

Andrzej PACANA  
Politechnika Rzeszowska

## OCENA ISTOTNOŚCI PARAMETRÓW PROCESU KRĄŻKOWANIA METODĄ SHAININA

W pracy podjęto próbę oceny istotności parametrów technologicznych metodą Shainina. Zadanie zrealizowano na podstawie procesu nagniatania naporowego tocznego (krążkowania) wałków ze stali 1.503 uprzednio toczonych. Uwzględnianymi w badaniach, sterowalnymi parametrami były: wcisk, prędkość obrotowa i chropowatość przed obróbką ( $R_a$ ). Badania prowadzone w kierunku minimalizacji parametru  $R_a$  po obróbce pozwoliły szybko uzyskać wskazówki do osiągnięcia pożądanej chropowatości po krążkowaniu.

### Wprowadzenie

Obróbka nagniataniem jest jedną z metod obróbki mechanicznej wykańczającej. Jej zadaniem jest uzyskanie dużej gładkości powierzchni obrobionej, jak również dużego umocnienia mechanicznego, a nawet zwiększenie dokładności wymiarowo-kształtowych. Za najpopularniejszy sposób nagniatania uważa się krążkowanie naporowe toczne. Umiejętny dobór parametrów takiego krążkowania pozwala na uzyskanie pożądanej chropowatości  $R_a$ . Chropowatość powierzchni ma bardzo duże znaczenie dla współpracy elementów części maszyn. Istnieje bowiem pewna optymalna wartość chropowatości zależna od warunków eksploatacji, przy której zużycie elementów jest najmniejsze. Wartość chropowatości ma wpływ również na odporność korozyjną i zmęczeniową oraz przewodnictwo elektryczne i cieplne. Poszukiwanie istotnych dla konkretnego procesu krążkowania parametrów procesu jest więc koniecznością. Warto również zaznaczyć, że przez wybór istotnych parametrów i optymalizację obróbki można również obniżyć koszty produkcji. Obróbka ta wyklucza bowiem często wykańczającą obróbkę ścierną, taką jak szlifowanie, gładzenie, dogładzanie, polerowanie i inne.

Fakty te stały się podstawą do przeprowadzenia badań oceny istotności krążkowania naporowo-tocznego. Wykorzystano w nich metodę Shainina. Celem badań była ocena istotności (z punktu widzenia minimalnej wartości  $R_a$  po obróbce) parametrów krążkowania naporowo-tocznego.

## Przygotowanie eksperymentu

Eksperyment prowadzono, wykorzystując urządzenie do bezkłowego krążkowania naporowo-tocznego, opisane w pracy [1]. Proces krążkowania odbywał się na wałkach ze stali 1.503 ulepszanych cieplnie (32 HRC) i następnie toczonych. Poszukiwanie minimalnej chropowatości po obróbce zrealizowano metodą Shainina. W przeprowadzonym eksperymencie za parametry sterowalne przyjęto wcisk, prędkość obrotową i chropowatość przed obróbką. Możliwe było wykorzystanie jeszcze jednego parametru, tj. krotności odkształcania powierzchni obrabianej. Przeprowadzone badania wstępne (opisane w literaturze [2]) nie wykazały istotności tego parametru w zakresie krotności równej od 4 do 16. Do realizowanego eksperymentu przyjęto krotność równą 16.

Ostatecznie parametrami ocenianymi podczas tej operacji były: posuw, obroty wrzeciona oraz siła docisku krążka. Wartości te zostały zakodowane na potrzeby obliczeń:

- $x_1$  – wcisk –  $w$ ,  $\mu\text{m}$ ,
- $x_2$  – prędkość obrotowa –  $f$ , obr./min,
- $x_3$  – chropowatość przed obróbką –  $R_{ao}$ ,  $\mu\text{m}$ ,
- $r$  – liczba powtórzeń – 3.

Wartości tych parametrów zmieniały się na dwóch zadanych poziomach (ustalonych we wcześniejszych badaniach [3, 4]), przedstawionych w tab. 1.

Tabela 1. Plan badań w metodzie z systematyczną zmianą czynników w procesie krążkowania

Kod czynnika	Opis czynnika	Czynniki na poziomie teoretycznie niekorzystnym	Czynniki na poziomie teoretycznie korzystnym
$X_1$	wcisk – $w$ , $\mu\text{m}$	11	107
$X_2$	prędkość obrotowa – $f$ , obr./min	150	50
$X_3$	chropowatość przed obróbką – $R_{ao}$ , $\mu\text{m}$	5,7	1,5

Dla każdej operacji krążkowania wykonywanej przy różnych parametrach dobranych odpowiednio dla danej metody oceny istotności zostały wykonane po trzy pomiary chropowatości za pomocą metody stykowej. Średnia arytmetyczna uzyskanych wartości została przyjęta jako chropowatość elementu mierzonego, w tym przypadku wałka. Wartości te zostały umieszczone w środkowej części tab. 2.

### Analiza doboru parametrów procesu metodami Shainina

Analiza wyników przeprowadzonej oceny istotności parametrów procesu za pomocą metody Shainina opartej na systematycznej zmianie czynników procesu polegała na porównaniu wartości chropowatości po krążkowaniu. Metodę postępowania opisuje literatura przedmiotu, np. [5]. Plan badań z systematyczną zmianą czynników i wynikami eksperymentu przedstawia tab. 2., w której zawarto również indywidualne wnioski dla konkretnych kombinacji poziomów parametrów.

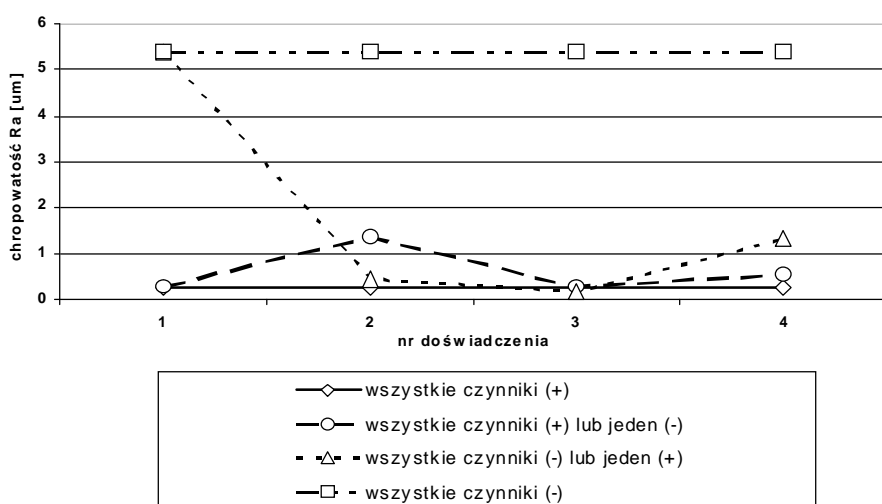
Tabela 2. Wyniki eksperymentu

Numer doświadczenia	Kombinacja czynników	Chropowość powierzchni (mierzona) $R_a, \mu m$	Chropowość powierzchni (średnia) $R_a, \mu m$	Wnioski
1	$X_1.X_2.X_{3-}$	5,34	5,373	chropowość dla czynników niekorzystnych, brak widocznej poprawy chropowatości
		5,39		
		5,39		
2	$X_{1+}.X_{2+}.X_{3+}$	0,28	0,273	chropowość dla czynników korzystnych, znacząca poprawa chropowatości
		0,29		
		0,25		
3	$X_{1+}.X_2.X_{3-}$	0,36	0,427	znacząca poprawa chropowatości
		0,37		
		0,55		
4	$X_1.X_{2+}.X_{3+}$	1,50	1,350	poprawa chropowatości
		1,25		
		1,30		
5	$X_2.X_{1+}.X_{3+}$	0,28	0,267	znacząca poprawa chropowatości
		0,25		
		0,27		
6	$X_{2+}.X_1.X_{3-}$	5,39	5,403	brak widocznej poprawy chropowatości
		5,42		
		5,40		
7	$X_{3+}.X_2.X_{1-}$	1,28	1,343	poprawa chropowatości
		1,37		
		1,14		
8	$X_3.X_{2+}.X_{1+}$	0,54	0,547	znacząca poprawa chropowatości
		0,72		
		0,38		

Z przedstawionych wyników można wyciągnąć następujące, wstępne wnioski:

- na chropowatość powierzchni najsilniej wpływają czynniki  $X_1$  i  $X_3$ ,
- wpływ na chropowatość wykazuje również czynnik  $X_2$ , jednak jego działanie jest niejednoznaczne,
- w doświadczeniu, w którym czynnik  $X_1$  znajdował się na poziomie (-), a pozostałe czynniki na (+), uzyskano chropowatość na poziomie  $0.267 \mu\text{m}$ , czyli nastąpiło znaczące polepszenie, co miało miejsce również przy konfiguracji, gdy wszystkie czynniki występowały na poziomie (+),
- najgorszą chropowatość po obróbce zaobserwowano w przypadku, gdy czynnik  $X_2$  był na poziomie (+), a pozostałe na poziomie (-),
- nie zaobserwowano pogorszenia chropowatości w żadnym z wariantów eksperymentu.

Na rys. 1. przedstawiono wizualizację wyników przeprowadzonego eksperymentu.



Rys. 1. Ilustracja wyników oceny istotności parametrów krążkowania metodą Shainina

Uogólniając, można przyjąć, że chcąc uzyskać minimalną chropowatość po krążkowaniu naporowo-tocznym, należy zastosować korzystne wartości parametrów przyjętych do eksperymentu, a dokładniej przede wszystkim wysoki poziom wcisku oraz niski poziom chropowatości powierzchni po toczeniu poprzedzającym krążkowanie.

Wnioski płynące z eksperymentu ukazują, w jakim kierunku należy ewentualnie prowadzić dalsze doświadczenia (w zmodyfikowanych zakresach), w celu zoptymalizowania parametrów procesu nagniatania naporowego-tocznego.

## Podsumowanie

Metoda Shainina jest stosunkowo mało praco- i czasochłonna. Daje ona, co prawda, wyniki mniej dokładne niż w innych metodach, ale są one poprawne i często zadowalające (ze względu na dokładność). Selektywna zmiana czynników procesu nie odrzuca wprost parametrów, lecz daje wskazówki, które parametry są mniej istotne, a które należy odrzucić, jako mające bardzo mały wpływ na efekt końcowy procesu. W analizowanym przypadku krążkowania naporowego-tocznego wałków okazało się, że metoda Shainina wykazała jako parametry istotne wcisk i chropowatość przed krążkowaniem. Jako parametr prawdopodobnie nieistotny lub niejednoznaczny w przebadanym zakresie wskazała prędkość krążkowania. Metoda Shainina nie wykazała jednak tego stanowczo, wskazując jedynie jego niewielki wpływ na poprawę chropowatości powierzchni.

## Literatura

1. Pacana A., Koszela W.: Nagniatarka do bezkłowego krążkowania wałków. Materiały VII KNT „Technologia obróbki przez nagniatanie”, Bydgoszcz 2000.
2. Pacana A., Korzyński M.: Centreless roller burnishing parameters influence on burnished shaft surface roughness. Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Mechanika 2000”, Rzeszów 2000.
3. Korzyński M., Pacana A.: Centreless roller burnishing parameters. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Mechanika '98”, Rzeszów 1998.
4. Korzyński M., Pacana A.: Możliwości bezkłowego krążkowania naporowego-tocznego zewnętrznych powierzchni walcowych. IV KNT "Technologia i organizacja produkcji wielkoseryjnej", Rzeszów-Bystre 1998.
5. Korzyński M.: Metodyka Eksperymentu. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.

## ASSESSMENT OF PARAMETER SIGNIFICANCE BY SHAINING METHOD IN ROLLER BURNISHING PROCESS

### S u m m a r y

In this work the attempt was done in order to assess production engineering parameters significance by Shaining method. This task was done on the basis of roller burnishing of shafts from steel 1.502 after preliminary turning. The following control factors were taken into consideration:

interference, rotational speed and roughness before machining ( $R_a$ ). Investigations carried out in order to minimize  $R_a$  parameter value allowed quickly to obtain directions to achieve required surface roughness after roller burnishing.

*Wpłynęło do redakcji w lipcu 2010 r.*