

Tomasz JARZYNA¹, Henryk HOLKA²

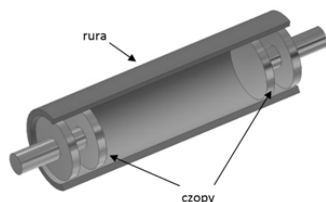
e-mail: tomasz.jarzyna@utp.edu.pl

¹ Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz² Bydgoska Szkoła Wyższa, Bydgoszcz

Prostowanie i osiowanie wałów wielkogabarytowych

Wstęp

Maszyny o dużych gabarytach pracują w wielu gałęziach przemysłu m.in. w przemyśle papierniczym, cementowym, maszynowym, okrętowym. [Borowiecki, 1980]. Wały należą do podstawowych elementów tych maszyn. Wały o długości 7 m do 14 m i średnicach do 500 mm, rozpatrywane w niniejszej pracy, na ogół podparte są w obracających się łożyskach. Należy zauważyć, że jedyną uzasadnioną technologicznie alternatywą wykonania opisywanego wału jest rura z zamontowanymi na końcach czopami (Rys. 1). Niewiele jest firm, które są w stanie poprawnie wykonać tak zaprojektowany element.



Rys. 1. Widok ogólny rury z czopami

W procesie technologicznym wykonania wału z czopami, czyli w procesie osiowania, występują dwa podstawowe problemy:

- zapewnienie prostoliniowości osi geometrycznej rury,
- połączenie rury z czopami bocznymi.

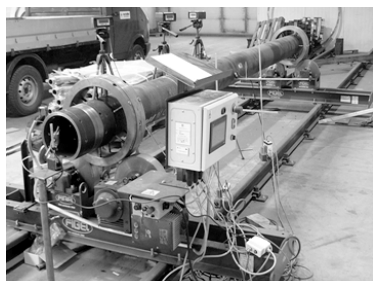
Realizacja tego zadania przebiega w dwóch operacjach: operacji prostowania z zachowaniem prostoliniowości osi geometrycznej rury oraz połączenia wyprostowanej rury z czopami z zachowaniem centrycznego ułożenia czopów względem rury.

Proces osiowania nie jest prosty. Dotychczas procesie technologicznym prostowania i centrowania używano tradycyjnych czujników zegarowych, co znacznie wydłużało czas operacji, a przede wszystkim prowadziło do dużych niedokładności.

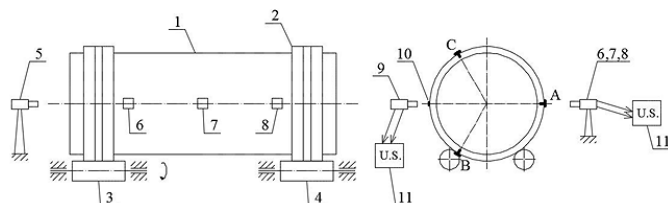
Celem pracy jest prezentacja metody prostowania i osiowania wałów wielkogabarytowych z wykorzystaniem nowoczesnych systemów pomiarowych, co znacznie ułatwia realizację procesu, skracając jego czas i poprawiając dokładność.

Stanowisko do osiowania wału

Proces prostowania wału oraz montażu czopów przeprowadza się na specjalnie zbudowanym stanowisku przedstawionym na rys. 2, 3.

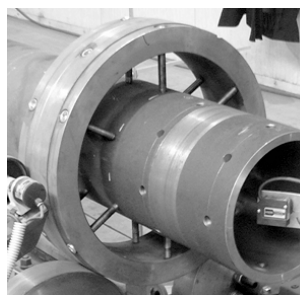


Rys. 2. Widok stanowiska do osiowania wału



Rys. 3. Schemat stanowiska do osiowania wału

Prostowany element w postaci rury – 1 mocuje się w dwóch pierścieniach centrujących – 2, które toczą się po rolkach obrotników – 3 i 4. Rurę w pierścieniach mocuje się za pomocą dwunastu śrub, usytuowanych w dwóch rzędach po sześć śrub każdy (Rys. 4).



Rys. 4. Sposób zamocowania rury w pierścieniu

Rys. 4. Sposób zamocowania rury w pierścieniu

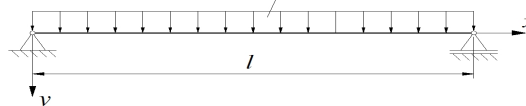
W pierwszej fazie przeprowadza regulację się za pomocą śrub A, B, C rozłożonych równomiernie na obwodzie rury co 120°. Regulacja ma na celu wstępne, centryczne ustawienie rury w pierścieniach tak, aby osie wymiennych elementów pokrywały się. Następnie dokręca się pozostałe sześć śrub.

Po wycentrowaniu rury w pierścieniach, przechodzi się do drugiej fazy – pomiaru ugięcia rury stanowiącego podstawę do jej prostowania. Pomiar wykonuje się w czasie jednego obrotu wału, mierzonego za pomocą czujnika fotooptycznego – 9 współpracującego z taśmą odbłaskową – 10. Miejsce jej naklejenia wyznacza punkt startowy pomiaru bicia, np. na rys. 3 jest on po przeciwnej stronie śrub A.

Proces centrowania rury w pierścieniach realizowany za pomocą czujników laserowych – 6 i 8, a do pomiaru bicia wykorzystuje się czujnik – 7. Zamocowanie czujników w jednej płaszczyźnie poziomej odbywa się przy wykorzystaniu lasera – 5, którego wiązka padająca na płaszczyznę rury wyznacza linię odniesienia dla czujników. Zarówno czujnik fotooptyczny – 9 jak i czujniki – 6÷8 podłączone są do urządzenia rejestrującego – 11. W jego skład wchodzi układ kontroli i sterowania oparty na sterowniku swobodnie programowalnym (PLC) oraz terminal operatorski. Terminal umożliwia sterowanie stanowiskiem, jak również rejestrację wyników pomiarów oraz ich graficzną prezentację w formie wykresów oraz tabel skorelowanych z przemieszczeniem wału. Identyfikowanie położenia wału zsynchronizowanego z odczytami z czujników jest możliwe dzięki przetwornikowi obrotowo-impulsowemu. Umożliwia to przypisanie wyników do rozwinięcia liniowego wału [Kasprzyk, 2002].

Charakterystyka procesów

W prezentowanej metodzie rura mocowana jest na obu końcach w pierścieniach centrujących, co wpływa na jej odkształcenie statyczne. Osiąga ono maksimum w połowie rozpiętości między podporami i jest zależne od rodzaju materiału, długości rury oraz jej przekroju poprzecznego. Chcąc wyznaczyć to ugięcie, można przyjąć, że rura wraz z zamocowaniem stanowi model belki podpartej na obu końcach, obciążonej ciężarem własnym q rozłożonym równomiernie na jej długości (Rys. 5).



Rys. 5. Model belki wraz z obciążeniem

Równanie strzałki ugięcia jest następujące:

$$y = \frac{1}{EI} \left[\frac{5ql^4}{384} \right], \quad (1)$$

gdzie: E – moduł sprężystości wzdłużnej, [MPa]; I – moment bezwładności, [mm⁴]; q – obciążenie ciągłe, [N/mm]; l – długość belki, [mm].

Moment bezwładności I dla przekroju rury wylicza się z zależności [Holka i Jarzyna, 2014]:

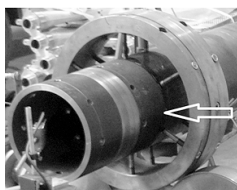
$$I = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4), \quad (2)$$

gdzie: D – średnica zewnętrzna rury, [mm];
 d – średnica wewnętrzna rury, [mm].

Przyjmując do obliczeń parametry badanej rury: $l = 12000$ mm, $D = 500$ mm, $d = 470$ mm oraz $E = 205000$ MPa, wyznaczono wartość strzałki ugięcia, która dla przedstawionych parametrów rury wynosi $f = 1,66$ mm. Jest ona niewielka w stosunku do rozmiarów badanej rury, lecz należy ją uwzględnić podczas pozycjonowania czujnika – 7 (Rys. 3).

Osiowanie rury w pierścieniach centrujących oraz jej prostowanie

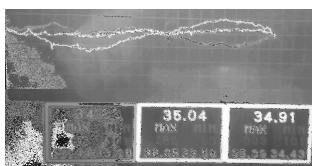
W pierwszym etapie, czyli osiowaniu, dąży się do pokrycia osi geometrycznych pierścieni centrujących oraz zamocowanej w nich rury. Czujniki rejestrujące przemieszczenie ustawia się w płaszczyznach zamocowania rury w pierścieniach, jak pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Miejsce zamocowania czujnika przemieszczenia

W kolejnych etapach następuje:

- kalibracja układu pomiarowego polegająca na przypisaniu położenia kąтового wału do rozwinięcia liniowego (liczba impulsów z przetwornika przypadająca na 1 stopień),
- pomiar ruchu wału z przypisaniem wartości do położenia kątowych, a także utworzenie tabeli pomiaru oraz wykresu. Przykładowy wykres dla pomiaru trzema czujnikami pokazano na rys. 7,



Rys. 7. Wykresy pomiarowe dla trzech czujników

- wyszukanie punktów charakterystycznych odkształceń tj. maksymalnych i minimalnych wartości przypisanych do położenia kąтового. Uzyskane wyniki stanowią podstawę do regulacji ustawienia rury w pierścieniach centrujących za pomocą śrub A, B, C (Rys. 3). W celu usprawnienia procesu, opracowano algorytm dzięki któremu otrzymuje się wymagane liczby obrotów, o jakie należy wkręcić lub wykręcić poszczególne śruby. Proces centrowania jest przeprowadzony poprawnie, jeżeli krzywe zarejestrowane przez czujniki rejestrujące przemieszczenie rury mają przebiegi kształtem zbliżone do linii poziomych w granicach narzuconej tolerancji. Po wycentrowaniu rury dokręca się pozostałe śruby ustalające.
- prostowanie rury przy wykorzystaniu czujnika – 7 (Rys. 3), wskazującego maksymalne ugięcie rury oraz kąt na jakim ono występuje. Po przeprowadzonym pomiarze, rurę ustawia się w taki sposób, aby maksymalna strzałka ugięcia znajdowała się w pozycji górnej (na szczycie rury). Następnie prostuje się rurę poprzez miejscowe nagrzanie palnikiem górnej powierzchni rury i pozostawienie jej do wystygnięcia [Rykaluk, 2006]. Proces grzania, studzenia i pomiarów powtarza się tak długo, aż uzyska się zadowalające małe wykorbienie. Osiowanie i prostowanie

rury uznaje się za zakończone, jeżeli wykresy z czujników – 6, 7, 8 będą względem siebie równoległe w granicach wyznaczonych tolerancji.

Procedura centrowania czopów

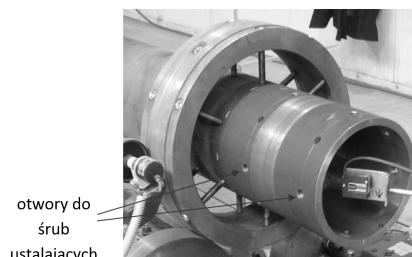
Po przeprowadzeniu osiowania i prostowania rury, przeprowadza się procedurę centrowania czopów w rurze:

- w oba końce rury wkłada się czopy (Rys. 8),



Rys. 8. Widok ogólny czopów umiejscowionych w rurze

- wkręca się śruby ustalające w cztery otwory, równomiernie rozłożone na obwodzie rur, (usytuowane w dwóch rzędach na każdy czop), a następnie wstępnie dokręca (Rys. 9),



Rys. 9. Usytuowanie otworów śrub

- osiuje się wał w płaszczyźnie pomiaru czujnika 1 za pomocą śrub ustalających tarczę – 1 (Rys. 8),
- wał wprawia się w ruch obrotowy i obserwuje wskazania czujnika – 1,
- dąży się do minimalizacji bicia czopa względem rury poprzez regulację śrubami na tarczy – 1, które następnie się dokręca,
- sprawdzane jest bicie wału w płaszczyźnie czujnika – 2, które koryguje śrubami tarczy – 2 (należy pamiętać że układ zachowuje się jak dźwignia podparta w płaszczyźnie tarczy – 1),
- ponownie dokonuje się kontroli bicia w płaszczyźnie czujnika – 1 i 2 oraz w razie konieczności koryguje (proces powtarza się aż do uzyskania zadowalających wyników),
- zaspawuje się spoiną pachwinową tarczę – 1 z rurą,
- ponownie sprawdza się czujnikami – 1 i 2 wychylenie, które ewentualnie koryguje się spawami w odpowiednich otworach na rurze (Rys. 9),
- po osiągnięciu zadowalających wyników pomiarów, zaspawuje się otwory rury w płaszczyznach tarcz – 1 i 2 oraz pozostawia rurę do ostygnięcia,
- pomiary sprawdzające w płaszczyznach czujników – 1 i 2,
- czynności powtarza się dla drugiego czopa.

Wnioski

Zaprezentowane stanowisko umożliwia prostowanie i osiowanie wałów wielkogabarytowych o różnych średnicach i długościach.

Zastosowanie innowacyjnego systemu pomiarowego znacznie skróciło procesy prostowania i osiowania oraz poprawiło ich dokładność

Automatyzacja stanowiska spowodowała, że sterowanie ruchem wału jak i rejestracja wyników pomiarów odbywa się z poziomu terminalu operatorskiego.

LITERATURA

- Borowiecki S. 1980, *Maszyny papiernicze*. WSiP, Warszawa.
Holka F., Jarzyna T. 2014. *Statyka i wytrzymałość materiałów*. Wyd. UTP, Bydgoszcz
Kasprzyk J., 2002. *Programowanie sterowników przemysłowych*. WNT, Warszawa
Rykaluk K. 2006. *Konstrukcje stalowe. Podstawy i elementy*. DWE, Wrocław