

# Wybrane problemy obróbki riserów

## Selected problems of risers machining

EDWARD MIKO  
 ŁUKASZ NOWAKOWSKI  
 MARIAN SZCZERBA  
 PIOTR KRAWCZYK  
 MICHAŁ KOPANIA\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.124>

Prezentowano proces obróbki riserów oraz wyniki pomiaru wybranych parametrów jakościowych. Riser to system rur używanych do połączenia wylotu głowicy przeciwerupcyjnej z platformą wiertniczą. Największym problemem podczas obróbki mechanicznej riserów jest dotrzymanie warunku jednokowej grubości ścianek i prostoliniowości na całej długości, która w opisywanym przykładzie wynosi 15 140 mm.

**SŁOWA KLUCZOWE:** riser, toczenie, wiercenie długich otworów, wytaczanie długich otworów

*Presented are the risers machining process and the results of measurement of selected errors of their execution. Risers are a system of pipes used to connect the outlet of the eruption head with the oil platform. The biggest problem during risers machining is their length, which in the described example is 15,140 mm.*

**KEYWORDS:** riser, turning, drilling long holes, boring long holes

Na świecie prowadzi się wiele prac badawczych dotyczących różnych aspektów procesu obróbki głębokich otworów, tj.:

- wpływu konstrukcji narzędzia na dokładność wymiarowo-kształtową wierconych otworów [1] oraz integralność powierzchni po wierceniu i wytaczaniu głębokich otworów [2],
- odkształceń cieplnych przedmiotu obrabianego podczas wiercenia głębokich otworów [3],
- wpływu geometrii narzędzia na ewakuację wiórów [4] i dynamikę przepływu chłodziwa mającą podnosić efektywność chłodzenia podczas wiercenia głębokich otworów i wyłukiwania wiórów [5],
- optymalizacji konstrukcji narzędzia do wiercenia głębokich otworów [6].

W artykule opisano w sposób uproszczony problemy, które wystąpiły podczas prób technologicznych obróbki riserów. Próby zostały przeprowadzone w firmie CELSA Huta Ostrowiec w Ostrowcu Świętokrzyskim. Półfabrykatem wejściowym do procesu obróbki mechanicznej był odkuty swobodnie pręt o średnicy  $\varnothing \sim 370$  mm, długości 16 140 mm i masie 10 328 kg.

Głównym problemem, związanym z długością produkowanych riserów, jest wiercenie długich otworów oraz nierównomierne nagrzewanie się przedmiotu obrabianego podczas procesu toczenia, co jest powodem wykrzy-

wiania się rury podczas zdejmowania kolejnych warstw nadatku obróbkowego.

### Proces produkcji riserów

Pierwszym etapem produkcji riserów było wykonanie w CELSA Hutcie Ostrowiec metodą kucia swobodnego odkuwki w gatunku F22 o masie  $\sim 10\,328$  kg, w formie pręta o średnicy  $\varnothing \sim 370$  mm i długości 16 140 mm. Wymiary gabarytowe odkuwki miały nadatki obróbkowe na średnicy od 25,6 mm do 110 mm oraz na długości – 1270 mm (materiał na wykonanie badań niszczących po obróbce cieplnej:  $\sim 400$  mm, materiał na bariery cieplne i nadatki technologiczne: 300 mm, materiał na zamocowanie w specjalnym uchwycie w piecu pionowym podczas obróbki cieplnej: 570 mm).

Po wykonaniu odkuwki i wstępnej obróbce cieplnej riser poddano wstępnej obróbce tokarskiej i wierceniu oraz wytaczaniu otworu osiowego. Następnie została wykonana jakościowa obróbka cieplna w pionowym piecu gazowym. Półfabrykat risera po obróbce cieplnej musiał spełniać bardzo wysokie wymagania wytrzymałościowe: wytrzymałość na rozciąganie  $R_m \geq 670$  MPa, granica plastyczności  $R_e \geq 550$  MPa, wydłużenie względne próbki  $A_4 \geq 40\%$ , przewężenie  $z \geq 40\%$ , udarność  $KV \geq 100$  J w temperaturze  $-40^\circ\text{C}$ .

Ponadto materiał rury poddano badaniom nieniszczącym: ultradźwiękowym (UT) i magnetycznym (MT) w celu potwierdzenia spełnienia wysokich wymagań czystości stali określonych w specyfikacjach materiałowych. Po otrzymaniu pozytywnych wyników badań niszczących i nieniszczących można było przystąpić do finalnej obróbki mechanicznej (toczenia średnic zewnętrznych i wytaczania otworu) oraz wykonania raportu pomiarowego wielkości geometrycznych wyrobu.

### Toczenie surowej odkuwki

Toczenie surowej odkuwki rury odbywało się na ciężkiej tokarce kłowej typu TCH160. Zabiegi toczenia wtczek (obwodowych pasków na średnicy zewnętrznej o długości  $\sim 120$  mm, służących do podparcia odkuwki podtrzymkami) wykonywano z użyciem tulei centrującej, pozwalającej na precyzyjne osiowe ustawienie przedmiotu obrabianego oraz na podparcie podtrzymkami rolkowymi.

Wykonana wtczka powinna mieć odchyłkę okrągłości nieprzekraczającą 0,04 mm, bicie promieniowe maksymalnie 0,02 mm oraz chropowatość powierzchni  $Ra < 1,25 \mu\text{m}$ . Podczas toczenia odkuwka była podparta trzema podtrzymkami rolkowymi. Parametry toczenia, uzależnione od przekroju warstwy skrawanej, mieściły się w granicach: prędkość skrawania  $v_c = 40 \div 60$  m/min, posuw  $f = 0,4 \div 1,0$  mm/obr.

\* Dr hab. inż. Edward Miko prof. PŚk (emiko@tu.kielce.pl), dr inż. Łukasz Nowakowski (lukasn@tu.kielce.pl) – Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Politechnika Świętokrzyska; mgr inż. Marian Szcerba (mszcerba@celsaho.com), mgr inż. Piotr Krawczyk (krawczyk@celsaho.com), mgr inż. Michał Kopania (kopania@celsaho.com) – Wydział Obróbki Mechanicznej Celsa Huta Ostrowiec



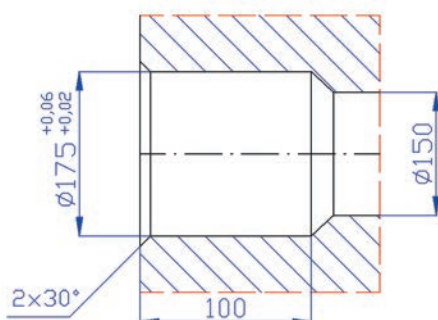
Rys. 1. Sposób podparcia risera podczas procesu obróbki tokarskiej

### Wiercenie otworu $\varnothing 150$ mm i wytaczanie na $\varnothing 175$ mm

Wiercenie otworu  $\varnothing 150$  i kolejne wytaczania przeprowadzono na wiertarce do głębokich otworów typ KZ 1920, z wykorzystaniem specjalnych głowic wierzących i wytaczających własnej konstrukcji, osadzanych na drągu wiertarskim (system STS, rys. 2), pracujących z prędkością skrawania  $v_c \cong 60$  m/min i posuwem  $v_f = 9 \div 12$  mm/min. Zmiany ciśnienia na doprowadzeniu oleju do głowicy mieściły się w zakresie  $0,1 \div 6,0$  bar i były uzależnione od konstrukcji głowicy, długości otworu, średnicy drągów i głowicy, parametrów skrawania oraz rodzaju wiórów. Przepływ oleju – 200, 400, 600 l/min – był regulowany. Przed każdym procesem wytaczania wykonywano otwory pilotowe, których kształt i wymiary przedstawiono na rys. 3 oraz w tabl. I.



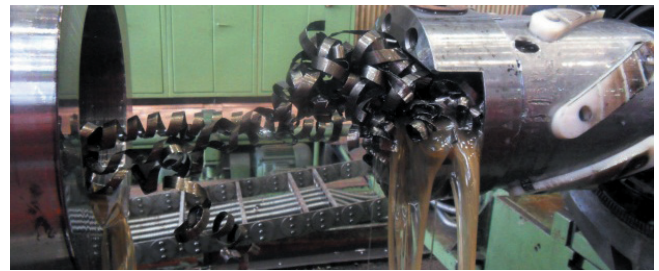
Rys. 2. Narzędzie do wiercenia otworów w riserach

Rys. 3. Przykładowy otwór pilotowy wykonany dla operacji wytaczania otworu  $\varnothing 150$  mm na  $\varnothing 175$  mm

TABLICA I. Wymiary otworów pilotowych

Nr	1	2	3	4	5
Średnica otworu rozwiercanego, mm	150	175	200	210	219,4
Średnica otworu pilotowego, mm	175	200	210	219,4	–
Głębokość, mm	100				–
Tolerancja, mm	+0,06				–
	+0,02				–

Podczas wiercenia otworów występowały problemy z odprowadzaniem wiórów przez otwory drągów wiertarskich (rys. 4). Różnica grubości ścianek w pojedynczych przekrojach poprzecznych riserów nie przekraczała 3 mm na całej długości otworu – po operacjach wiertarskich.



Rys. 4. Postać wiórów utrudniająca ich usuwanie

### Obróbka cieplna

Aby błąd prostoliniowości przedmiotu obrabianego był jak najmniejszy, już na etapie ulepszenia cieplnego obróbkę cieplną riserów przeprowadzono w piecu pionowym, gdzie do zawieszenia rur użyto uniwersalnego zawiesia talerzowego. Pozwalało ono zacząć jednocześnie dwie lub cztery sztuki, np.: riserów, wałów czy prętów.

Wykorzystano dwa przeciwległe otwory w talerzu – jeden do zawieszenia risera, a drugi – do przeciwcieżaru. Zawieszenie jednej rury było niemożliwe ze względu na brak odpowiedniego uchwytu.

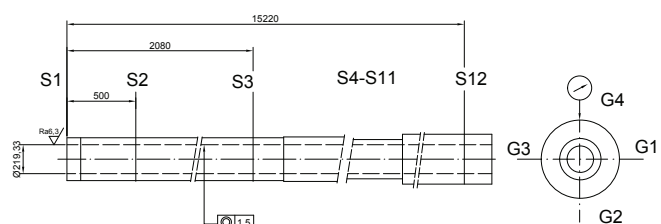
Po obróbce cieplnej rury stwierdzono jej wydłużenie o  $\sim 15$  mm na długości 10 746 mm i błąd prostoliniowości  $\sim 15$  mm/15 000 mm.

Rurę poddano procesowi prostowania i powtórzono obróbkę cieplną. Ponownie zmierzono prostoliniowość rury – błąd prostoliniowości na całej długości rury wyniósł 7 mm.

Po obróbce cieplnej zmierzono twardość rury twardościomierzem EQOTIP 550 metodą dynamiczną Leeba w punktach zgodnie ze schematem na rys. 5. Wyniki pomiarów twardości przedstawiono w tabelicy II.

Na podstawie analizy wyników pomiarów stwierdzono, że różnica w twardości rury wzdłuż tworzących w położeniach kątowych G1, G2, G3, G4 oraz odległościach pomiarowych mieściła się w przedziale  $47 \div 54$  HB, a w poszczególnych przekrojach poprzecznych zawierała się w zakresie  $7 \div 13$  HB.

Następnie przystąpiono do kolejnego etapu obróbki mechanicznej.



Rys. 5. Schemat pomiaru risera



TABLICA II. Wyniki pomiarów twardości wału po obróbce cieplnej

Odległość, mm	Twardość, HB				Δ
	G1	G2	G3	G4	
0	199	194	199	201	7
500	200	199	201	194	7
2 100	226	221	217	226	9
3 700	216	218	220	211	9
5 300	200	208	199	195	13
6 900	204	197	205	203	8
8 500	190	199	196	198	9
10 100	206	203	212	215	12
11 700	228	221	219	215	13
13 300	183	189	188	190	7
14 900	233	221	231	233	12
15 440	237	238	235	244	9
Δ	54	49	47	54	

### Zewnętrzne toczenie kalibrujące i wytaczanie na: $\varnothing 190$ mm, $\varnothing 210$ mm, $\varnothing 219,4$ mm

Obróbkę mechaniczną rozpoczęto od kalibrowania „wyprostowania” zewnętrznej powierzchni rury poprzez toczenie z odpowiednio przestawioną osią (rys. 1). Przeszawienie osi na pewnym fragmencie długości wału uzyskuje się dzięki niecentrycznemu zamocowaniu wału w tulei centrującej za pomocą śrub regulacyjnych. Następnie z przestawionej osi wykonano „wtoczkę” (rys. 3, tabl. I, nr 2) do wprowadzenia głowicy wytaczającej i przystąpiono do wytaczania otworu na  $\varnothing 190$  mm, z parametrami skrawania:  $v_f = 8 \div 12$  mm/min i  $v_c \approx 60$  m/min.

Wiercenie i wytaczanie otworu odbywa się metodą STS, tzn. jednorurową, w której olej wypływający wiórowo jest podawany szczeliną między obrobnym otworem a powierzchnią drąga wiertarskiego. Odprowadzanie wiórowo odbywa się poprzez otwór drąga. Podczas wytaczania otworu rura była podparta pięcioma podtrzymałkami.

Problem z trudnym łamaniem wiórowo z materiału, z którego wykonano rurę, rozwiązano przez zredukowanie posuwu. W ten sposób uzyskano w miarę regularne i łatwe do wypłukania wiórowo. Stosowanie wyższego posuwu powodowało powstawanie trudno łamliwych wiórowo wstępnych, które zatykały drąg wiertarski i uniemożliwiały dalszą obróbkę.

Użytkane wymiary średnicy otworu  $\varnothing 190$  mm na wejściu to  $\varnothing 190,08$  mm, a na wyjściu –  $\varnothing 190,14$  mm, średnica wtoczki wynosiła  $\varnothing 190+0,05/+0,03$ .

Następnie powtórzono operacje toczenia przygotowywanego rurę do wytaczania na  $\varnothing 210$  mm i  $\varnothing 219,4$  mm (tabl. I) i otrzymano rurę spełniającą wymagania pokazane na rys. 5. Pomiary średnic na początku i końcu wytaczanego otworu z  $\varnothing 190$  mm na  $\varnothing 210$  mm wykazały, że średnica otworu na wejściu była o 0,04 mm większa niż na wyjściu (wejście  $\varnothing 210,08$  mm, wyjście  $\varnothing 210,24$  mm). Podczas obróbki mechanicznej cienkie ścianki rury,  $g_{min} = 19,56$  mm, nagrzewały się, dlatego konieczne było stosowanie bardzo obfitego chłodzenia.

### Opis metody pomiaru grubości ścianek

Pomiary grubości ścianek riserów po każdej operacji toczenia, wiercenia i wytaczania otworu przeprowadzano za pomocą grubościomierzy ultradźwiękowych, z dokładnością pomiaru do 0,1 mm. Miejsca pomiaru grubości ścianek przygotowywano poprzez toczenie na średnicach zewnętrznych pasków o szerokości 30 mm z zachowaniem bicia poprzecznego maks. 0,05 mm i chropowatości powierzchni  $Ra = 1,25$   $\mu$ m. Zachowanie takiego samego

TABLICA III. Wyniki pomiarów grubości ścianek risera po wytaczaniu finalnym na wymiar  $\varnothing 219,4$  mm

Odległość, mm	Grubość ścianki, mm			Różnica grubości ścianek, mm		
	G1	G2	G3	G4	G1 – G3	G2 – G4
50	65,1	65,1	65,0	65,1	0,1	0,0
1 520	27,4	27,2	27,2	27,2	0,2	0,0
3 040	32,4	32,1	31,8	32,1	0,6	0,0
4 560	38,1	37,6	37,3	37,5	0,8	0,1
6 080	42,6	42,3	41,6	42,2	1,0	0,1
7 600	43,9	43,6	43,1	43,4	0,8	0,2
9 120	47,6	47,3	46,8	47,1	0,8	0,2
10 640	42,0	41,7	41,2	41,5	0,8	0,2
12 160	42,0	41,8	41,6	41,6	0,4	0,2
13 680	42,4	42,4	42,3	42,3	0,1	0,1
15 200	42,4	42,4	42,4	42,3	0,0	0,1

położenia punktów pomiarowych przy kolejnych pomiarach pozwoliło śledzić zmiany prostoliniowości otworu.

### Podsumowanie

- Różnice twardości powierzchni rury wskazują miejsca i kierunek krzywienia się rury podczas zdejmowania kolejnych warstw nadatku. W miejscu obszarów o wyższej twardości krzywizna rury była wypukła (bicie na zewnątrz). Należy dążyć do uzyskania jednakowej twardości na całej powierzchni rury.
- Błąd prostoliniowości rur po zabiegu obróbki cieplnej nie powinien przekraczać 4 mm. Większe skrzywienie rur znacznie wydłuża czas obróbki mechanicznej, a w granicznych przypadkach może wystąpić brak nadatku obróbkowego.
- Należy zwrócić uwagę na znaczne wydłużenie rury po zabiegu obróbki cieplnej i założyć odpowiednio duży nadatek materiału na powierzchniach czołowych rury.
- Do rozwiązania pozostaje problem małej wydajności wiercenia i wytaczania otworu w materiałach dających trudno łamliwe wiórowo. Zastosowanie niskich parametrów wiercenia i wytaczania otworów pozwoliło na wypływanie wiórowo wraz z olejem, ale kosztem wydłużenia czasu obróbki.
- Duży wpływ na prostoliniowość rury po obróbce ma liczba użytych podparć rury podczas obróbki mechanicznej. Przy obróbce rur o długości ~16 m wskazane jest użycie pięciu podtrzymek. Mniejsza liczba podtrzymek przyczynia się do większego krzywienia się rur, a większa – bardzo przeszkadza podczas obróbki ze względu na konieczność ich częstego przestawiania.

### LITERATURA

1. Nowakowski Ł., Miko E., Skrzyaniar M. „Ocena dokładności wymiarowo-kształtowej otworów wierconych wiertłami składanymi”. *Mechanik*. 8-9 (2016): s. 1200-1201.
2. Huang Zhang, Xingquan Shen, Arixin Bo, Yaoming Li, Haifei Zhan, Yuantong Gu. „A multiscale evaluation of the surface integrity in boring trepanning association deep hole drilling”. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 123 (2017): s. 48-56.
3. Biermann D., Iovkov I. „Investigations on the thermal workpiece distortion in MQL deep hole drilling of an aluminium cast alloy”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 64 (2015) s. 85-88.
4. Tnay G.L., Wan S., Woon K.S., Yeo S.H. „The effects of dub-off angle on chip evacuation in single-lip deep hole gun drilling”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 108 (2016): 66-73.
5. Woon K.S., Tnay G.L., Rahmana M., Wanc S., Yeod S.H. „A computational fluid dynamics (CFD) model for effective coolant application in deep hole gundrilling”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. 113 (2017): s. 10-18.
6. Biermann D., Kersting M., Kessler N. „Process adapted structure optimization of deep hole drilling tools”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 58 (2009): s. 89-92.