

Henryk HOLKA¹, Tomasz JARZYNA²

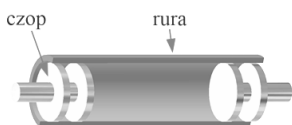
e-mail: hhenryk@vp.pl

¹ Bydgoska Szkoła Wyższa, Bydgoszcz² Zakład Mechaniki Stosowanej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz

Badania doświadczalne wpływu temperatury na prostoliniowość wałów wielkogabarytowych

Wstęp

Wielkogabarytowe wały wytwarzane są z rur, na końcach których montowane są czopy (Rys. 1). Łączna długość takiego elementu sięga kilkunastu metrów. Znajdują one zastosowanie m.in. w przemyśle, cementowym, papierniczym czy drzewnym [Borowiecki, 1980].



Rys. 1. Widok ogólny wału

Wały realizują określone procesy technologiczne w wyniku ruchu obrotowego z niewielkimi prędkościami kątowymi wokół swej osi. Ważne jest, aby współosiowość czopów względem rury mieściła się w granicach założonych tolerancji. Ma na to wpływ dokładność realizacji następujących procesów technologicznych towarzyszących wykonaniu wałów, takich jak:

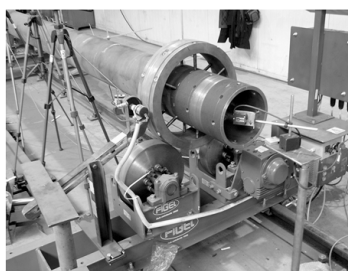
- weryfikacja prostoliniowości osi geometrycznej rury i ewentualna jej korekta, przy czym prostowanie rury odbywa się za pomocą odpowiedniego, punkowego jej nagrzewania palnikiem gazowym;
- zamocowanie i pozycjonowanie (ustalenie) czopów w rurze za pomocą spawania elektrycznego.

Oba procesy są bardzo czasochłonne, co wynika z konieczności studzenia rury po każdym jej podgrzaniu.

Celem pracy było przybliżenie zagadnień zarówno teoretycznych jak i doświadczalnych towarzyszących prostowaniu wałów wielkogabarytowych.

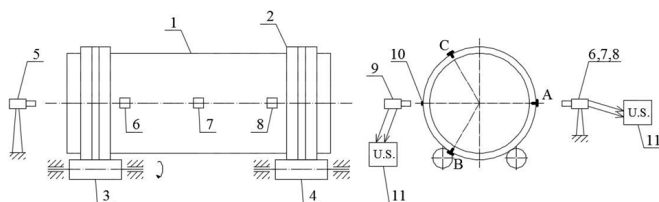
Charakterystyka stanowiska

Dokonano kompleksowej modernizacji stanowiska przemysłowego (Rys. 2 i 3), aby usprawnić technologię prostowania rury oraz centrowania czopów.



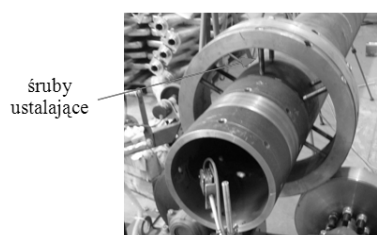
Rys. 2. Widok ogólny stanowiska do prostowania rur i osiowania czopów

Zasadnicze zmiany polegały na zastąpieniu układu pomiarowego (składającego się z tradycyjnych czujników zegarowych) przez w pełni zautomatyzowany system wykorzystujący laserowe czujniki przemieszczeń.



Rys. 3. Schemat stanowiska do prostowania rur i osiowania czopów [Cyprys i in., 2015]

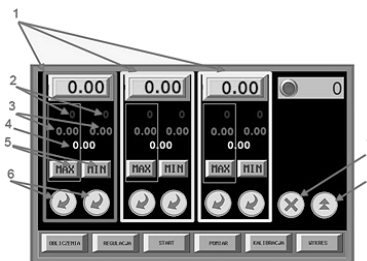
Przed przystąpieniem do prostowania rura – 1 jest mocowana w dwóch pierścieniach centrujących – 2, usytuowanych możliwie blisko jej końców, a następnie układana na obrotnikach – 3 (obrotnik napędowy) i 4. Utwierdzenie rury w każdym z pierścieni odbywa się za pomocą dwunastu śrub usytuowanych w dwóch rzędach (Rys. 4). Zasadnicze pozycjonowanie realizowane jest za pomocą śrub A, B, C rozmieszczonych co 120°, natomiast rolą pozostałych śrub jest poprawienie stabilności zamocowania.



Rys. 4. Sposób zamocowania rury w pierścieniach centrujących

Pozycjonowanie rury w pierścieniach przeprowadza się w oparciu o pomiary dokonywane za pomocą laserowych czujników przemieszczeń – 6 i 8, natomiast do prostowania rury wykorzystuje się laserowy czujnik – 7 ustawiony w połowie długości rury. Do poprawnego ustawienia wymienionych czujników na tej samej wysokości stosuje się laser – 5, którego wiązkę rzutuje się na zewnętrzną powierzchnię rury.

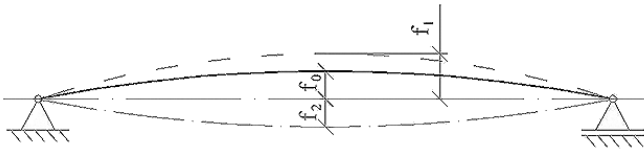
Dzięki wykorzystaniu przetwornika obrotowo-impulsowego, pomiary z czujników – 6, 7, 8, dokonywane są w funkcji położenia kąowego wału. Pozycja początkowa oznaczona jest znacznikiem magnetycznym – 10, którego położenie rejestruje czujnik fotooptyczny – 9. Sygnały z wszystkich czujników kierowane są do urządzenia sterującego – 11, w skład którego wchodzi układ kontroli i sterowania oparty o sterownik swobodnie programowalny, jak również terminal operatorski (Rys. 5). Terminal posiada funkcje sterownicze oraz umożliwia rejestrację i obrazowanie wyników pomiarów w formie wykresów i tabel związanych z przemieszczeniem wału. Elementy pracują w sieci Ethernet [Kasprzyk, 2002].



Rys. 5. Widok terminalu sterowniczego [Cyprys i in., 2015]

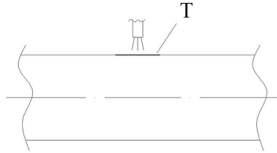
Prostowanie wałów – podstawy teoretyczne

Prostowanie rury następuje metodą punkowego jej grzania i w miejscu maksymalnego wykrzywienia. W trakcie grzania strzałka ugięcia rośnie do pozycji f_1 (Rys. 6), a następnie po ostudzeniu rura zajmuje pozycję f_2 [Rykaluk, 2006]. Proces byłby zakończony, gdyby $f_2 = 0$. Dotychczasowe poszukiwanie tego momentu odbywało się na wycucie operatora. Często rura była wielokrotnie nagrzewana i chłodzona. Planuje się więc teoretyczne i doświadczalne znalezienie takich relacji pomiędzy f_0 i f_1 , aby osiągnąć $f_2 = 0$.



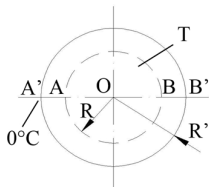
Rys. 6. Deformacja rury zależna od jej nagrzewania

Rozważana jest rura o długości L podgrzana palnikiem do temperatury T (Rys. 7).

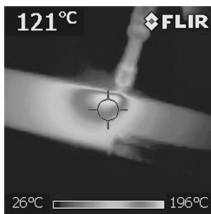


Rys. 7. Idea prostowania rury metodą grzania

W miejscu grzania palnikiem temperatura rury osiąga swą maksymalną wartość (punkt O), natomiast w punkcie A' temperatura wynosi 0°C . Otrzymuje się zatem okrąg temperaturowy (Rys. 8), którego średnicę można określić np. za pomocą kamery termowizyjnej (Rys. 9).



Rys. 8. Okrąg temperaturowy: A'O – znany promień R' po podgrzaniu, AO – nieznaną (urojony) promień R przed podgrzaniem



Rys. 9. Rozkład temperatur podczas punkowego grzania rury

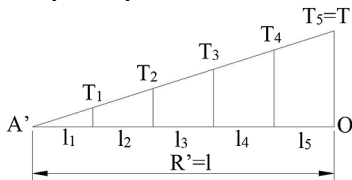
Należy zauważyć, że wydłużenie rury po podgrzaniu to nie jest okrąg temperaturowy $2R'$, lecz jest to różnica $A'B' - AB = 2\Delta l$, stąd

$$\Delta l = R' - R \quad (1)$$

Można zatem napisać:

$$R + \alpha R \Delta T = R' \quad (2)$$

Wzór (1) byłby słuszny, gdyby temperatura wzdłuż promienia była jednakowa. Tymczasem zmienia się ona zgodnie z rozkładem temperatur przedstawionym na rys. 10.



Rys.10. Rozkład temperatury wzdłuż promienia $R'=A'O$

Odcinek R' zostaje podzielony na n równych części (w tym przykładzie $n = 5$) i oblicza się poszczególne temperatury T_1, T_2, \dots, T_n z proporcji trójkąta przedstawionego na rys. 10:

$$T_1 = \frac{T}{n}; T_2 = \frac{2T}{n}; T_3 = \frac{3T}{n}; T_4 = \frac{4T}{n}; T_5 = \frac{5T}{n} \quad (3)$$

dla $n = 5, T_5 = T$, co jest zgodne z rys. 10.

Wydłużenia wybranych odcinków można obliczyć z następujących zależności:

Przedział 1

$$\left(\frac{l}{n}\right)' = \frac{l}{n} + \frac{l}{n} \alpha t_1 = \frac{l}{n} \left(1 + \alpha \frac{t}{n}\right) \quad (4)$$

Przedział 2

$$\left(\frac{l}{n}\right)' = \frac{l}{n} + \frac{l}{n} \alpha \left(\frac{2T}{n} - \frac{T}{n}\right) = \frac{l}{n} + \frac{l}{n} \alpha \frac{T}{n} = \frac{l}{n} \left(1 + \alpha \frac{T}{n}\right) \quad (5)$$

Przedział 4

$$\left(\frac{l}{n}\right)' = \frac{l}{n} + \frac{l}{n} \alpha \left(\frac{4T}{n} - \frac{3T}{n}\right) = \frac{l}{n} + \frac{l}{n} \alpha \frac{T}{n} = \frac{l}{n} \left(1 + \alpha \frac{T}{n}\right) \quad (6)$$

Przedział 5

$$\left(\frac{l}{n}\right)' = \frac{l}{n} + \frac{l}{n} \alpha \left(\frac{5T}{n} - \frac{4T}{n}\right) = \frac{l}{n} + \frac{l}{n} \alpha \frac{T}{n} = \frac{l}{n} \left(1 + \alpha \frac{T}{n}\right) \quad (7)$$

Jak widać wydłużenia we wszystkich przedziałach są takie same, zatem całkowite wydłużenie R' wynosi:

$$R' = n \left[\frac{l}{n} \left(1 + \alpha \frac{T}{n}\right) \right] = l \left(1 + \alpha \frac{T}{n}\right) \quad (8)$$

Przez l oznaczono zgodnie ze wzorem (2) R

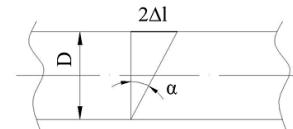
$$R = \frac{R'}{1 + \alpha \frac{T}{n}} \quad (9)$$

Zgodnie z zależnością (1) wydłużenie Δl ma postać

$$\Delta l = R' - R = R' - \frac{R'}{1 + \alpha \frac{T}{n}} = R' \left(1 - \frac{1}{1 + \alpha \frac{T}{n}}\right) \quad (10)$$

R' do tego wzoru wyznacza się z pola temperatur.

Na rys. 11 przedstawiono zależność między wydłużeniem rury a kątem jej ugięcia.



Rys. 11. Zależność między wydłużeniem rury a kątem jej ugięcia

Korzystając z rys. 11 oblicza się kąt ugięcia rury za pomocą zależności trygonometrycznej:

$$\alpha = \arctg \frac{2\Delta l}{D} \quad (11)$$

Na podstawie obliczonego kąta ugięcia rury można wyznaczyć f_1 (Rys. 6). W następnym kroku należałoby doświadczalnie oszacować wpływ skurczu materiałowego na parametr f_2 .

Wnioski

Wykonane stanowisko umożliwia prostowanie wałów wielkogabarytowych o różnych średnicach i długościach.

Brak dokładnej wiedzy dotyczącej zagadnień skurczu materiałowego po podgrzaniu do wysokich temperatur i studzeniu uniemożliwia wyprostowanie rury za pomocą jednej operacji.

Autorzy poprzez liczne doświadczenia pragną znaleźć zależności umożliwiające optymalizację procesu prostowania.

LITERATURA

- Cyprys P., Holka H., Jarzyna T., (2015). Prostowanie technologiczne wielkogabarytowych wałów w przemyśle papierniczym. *Logistyka*, 4, 2830-2834
- Borowiecki S. (1980). *Maszyny papiernicze*. WSiP, Warszawa
- Kasprzyk J., (2002). *Programowanie sterowników przemysłowych*. WNT, Warszawa
- Rykaluk K. (2006). *Konstrukcje stalowe. Podstawy i elementy*. DWE, Wrocław