

# Strategia sekwencyjnej obróbki powierzchni o zmiennej krzywiznie z zastosowaniem frezów kulistych i elastycznych krążków ściernych

The strategy of sequential surface machining of the free form surface with the use the ball-end mill and elastic abrasive discs

JAROSŁAW PLICHTA  
JAN BARAN\*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.258

Prezentowano koncepcję strategii obróbki kształtującej i wygładzającej powierzchni o zmiennej krzywiznie. Celem autorów było zminimalizowanie łącznego czasu obróbki z uwzględnieniem nierówności powierzchni po frezowaniu frezem kulistym i jej wygładzaniu krążkiem ściernym z agregatami Trizact™.

**SŁOWA KLUCZOWE:** frezowanie, frez kulisty, szlifowanie, krążki ścierne, czas obróbki

*The article presents the concept of the strategy of shaping and sanding process of the free form surfaces.*

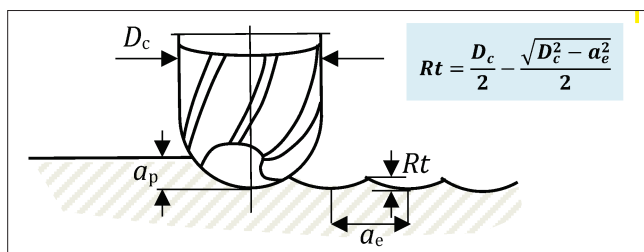
*The main aim is the minimization of the sum of machining time with the consideration of surface roughness after ball-end milling process and sanding process with abrasive discs with Trizact™ grains.*

**KEYWORDS:** milling process, the ball-end mill, grinding, abrasive discs, machining time

Obecnie obserwuje się wzrost udziału powierzchni o zmiennej krzywiznie w różnego typu konstrukcjach (formach, matrycach, tłocznikach). Projektowanie takich powierzchni nie sprawia trudności (CAD 3D), jednak ich kształtowanie metodami ubytkowymi, wymagające stosowania nowoczesnych systemów CAM, jest już bardziej skomplikowane. W wielu przypadkach powierzchnie po frezowaniu wymagają wygładzania, aby zostały spełnione określone wymagania jakościowe [2÷5].

## Frezowanie powierzchni o zmiennej krzywiznie

Frezowanie powierzchni o zmiennej krzywiznie najczęściej jest realizowane na 5-osiowych centrach obróbkowych za pomocą frezów z wierzchołkiem kulistym. Tym sposobem obróbki jest kształtowana powierzchnia o regularnej strukturze geometrycznej. Wysokość nierówności zależy głównie od średnicy frezu  $D_c$  i kroku wierszowania  $a_e$  [2÷4] (rys. 1).

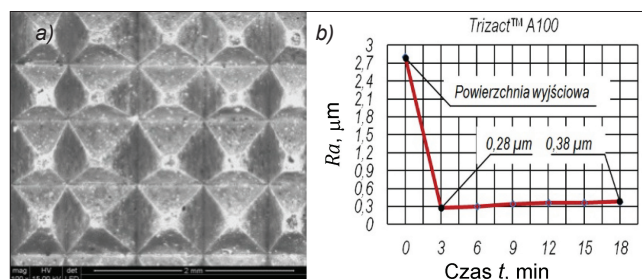


Rys. 1. Profil powierzchni po frezowaniu frezem kulistym ( $D_c$  – średnica frezu,  $a_p$  – głębokość skrawania,  $a_e$  – krok wierszowania,  $Rt$  – wysokość nierówności) [2, 6]

\* Prof. dr hab. inż. Jarosław Plichta (jaroslaw.plichta@tu.koszalin.pl), mgr inż. Jan Baran (jan.baran@tu.koszalin.pl) – Katedra Inżynierii Produkcji, Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej

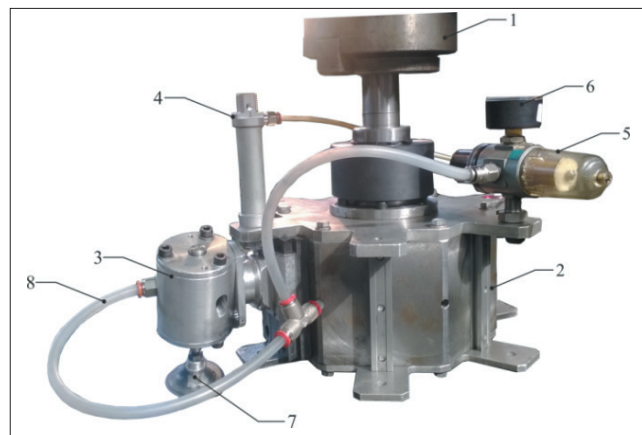
## Wygładzanie powierzchni o zmiennej krzywiznie frezowanymi frezami kulistymi

W celu wygładzenia powierzchni kształtowanych frezami kulistymi stosuje się taśmy lub krążki ścierne. Największą efektywnością obróbki oraz elastycznością technologiczną charakteryzują się krążki z replikowanymi agregatami ściernymi typu Trizact™, produkowane przez firmę 3M. Krążki te cechuje zdolność do ciągłego samoostrenia, co zapewnia powtarzalność struktury geometrycznej obrabianej powierzchni w długich okresach (rys. 2).



Rys. 2. Właściwości elastycznego krążka ściernego z agregatami Trizact™ A100: a) topografia czynnej powierzchni, b) zmiany chropowatości  $Ra$  powierzchni w funkcji czasu wygładzania [1]

Do wygładzania powierzchni o zmiennej krzywiznie za pomocą takich krążków zaprojektowano w Katedrze Inżynierii Produkcji Politechniki Koszalińskiej specjalną, wielonarzędziową głowicę szlifierską z napędem pneumatycznym szybkoobrotowych wrzecion narzędziowych i z samozaciskowym systemem mocowania krążków ściernych Roloc produkcji firmy 3M (rys. 3).



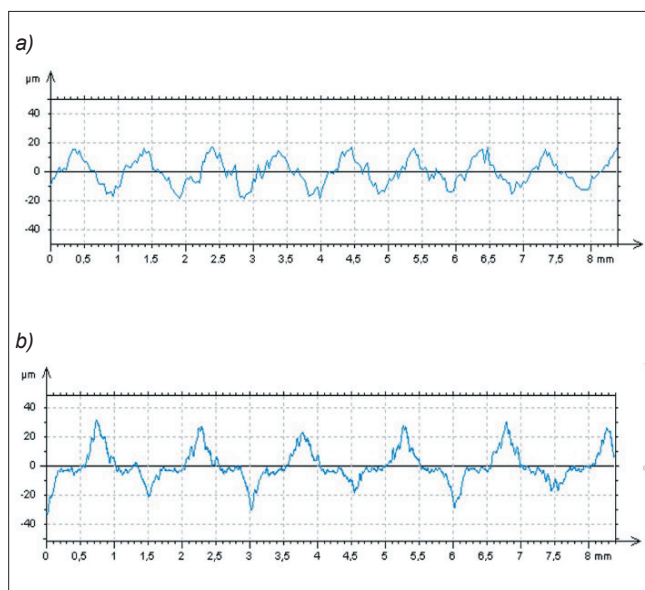
Rys. 3. Prototyp głowicy szlifiersko-polarskiej: 1 – wrzeciono frezarki, do którego zamocowana jest głowica; 2 – korpus głowicy szlifiersko-polarskiej; 3 – wrzeciono; 4 – docisk pneumatyczny; 5 – zespół filtrująco-redukcyjny G1/4; 6 – manometr; 7 – elastyczny dysk Roloc Scotch Brite z krążkiem ściernym z agregatami Trizact™

## Strategia sekwencyjnej obróbki powierzchni o zmiennej krzywiznie

Istota opracowanej strategii polega na doborze takich wariantów operacji frezowania frezem kulistym i wygładzania powierzchni krążkami ściernymi, aby zapewnić możliwie najkrótszy łączny czas obróbki:

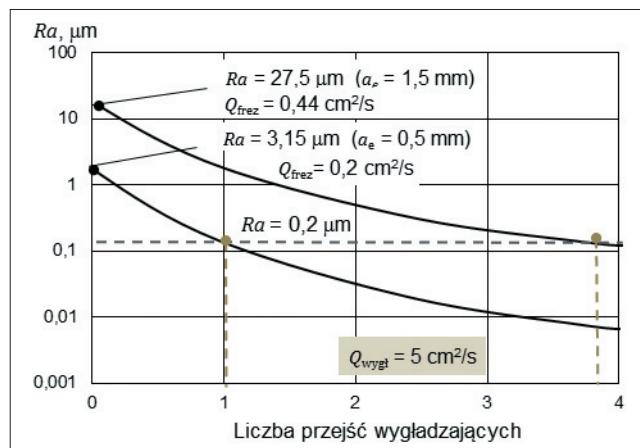
$$t(Ra_{dop}) = (t_{frez} + t_{wygl}) \rightarrow \min$$

Ponieważ w strukturze tego procesu technologicznego operacja frezowania charakteryzuje się znacznie mniejszą wydajnością powierzchniową  $Q_{frez}$  w porównaniu z wydajnością operacji wygładzania  $Q_{wygl}$ , w opracowanej strategii stawia się właśnie na skrócenie jej czasu. Jest to możliwe przede wszystkim przez zwiększenie kroku wierszowania frezu  $a_e$ . Konsekwencją tego jest jednak wzrost maksymalnych wysokości nierówności  $Rt$  frezowanej powierzchni, co z kolei wpływa na obniżenie wydajności powierzchniowej obróbki wygładzającej, gdyż wymagana jest większa liczba przejść roboczych. Aby dokonać wyboru odpowiedniej strategii obróbki sekwencyjnej, należy jednocześnie uwzględnić czasy obu tych operacji oraz oczekiwaną, docelową wartość chropowatości powierzchni obrabianej. Biorąc to pod uwagę, dalej przedstawiono możliwości wyboru wariantów obróbki sekwencyjnej dla procesu kształtowania powierzchni frezowanej frezem kulistym o średnicy  $D_c = 5$  mm ze skokiem  $a_e = 0,5$  i  $1,5$  mm oraz jej wygładzania krążkiem ściernym z agregatami Trizact™ o wielkości A100. Profile frezowanych powierzchni pokazano na rys. 4, a na rys. 5 – sposób postępowania przy minimalizacji czasu obróbki sekwencyjnej z uwzględnieniem chropowatości powierzchni po frezowaniu.



Rys. 4. Profile powierzchni po frezowaniu frezem kulistym o zmiennym skoku: a)  $a_e = 0,5$  mm; b)  $a_e = 1,5$  mm

Na podstawie tych danych można określić intensywność obniżania się chropowatości powierzchni w operacji wygładzania, a także liczbę przejść wygładzających krążkiem ściernym w celu uzyskania oczekiwanej wartości tej chropowatości. W rezultacie można opracować strategię obróbki sekwencyjnej zapewniającej najkrótszy czas obróbki kompletnej.



Rys. 5. Warianty strategii obróbki sekwencyjnej

Podstawowe warianty dla tej obróbki to:

1. Frezowanie z małym krokiem wierszowania i małą wydajnością powierzchniową  $Q_{frez}$ , zapewniającą relatywnie małe wysokości nierówności obrabianej powierzchni.
  2. Frezowanie z dużym krokiem wierszowania i dużą wydajnością powierzchniową  $Q_{frez}$ , zapewniającą relatywnie duże wysokości nierówności obrabianej powierzchni.
- Przyjmując założenie, że obrabiana powierzchnia ma  $1000 \text{ cm}^2$ , jej oczekiwana chropowatość po obróbce sekwencyjnej wynosi  $Ra = 0,2 \text{ μm}$ , a wydajność powierzchniowa wygładzania  $Q_{wygl} = 5 \text{ cm}^2/\text{s}$ , otrzymuje się odpowiednio:
1. dla małej wydajności frezowania  $Q_{frez} = 0,2 \text{ cm}^2/\text{s}$ :  
 $t_s = t_{frez} + t_{wygl} = 5000 \text{ s} + 200 \text{ s} = 87 \text{ min}$ ,
  2. dla dużej wydajności frezowania  $Q_{frez} = 0,44 \text{ cm}^2/\text{s}$ :  
 $t_s = t_{frez} + t_{wygl} = 2272 \text{ s} + 800 \text{ s} = 51 \text{ min}$ .

## Podsumowanie

Z przeprowadzonych rozważań i analiz wynika, że bardziej korzystny jest wariant obróbki sekwencyjnej charakteryzujący się zwiększoną wydajnością powierzchniową frezowania. Pomimo znacznie większej chropowatości frezowanej powierzchni w stosunku do frezowania z mniejszą wydajnością powierzchniową ( $Rt = 200 \text{ μm}/12,5 \text{ μm}$ ) duża wydajność powierzchniowa wygładzania zapewnia uzyskanie oczekiwanej wartości chropowatości powierzchni po obróbce sekwencyjnej  $Ra = 0,2 \text{ μm}$  w relatywnie krótszym czasie.

W przypadku procesów obróbki sekwencyjnej realizowanych w warunkach produkcyjnych wybór określonego wariantu strategii obróbki wymaga również uwzględnienia czasów przygotowawczo-zakończeniowych i czasów pomocniczych.

## LITERATURA

1. Baran J. „Badanie procesu wygładzania powierzchni z zastosowaniem elastycznych jednowarstwowych dysków ściernych”. Praca doktorska. Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, 2016.
2. Miko E. „Micro-irregularities of metal surfaces”. *Strojeniski Vestnik – Journal of Mechanical Engineering*. 51 (2005) 10: pp. 634-645.
3. Mikołajewski M. „Wysokowydajne narzędzia frezarskie do form wtryskowych oraz matryc”. *Kwartalnik N-T Forum Narzędziowe OBERON*. Nr 1 (2001): s. 11-12.
4. Rong-Shine L., Koren Y. “Efficient tool-path planning for machining free-form surfaces”. *Transactions of the ASME*. Vol. 118 (1998): pp. 20-28.
5. Wojciechowski S. et al. “Surface texture analysis after ball end milling with various surface inclination of hardened steel”. *Metrology and Measurement Systems*. Vol. XXI, No. 1 (2014): pp. 145-156.
6. Katalog SECO Tools – „Frezy monolityczne”.