną (b) po próbie spłaszczania; widok od czoła próbki

**Fig. 8.** Smooth sample (a) and corrugated sample (b) after the flattening test; end view of the sample

powierzchnie zewnętrzne próbek, zawierające złącza spawane, które uległy największemu odkształceniu plastycznemu. Jako kryterium akceptacji przyjęto brak pęknięć oraz naderwań. Żadne próbki z badanych 8 grup nie wykazały pęknięć, naderwań oraz rozwarstwień. Uzyskane wyniki świadczą o dobrej podatności rurek na odkształcenia plastyczne.

### Próba wywijania kołnierza

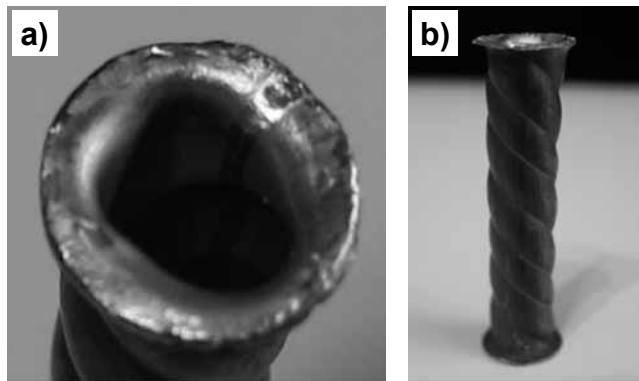
Próbkę wywijania kołnierza przeprowadzono zgodnie z PN-EN ISO 8494 [15] dla każdej grupy rurek. Badanie wykonano zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 9.



**Rys. 9.** Schemat próby wywijania kołnierza; a) etap wstępny, b) etap końcowy, 1 – trzpień stożkowy, 2 – narzędzie wywijające kołnierz [13, 14]

**Fig. 9.** Flanging test, a) initial step, b) final step, 1 – conical rod, 2 – flange tool [13, 14]

Próbkę przeprowadzono na prasie hydraulicznej. Długość próbek do badań wynosiła ok. 50 mm. Długość części cylindrycznej po próbie wywijania wynosi ponad 0,5D. Na rysunku 10 przedstawiono przykładową próbkę karbowaną po próbie wywijania kołnierza. We wszystkich próbach uzyskano wynik pozytywny. W żadnej z badanych próbek nie stwierdzono występowania pęknięć na całym obwodzie kołnierza, w tym w obszarze złącza spawanego.

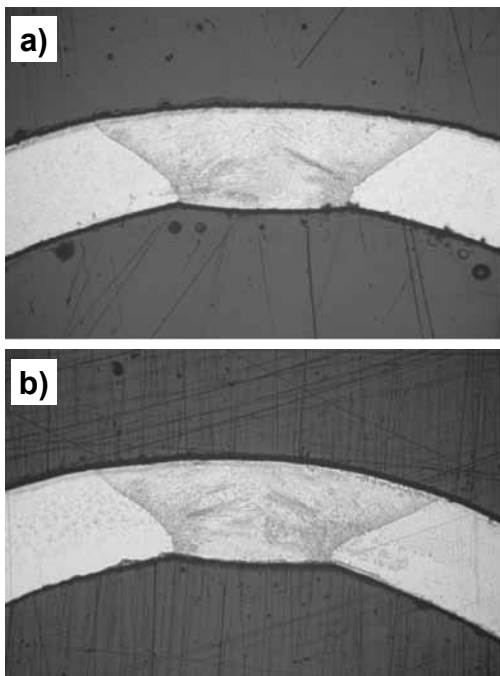


**Rys. 10.** Próbką karbowaną po próbie wywijania kołnierza; widok: a) od czoła próbki, b) z boku

**Fig. 10.** Corrugated tube after flanging test: a) end view of the sample, b) side view of the sample

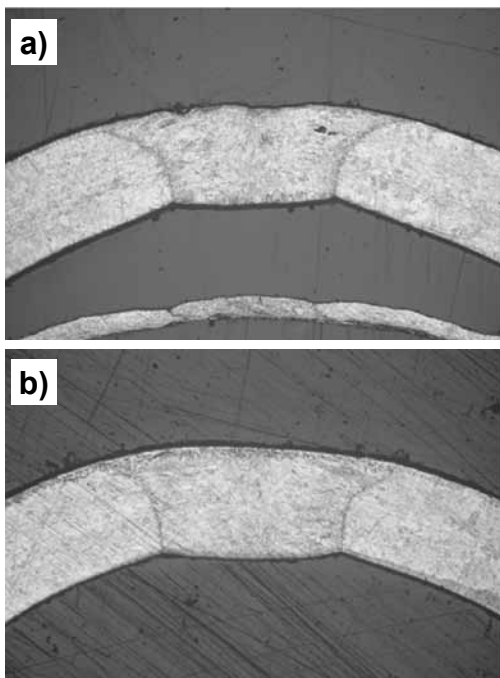
### Badania metalograficzne makroskopowe i mikroskopowe

Badania metalograficzne makro- i mikroskopowe przeprowadzono zgodnie z wymaganiami PN-EN ISO 17639 [17]. Próbkę wykorzystaną do badań zostały wycięte na pile taśmowej, poprzecznie do osi spoiny w taki sposób, aby obejmowały całe złącze spawane. Powierzchnię próbek trawiono roztworem HCl + HF. Na rysunkach 11 i 12 przedstawiono makrostrukturę złączy próbnych.



Rys. 11. Makrostruktura złączy doczołowych próbek: a) 316G-03, b) 316K-03. Pow. 37,5x

Fig. 11. Macrostructure of butt joints: a) 316G-03, b) 316K-03. Magn. 37.5x

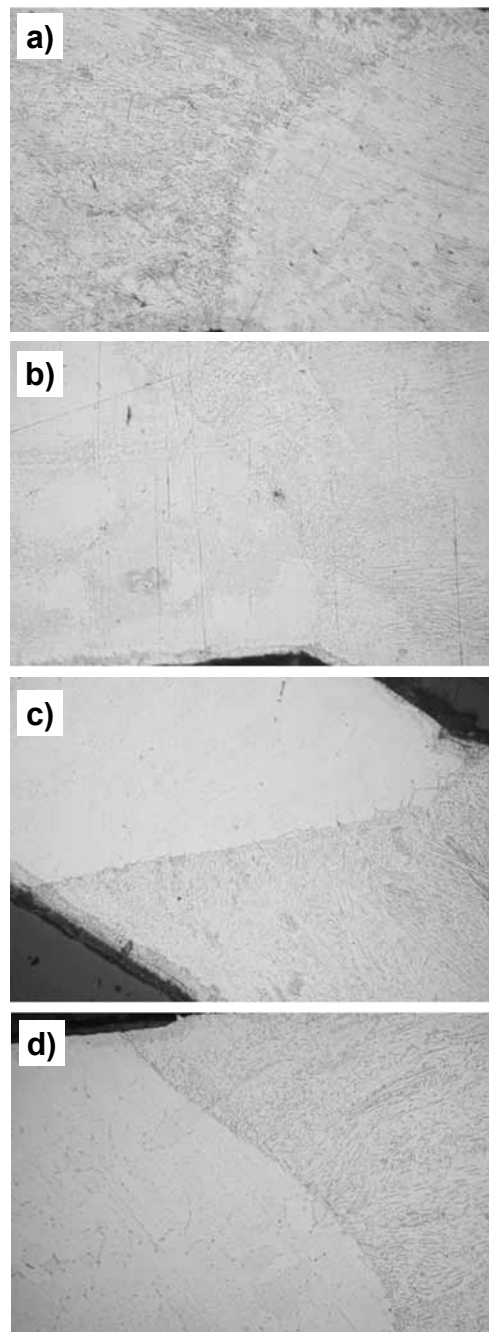


Rys. 12. Makrostruktura złączy doczołowych próbek: a) 321G-01 oraz b) 321K-01. Pow. 37,5x

Fig. 12. Macrostructure of butt joints: a) 321G-01 and b) 321K-01. Magn. 37.5x

W przypadku obu grup próbek (ze stali 316L oraz 321) szerokość spoiny jest prawie identyczna i wynosi ok. 2 mm. Strefa wpływu ciepła jest bardzo wąska i nie można jej zidentyfikować przy powiększeniu do 50x. Badania makroskopowe potwierdzają poprawność wykonania złączy próbnych, brak niezgodności spawalniczych. Spoiny charakteryzują się poprawną geometrią (odpowiedni współczynnik kształtu) oraz pełnym przetopieniem.

Do badań metalograficznych mikroskopowych wykorzystano próbki, użyte podczas badań makroskopowych. Poddano je kolejnym etapom obróbki i przygotowano do trawienia roztworem HCl + HF. W badaniach zastosowano powiększenie 150÷500x. Wyniki badań metalograficznych mikroskopowych przedstawiono na rysunku 13.



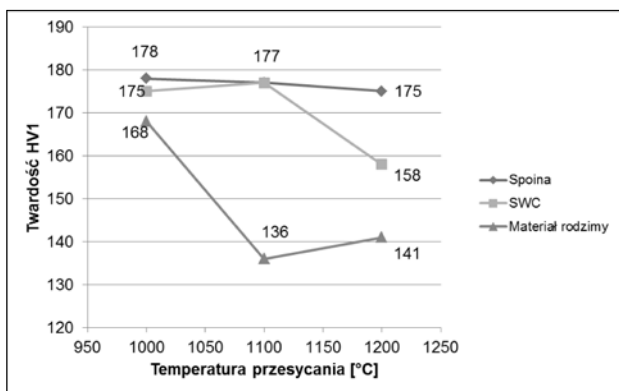
Rys. 13. Mikrostruktura złączy doczołowych próbek: a) 321K-01, b) 316K-02, c) 316G-03, d) 316K-04. Pow. 150x

Fig. 13. Microstructure of butt joints: a) 321K-01, b) 316K-02, c) 316G-03, d) 316K-04. Magn. 150x

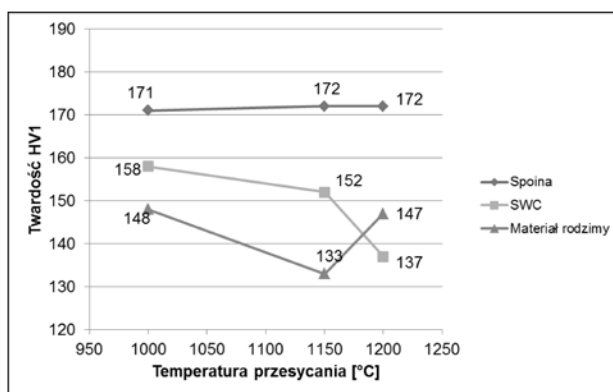
Na podstawie wykonanych badań można stwierdzić, że struktura wszystkich badanych próbek jest podobna. Struktura materiału rodzimego to austenit o ziarnach zrekrytalizowanych. Wielkość ziaren austenitu jest porównywalna we wszystkich próbkach. W spoinie występują dendrytyczne ziarna austenitu ukierunkowane prostopadle do linii wtopienia. Przejście od spoiny do materiału rodzimego jest gwałtowne, bez strefy przejściowej. Tuż przy linii wtopienia, w materiale rodzimym obserwowano obszary z podwyższonym udziałem ferrytu  $\delta$ . Stwierdzono tylko nieznaczny rozrost ziaren austenitu w obszarach przylegających do linii wtopienia. Wielkość ziaren austenitu w materiale rodzimym jest porównywalna we wszystkich próbkach poza przesycanymi z temperatury 1200 °C, gdzie zaobserwowano niewielki rozrost ziaren. Nawet przy dużych powiększeniach nie zauważono wydzielań węglików w osnowie austenitycznej próbek. Nie oznacza to jednak braku tych wydzielań, które mogą być bardzo drobne i przez to niewykrywalne za pomocą mikroskopu świetlnego.

### Pomiary twardości

Pomiary twardości przeprowadzono zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 6507-1 [18]. Badania wykonano przy użyciu twardościomierza HV-50A przy obciążeniu siłą 9,81 N. Na rysunkach 14 i 15 przedstawiono wyniki pomiarów twardości (wartości średnie) poszczególnych obszarów złącza spawanego stali 316L w funkcji temperatury przesycania. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że najwyższą twardością charakteryzuje się spoina, bez względu na zastosowaną temperaturę przesycania (171÷208 HV1). Wraz ze wzrostem temperatury przesycania maleje twardość w strefie wpływu ciepła dla wszystkich złączy próbnych (137÷170 HV1). Materiał rodzimy w zakresie temperatur przesycania do 1100÷1150 °C wykazuje spadek twardości, natomiast po przekroczeniu temperatury 1150 °C następuje jej wzrost. Zmiany twardości korelują ze zmianami wytrzymałości na rozciąganie. Wyniki badań są zbliżone dla rurek gładkich oraz karbowanych.



**Rys. 14.** Zależność twardości HV1 od temperatury przesycania dla złączy spawanych rurek gładkich wykonanych ze stali 316L  
**Fig. 14.** Relationship of HV1 hardness and solution annealing temperature for welded joints of smooth 316L steel tubes



**Rys. 15.** Zależność twardości HV1 od temperatury przesycania dla spawanych rurek karbowanych wykonanych ze stali 316L  
**Fig. 15.** Relationship of HV1 hardness and solution annealing temperature for welded joints of corrugated 316L steel tubes

## Podsumowanie

Opracowano technologię spawania wzdłużnego metodą TIG (142) rurek  $\varnothing 8,0 \times 0,6$  mm wymienników ciepła ze stali austenitycznych AISI 316L i AISI 321. Zastosowana technologia gwarantuje uzyskanie spoin bez niezgodności spawalniczych.

Zastosowanie temperatury przesycania w zakresie od 1000 °C do 1200 °C miało wpływ na właściwości mechaniczne rurek.

Ustalono, że optymalny zakres temperatury przesycania dla rurek ze stali AISI 316L wynosi 1100÷1150 °C. Przesycanie w takich warunkach

zapewnia wzrost plastyczności stali przy zachowaniu akceptowalnej wytrzymałości na rozciąganie. Niższe temperatury przesycania mogą nie zapewnić całkowitego rozpuszczenia węglików w osnowie austenitycznej, ograniczając plastyczność i odporność korozyjną stali. Wyższe temperatury przesycania wpływają niekorzystnie na wytrzymałość stali i sprzyjają rozrostowi ziaren austenitu.

Nie stwierdzono znaczącego wpływu karbowania rurek na ich właściwości wytrzymałościowe i plastyczne.

## Literatura

- [1] www.secespol.pl
- [2] Świerczyńska A., Rogalski G., Fydrych D.: Badania struktury i właściwości spawanych austenitycznych rur wymienników ciepła. Przegląd Spawalnictwa 5/2010.
- [3] Rogalski G., Łabanowski J.: Kwalifikowanie technologii spawania zgodnie z wytycznymi normy PN-EN ISO 15613 na przykładzie wytwarzania rur stosowanych w płaszczowo-rurowych wymiennikach ciepła. Biuletyn Instytutu Spawalnictwa 5/2011.
- [4] Rogalski G., Fydrych D.: Kwalifikowanie technologii spawania wg PN-EN ISO 15614-8 na przykładzie płyt sitowych w U-rurowych wymiennikach ciepła. Przegląd Spawalnictwa 2/2012.
- [5] Colombier L., Hochmann J.: Stale odporne na korozję i stale żaroodporne. Wydawnictwo Śląsk, 1994.
- [6] Tasak E., Ziewiec A.: Spawalność materiałów konstrukcyjnych, Wydawnictwo JAK, Kraków 2009.
- [7] PN-EN 10088-2: Stale odporne na korozję. Warunki techniczne dostawy blach grubych, cienkich oraz taśm ogólnego przeznaczenia.
- [8] TR ISO 15608: Spawanie. Wytyczne systemu podziału materiałów metalowych na grupy.
- [9] PN-EN ISO 14175: Materiały dodatkowe do spawania. Gazy i mieszaniny gazów do spawania i procesów pokrewnych.
- [10] PN-EN ISO 17637: Badania nieniszczące złączy spawanych. Badania wizualne złączy spawanych.
- [11] PN-EN ISO 5817: Spawanie. Złącza spawane ze stali, niklu, tytanu i ich stopów (z wyjątkiem spawanych wiązką). Poziomy jakości według niezgodności spawalniczych.
- [12] PN-EN 12084: Badania nieniszczące. Badania metodą prądów wirowych. Zasady ogólne i wytyczne.
- [13] PN-EN ISO 10002-1: Metale. Próba rozciągania. Część 1: Metoda badania w temperaturze otoczenia.
- [14] PN-EN ISO 8492: Metale. Rury. Próba spłaszczania.
- [15] PN-EN ISO 8494: Metale. Rury. Próba wywijania kołnierza.
- [16] Łabanowski J.: Ocena jakości wyrobów hutniczych, Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Elblągu, Elbląg 2012.
- [17] PN-EN ISO 17639: Badania niszczące spawanych złączy metali. Badania makroskopowe i mikroskopowe złączy spawanych.
- [18] PN-EN ISO 6507-1: Metale. Pomiar twardości sposobem Vickersa. Część 1: Metoda badań.

Autorzy dziękują firmie SECESPOL Sp. z o.o. za wykonanie złączy próbnych, które wykorzystano do przeprowadzenia badań.

## PRÓBA ŁAMANIA ZŁĄCZY SPAWANYCH ATLAS PRZEŁOMÓW JACEK SŁANIA KRZYSZTOF JANISZEWSKI

Cena 1 egzemplarza książki:  
**Próba łamania złączy spawanych  
Atlas przełomów** wynosi:  
60 zł (w tym 5% VAT)

**W celu zamówienia książki  
w Redakcji należy wypełnić formularz  
zamieszczony obok i przesłać go  
w formie faksu, skanu lub listu na adres:**

**REDAKCJA – Przegląd Spawalnictwa AW SIMP**  
ul. Świętokrzyska 14a, 00-050 Warszawa  
tel.: 22 827 25 42, faks: 22 336 14 79  
e-mail: redakcja@pspaw.pl

**Wpłaty należy dokonać na rachunek bankowy:**  
Bank BPH S.A. Oddział w Warszawie  
**45 1060 0076 0000 3200 0043 1836**

### Zamawiam książkę:

*Próba łamania złączy spawanych Atlas przełomów  
w Redakcji Przegląd Spawalnictwa w liczbie .... egz.*

Imię i nazwisko

Firma

Adres

NIP

Kontakt do osoby zamawiającej:

Oświadczam, że jestem podatnikiem VAT i upoważniam firmę do wystawienia faktury bez podpisu

\_\_\_\_\_ Podpis