

# Prefabrykacja elementów ciśnieniowych kotłów typu WR

## Prefabrication of elements of WR type pressure boilers

### Streszczenie

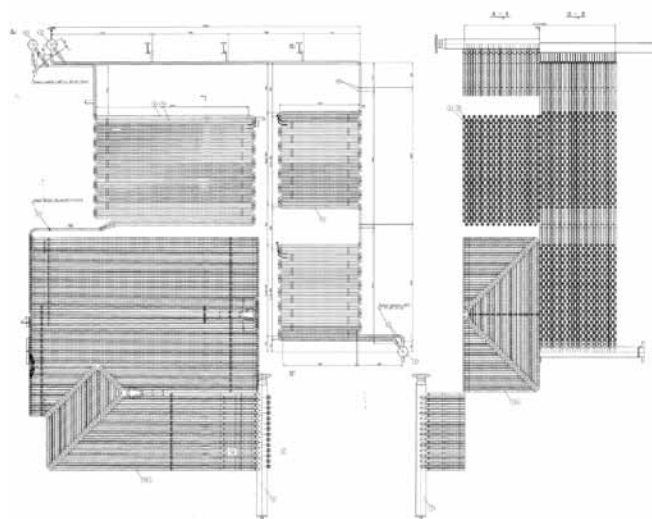
Omówiono budowę kotłów wodnorurowych. Przedstawiono materiały podstawowe i dodatkowe wykorzystywane do ich produkcji, wymagania dotyczące gięcia rur kotłowych, przygotowanie elementów do spawania oraz technologii spawania. Omówiono zakres badań nieniszczących. Przedstawiono wymagania dla personelu badań nieniszczących. Odniesiono się do wymagań odbiorowych UDT.

### Abstract

The construction of pressure boilers was described. The authors presented the base and filler material used for boilers' production, the requirements for boiler pipe bending, the preparation for welding and welding technology. The range of non-destructive tests, requirements for NDT personnel were described. The authors referred to UDT acceptance specifications.

### Wstęp

Kotły typu WR są to kotły wodnorurowe o wymuszonym przepływie wody przez kocioł, opalane węglem kamiennym energetycznym spalany na ruszcie



Rys. 1. Schematyczne zestawienie części ciśnieniowej kotła WR 5  
Fig. 1. The scheme of pressure part of pressure boiler WR 5

Dr hab. inż. Jacek Słania, prof. PCz – Politechnika Częstochowska, mgr inż. Dariusz Kozik – ZUPH „Kotłorex”, Szczekociny.

mechanicznym. Służą do wytwarzania gorącej wody do celów ciepłowniczych lub technologicznych. Konstruowane były jako jednostki jednociągowe, dwuciągowe lub trzyciągowe, oznaczane są odpowiednio symbolami: WR 1,25; WR 2,5; WR 5; WR 10; WR 15; WR 25. Najpopularniejsze konstrukcje o średniej mocy nominalnej ok. 5 MW to kotły WR 5. Najczęściej konstruowane były jako jednostki dwuciągowe, w których pierwszy ciąg stanowi ekranowana komora paleniskowa, nad którą zabudowano węzownice podgrzewacza wody, natomiast drugi ciąg to część konwekcyjna składająca się z węzownic konwekcyjnego podgrzewacza wody. Schematyczne zestawienie części ciśnieniowej kotła WR 5 przedstawiono na rysunku 1.

### Materiały podstawowe

Część ciśnieniowa kotła ciepłowniczego typu WR wykonana jest z rur. Ekran oraz węzownice wykonane są z rur cienkościennych, natomiast komory zbiorcze i rurociągi z grubościennych. Materiały stosowane na te elementy powinny być łatwe w kształtowaniu i dobrze spawalne [1].

Oczekiwane właściwości technologiczne, w odniesieniu do stali, dotyczą głównie wymaganej dobrej spawalności oraz zdolności stali do odkształceń plastycznych na zimno i na gorąco.

## Rury

Wyroby hutnicze na elementy ciśnieniowe powinny w stanie dostawy mieć określone właściwości niezbędne do zaprojektowania urządzenia przy użyciu metod obliczeniowych lub doświadczalnych, z uwzględnieniem wszelkich dających się racjonalnie przewidzieć warunków eksploatacji, w tym również badań i prób przez cały okres planowanej eksploatacji urządzenia. Za określone właściwości uznaje się wytrzymałość na rozciąganie i wytrzymałość na pełzanie [2].

Warunki techniczne dostawy rur określa norma PN-EN 10216-2 2009 [3]. Dla blach żaroodpornych warunki techniczne dostawy określa norma PN-EN 10095: 2002 [4].

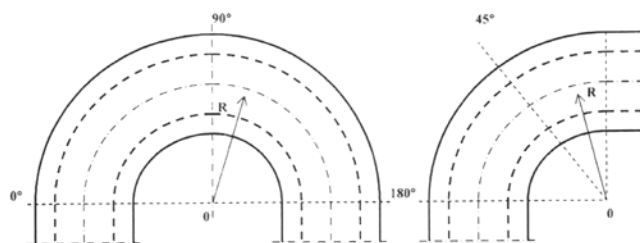
## Materiały dodatkowe do spawania

Materiały dodatkowe do spawania należy dobrać w taki sposób, aby zapewnić, że zarówno w stopiowie, jak i w gotowym złączu będą zachowane odpowiednie właściwości, czyli: ciągliwość, odporność na obciążenia dynamiczne i pęknięcie, odporność na korozję i na starzenie.

Materiały dodatkowe do spawania dobiera się na podstawie ich składu chemicznego i właściwości wytrzymałościowych wg EN 12070 – 1999 [5].

## Gięcie

Prefabrykację elementów należy prowadzić na podstawie protokołu uznania technologii gięcia rur



Rys. 2. Schemat owalizacji kolan próbnych  
Fig. 2. Scheme of ovalisation of test-elbow

określającego: metodę gięcia, gatunek materiału, wielkości geometryczne materiału, kąt i promień gięcia, temperaturę gięcia oraz informacji określonych przez warunek R/D.

Kontroli partii produkcyjnej należy poddać 1% kolan, lecz nie mniej niż 2 szt. Badania obejmują kontrolę owalizacji (wg wzoru 1), pocienienia i twardości.

$$e = [(D_{max} - D_{min}) / D_z] \times 100\% \quad (1)$$

Wartość otrzymana nie może przekraczać 10% dla promieni gięcia  $R \leq 2D_z$ .

Przykładowe zestawienie wyników badań partii przedprodukcyjnej kolan giętych przedstawiono w tabelicy I, natomiast schemat owalizacji kolan próbnych pokazano na rysunku 2.

## Przygotowanie do spawania

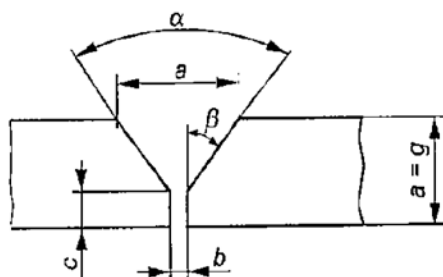
Łączone powierzchnie przed spawaniem powinny być starannie oczyszczone. Należy usunąć wszelkie zanieczyszczenia organiczne i nieorganiczne, ślady farb i lakierów, ślady korozji. Sposób przygotowania

Tablica I. Przykładowe zestawienie wyników badań partii przedprodukcyjnej kolan giętych  
Table I. Exemplary sheet with the results of the tests of elbow-bent pre-production batch

Promień gięcia, mm	Materiał	$D_z \times g$ mm	Kąt gięcia, °	$D_{min}$ mm	$D_{max}$ mm	$e_{dop}$ mm	e %	$g_{pom\ min}$ mm	$T_{pom}$ prostka, HV	$T_{pom}$ na łuku zew., HV
Kolana przedprodukcyjne										
46	P265GH	31,8 x 2, 9	180	30,9	32,1	10,0	3,8	2,69	124	174
46	P265GH	31,8 x 2, 9	180	31,1	32,3	10,0	3,8	2,68	128	171
46	P265GH	31,8 x 2, 9	90	31,1	32,1	10,0	3,1	2,74	131	168
46	P265GH	31,8 x 2, 9	90	30,9	32,0	10,0	3,4	2,76	130	173
46	P265GH	31,8 x 2, 9	45	30,8	32,3	10,0	4,7	2,84	128	168
46	P265GH	31,8 x 2, 9	45	31,3	32,2	10,0	2,8	2,82	127	167
46	P265GH	31,8 x 2, 9	180	31,0	32,3	10,0	4,0	2,74	127	173
46	P265GH	31,8 x 2, 9	180	30,9	32,4	10,0	4,7	2,71	126	171
46	P265GH	31,8 x 2, 9	90	31,2	32,3	10,0	3,5	2,69	127	173
46	P265GH	31,8 x 2, 9	90	30,8	32,0	10,0	3,8	2,70	132	174
46	P265GH	31,8 x 2, 9	45	31,1	32,3	10,0	3,8	2,68	123	169
46	P265GH	31,8 x 2, 9	45	31,2	32,1	10,0	2,8	2,72	129	168

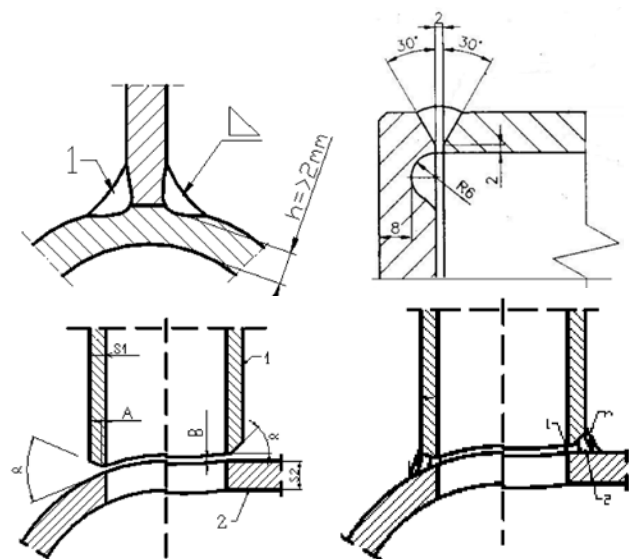
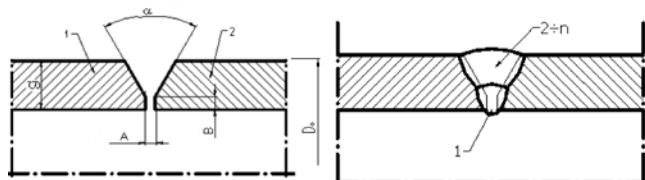
elementów ze stali węglowej i niskostopowej do spawania podano w normie PN-EN 29692 [6]. Łączone powierzchnie powinny być obrobione – ukosowane. Odległość między łączonymi powierzchniami przyjmuje się także w zależności od ich grubości. Kąt ukosowania przyjmuje się w granicach  $20\div 30^\circ$ . Większe wartości kąta ukosowania prowadzą do zwiększenia naprężeń rozciągających w spoinie, co powoduje zwiększenie kąta odkształceń w przypadku np. łączonych blach. Zwiększa się także zużycie materiałów dodatkowych do spawania.

Łączone elementy, przed zasadniczym spawaniem, należy szpeci krótkimi spoinami. W przypadku blach szpecenie należy zacząć od środka łączonych blach. Podziałkę spoin szpeczących przyjmuje się od 20 do 30 grubości łączonych blach. Przy szpeceniu rur należy przyjmować cztery szpecenia, choć w praktyce często stosuje się trzy szpecenia, co  $120^\circ$ .



**Rys. 3.** Charakterystyczne wymiary rowków do spawania na przykładzie spoiny Y: a – grubość spoiny, b – odstęp, c – wysokość progu,  $\beta$  – kąt ukosowania,  $\alpha$  – kąt rowka [9]

**Fig. 3.** Characteristic measures of weld groove at the example of Y weld: a – weld thickness, b – root gap, c – root face,  $\beta$  – bevel angle,  $\alpha$  – included angle [9]

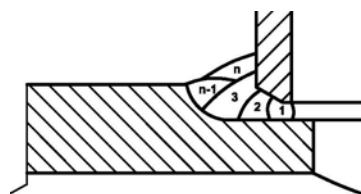


**Rys. 4.** Szczegóły przygotowania brzegów elementów do spawania  
**Fig. 4.** The details of edge preparation for welding

Przykładowe wymiary rowków do spawania dla spoiny Y przedstawiono na rysunku 3, natomiast szczegóły przygotowania brzegów elementów do spawania – na rysunku 4.

## Metody spawania

Przed rozpoczęciem produkcji wytwórca jest zobowiązany do wykonania kwalifikacji technologii spawania. W tym celu powinien wykonać elementy próbne obejmujące wszystkie niezbędne wytyczne określające liczbę złączy próbnych, geometrię złącza oraz zakres badań niszczących i nieniszczących. Powyższe wytyczne określone są w normie EN ISO 15614-1 [7]. Najpopularniejszą metodą spawania wykorzystywaną podczas wytwarzania elementów ciśnieniowych kotłów jest metoda TIG (141). Sposób oraz kolejność układania ściegów dla elementów ekranów, węzownic oraz komór (złącza doczołowe i kątowe ze spoinami pachwinowymi) przedstawiono na rysunku 5. Wszyscy spawacze uczestniczący w procesie wytwarzania elementów ciśnieniowych kotłów muszą być poddani sprawdzeniu kwalifikacji do wykonywania złączy spawanych o określonych właściwościach. Kwalifikacje te określa norma PN-EN 287-1:2011 [8].



**Rys. 5.** Sposób oraz kolejność układania ściegów dla elementów ekranów, węzownic oraz komór

**Fig. 5.** The way and the order of stitching for the elements of screens, coil pipes and chambers

## Badania nieniszczące

Zakres badań niszczących złączy spawanych elementów ciśnieniowych najczęściej ustalany jest według obliczeń uwzględniających współczynnik złącza  $z_b = 0,85$  oraz Warunki Dozoru Technicznego WUDT/UC/2003. Dla elementów ciśnieniowych kotłów energetycznych zakres badań niszczących przedstawiono w tabelcy II, natomiast techniki badawcze i poziomy akceptacji w tabelcy III.

Badania nieniszczące przedstawione w tych tabelcach powinny być wykonywane przez personel kwalifikowany zgodnie z wymaganiami podanymi w PN-EN ISO 9712 [10], jednak pod bezpośrednim nadzorem osoby mającej co najmniej drugi stopień kwalifikacji. Oceny wyników badań może dokonać osoba posiadająca drugi stopień kwalifikacji wg PN-EN ISO 9712.

**Tablica II.** Zakres badań złączy spawanych wg WUDT/UC/2003 [3]  
**Table II.** The range of tests of welded joint, according to WUDT/UC/2003 [3]

Złącze	Zakres badań, %					Uwagi
	VT	RT	UT	PT	MT	
Doczołowe rur ekranowych i węzownic	100	10				dla $z_b = 0,85$
Doczołowe rur o grubości ścianki > 15 mm	100		100 <sup>1)</sup>			dla $z_b = 0,85$
Doczołowe rur o grubości ścianki < 15 mm	100		10 <sup>1)</sup>			dla $z_b = 0,85$
Złącza kątowe z pełnym przetopem	100			10 <sup>2)</sup>		dla $z_b = 0,85$
1) – lub RT, 2) – lub MT						

**Tablica III.** Badania nieniszczące. Stosowane metody i techniki badawcze. Kryteria oceny wyników badań [3]

**Table III.** Non-destructive testing. Used testing methods and techniques. Criteria of results assessment. [3]

Metoda badania	Technika badania	Kryteria oceny
VT	PN-EN ISO 17637	PN-EN 5817
RT	PN-EN 1435 „B”	PN-EN ISO 112517-1
UT	PN-EN ISO 17640 „B”	PN-EN ISO 11666
PT	PN-EN 571-1 (PN-EN ISO 3452-1)	PN-EN ISO 23277
MT	PN-EN ISO 17638	PN-EN ISO 23278

## Podsumowanie

Sposób prefabrykacji elementów ciśnieniowych kotłów energetycznych wymaga uznania przez jednostkę notyfikowaną technologii wszystkich etapów produkcji obejmujących procesy: gięcia, spawania oraz kontroli jakości. Elementy kotłów pracują pod ciśnieniem, muszą więc być poddawane wysokim wymaganiom odbiorowym, a kontrola jakości produkcji musi być prowadzona na każdym etapie pre-

fabrykacji. Kotły rusztowe eksploatowane w celach ciepłowniczych będą w Polsce jeszcze przez dłuższy czas odgrywały ważną rolę. Decydują o tym w dużej mierze względy ekonomiczne wynikające przede wszystkim z kosztów paliwa jakim są opalane, tj. węgiel kamienny, który w założeniach polityki energetycznej naszego kraju jeszcze przez wiele lat będzie stanowił znaczącą pozycję.

## Literatura

- [1] Tasak E.: Problemy spawania nowoczesnych stali bainitycznych i martenzytycznych i ich obróbka cieplna. Referat na Seminarium naukowo-technicznym pt. Zagadnienia technologiczno-materiałowe w procesie napraw i modernizacji urządzeń energetycznych podlegających dozorowi technicznemu. UDT O/Kraków 18.06.2009.
- [2] WUDT/UC/2003 Urządzenia ciśnieniowe, Warunki Urzędu dozoru Technicznego, Warszawa, Wyd. II, 2005.
- [3] PN-EN 10216-2: 2009 Rury stalowe bez szwu do zastosowań ciśnieniowych. Warunki techniczne dostawy. Część 2: Rury ze stali niestopowych i stopowych z określonymi właściwościami w temperaturze podwyższonej.
- [4] PN-EN 10095: 2002 Stale i stopy niklu żaroodporne.
- [5] EN 12070 – 1999 Materiały dodatkowe do spawania. Druty elektrodowe, druty i pręty do spawania łukowego stali odpornych na pełzanie. Klasyfikacja.
- [6] PN-EN 29692 Spawanie łukowe elektrodami otulonymi, spawanie łukowe w osłonach gazowych i spawanie gazowe. Przygotowanie brzegów do spawania stali.
- [7] EN 15614-1: 2008 Specyfikacja i kwalifikowanie technologii spawania metali. Badania technologii spawania. Część 1: Spawanie łukowe i gazowe stali oraz spawanie łukowe niklu i stopów niklu.
- [8] PN-EN 287-1:2011 Egzamin kwalifikacyjny spawaczy. Spawanie. Część 1: Stale.
- [9] Sobieszkański J.: Spajanie. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004.
- [10] PN-EN ISO 9712 Badania nieniszczące. Kwalifikacja i certyfikacja personelu badań nieniszczących. Zasady ogólne.

## W następnym numerze

**Jacek Słania, Grzegorz Raczyński**

Zgrzewanie gazociągu średniego ciśnienia z rur polietylenowych

**Jacek Słania, Andrzej Kostańczyk**

Uszkodzenia komór i kolektorów kotłów parowych – badania diagnostyczne