

Dr inż. Łukasz NOWAKOWSKI;
dr hab. inż. Edward MIKO, prof. PŚk (Politechnika Świętokrzyska):

BADANIA SYMULACYJNE WPLYWU WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA POWSTAWANIE CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI FREZOWANYCH CZOŁOWO

Streszczenie

Praca przedstawia wyniki badań symulacyjnych wpływu wybranych czynników na proces generowania chropowatości powierzchni frezowanych czołowo. Badania symulacyjne przeprowadzono w oparciu o modele matematyczne wykorzystywane do prognozowania chropowatości powierzchni frezowanych czołowo. Analizowano wpływ następujących czynników na wartość parametru Ra chropowatości powierzchni: posuwu na ostrze, promienia naroża, przemieszczeń w układzie „obrabiarka – narzędzie – przedmiot obrabiany”, resztkowej części nadatku obróbkowego, bicia ostrzy frezu, liczby ostrzy skrawających.

***Słowa kluczowe:** badania symulacyjne, modele prognozowania chropowatości powierzchni, frezowanie*

SIMULATION STUDIES OF THE IMPACT OF ASSORTED FACTORS ON THE GENERATION OF ROUGHNESS OF FACE-MILLED SURFACES

Abstract

The study presents the results of simulation studies of the impact of assorted factors on the process of generation of roughness of face-milled surfaces. The simulation studies were conducted on the basis of mathematic models used for predicting roughness of face-milled surfaces. The impact of the following factors on the value of the Ra surface roughness parameter was analyzed: feed to the blade, corner radius, displacements in the „machine tool – tool – workpiece” system, residual part of the machining allowance, run-out of the milling cutter blade, number of cutting blades.

***Keywords:** simulation studies, surface roughness prediction models, milling*

BADANIA SYMULACYJNE WPLYWU WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA POWSTAWANIE CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI FREZOWANYCH CZOŁOWO

Łukasz NOWAKOWSKI¹, Edward MIKO¹

1. WSTĘP

W oparciu przeprowadzony przegląd literatury i odnalezione modele matematyczne do prognozowania chropowatości powierzchni frezowanych czołowo opracowano w programie Mathcad aplikację, która została wykorzystana do przeprowadzenia badań symulacyjnych wpływu wybranych czynników na proces generowania chropowatości powierzchni frezowanych czołowo.

Celem przeprowadzonych badań symulacyjnych było określenie na podstawie odnalezionych w literaturze modeli matematycznych, w jaki sposób wybrane parametry procesu skrawania wpływają na parametr Ra chropowatości powierzchni frezowanych czołowo. W pracy przeanalizowano wpływ: posuw na ostrze f_z , promień naroża r_ρ , odchylenie standardowe przemieszczeń w układzie obrabiarka – narzędzie – przedmiot obrabiany $D(\xi)$, reszkowa część naddatku obróbkowego h_{\min} , odchylenie standardowe bicia ostrzy frezu $D(\rho)$, liczbę ostrzy skrawających z na parametr Ra . Badania symulacyjne zostały przeprowadzone dla stali C45 frezowanej czołowo głowicą frezową o średnicy $\phi=50\text{mm}$, $z=5$ szt.

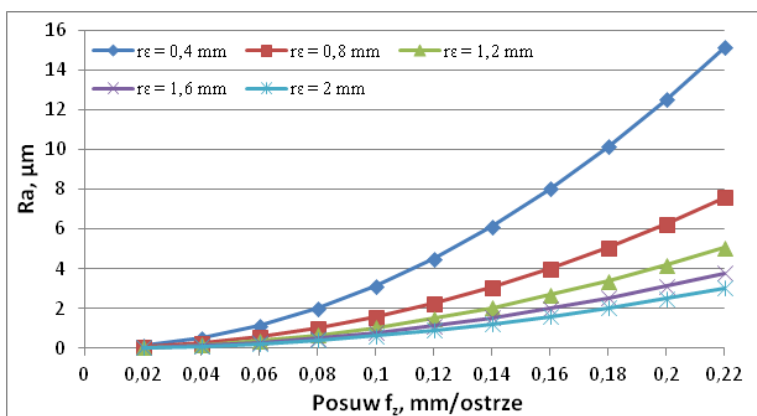
2. BADANIE WPLYWU PROMIENIA NAROŻA OSTRZA NA POWSTAWANIE CHROPOWATOŚCI

Dobór wartości promienia naroża (r_ρ) zależy od głębokości skrawania oraz posuwu i wpływa na wykończenie powierzchni, łamanie wióra i wytrzymałość płytki. Promień

¹ Politechnika Świętokrzyska, Katedra Technologii Mechanicznej i Metrologii, Aleja Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25314 Kielce

zaokrąglenia naroża jest często wykorzystywanym parametrem w modelach do prognozowania chropowatości powierzchni. Do badań symulacyjnych wytypowano pięć wielkości promienia, które najczęściej są spotykane w narzędziach do frezowania czołowego ($r_\varepsilon = 0,4; 0,8; 1,2; 1,6; 2,0$ mm). Pozostałe dane: $z=5$, wartości $D(\xi)=5 \mu\text{m}$, $D(\rho)=5 \mu\text{m}$, $h_{\min}=5 \mu\text{m}$, zostały dobrane na podstawie własnych badań.

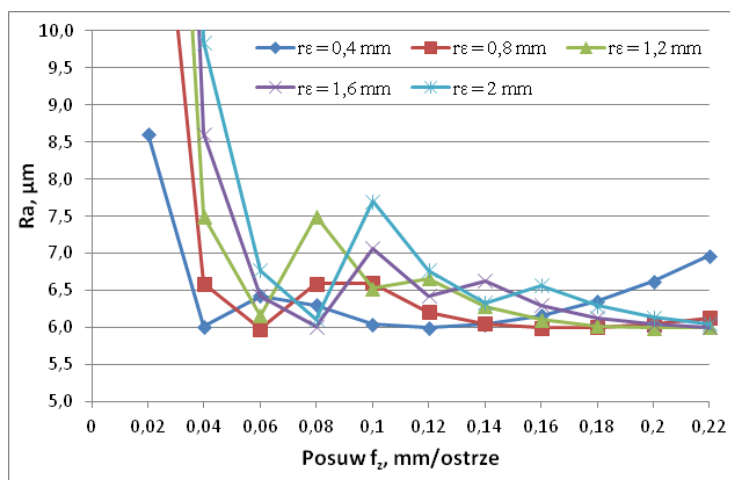
Analizując wyniki badań symulacyjnych na rys. 1 przeprowadzonych na bazie najprostszego modelu, który uwzględnia tylko, stereometryczno-kinematyczne odwzorowanie krawędzi ostrza na powierzchni obrabianej stwierdzono, że wraz ze wzrostem posuwu na ostrze otrzymujemy wzrost wartości parametru Ra chropowatości powierzchni. Wzrost promienia zaokrąglenia naroża powoduje zmniejszenie parametru chropowatości powierzchni. Największe wartości parametru Ra uzyskano dla modelu z pracy [6]. Czterokrotnie mniejsze wartości osiągnęliśmy wykorzystując dwa pozostałe modele [4], [20]. Dla małych posuwów wartość parametru Ra zbliża się do 0, co jest niezgodne z wartościami rzeczywistymi.



Rys. 1. Wpływ f_z i r_ε na chropowatość Ra powierzchni frezowanych (wyniki badań symulacyjnych w oparciu o model matematyczny [6])

Rys. 2 przedstawia wyniki badań symulacyjnych wpływu posuwu na ostrze oraz promienia naroża na chropowatość powierzchni frezowanych przeprowadzonych z wykorzystaniem modelu matematycznego opracowanego przez autora pracy [15]. Analizując wyniki przedstawione na rys. 2 widzimy jednoznaczny wpływ promienia naroża na wartość prognozowanego parametru Ra . Autor modeli przedstawionych w pracy [15] powiązał zakres stosowania poszczególnych modeli z wartością promienia zaokrąglenia naroża. Uwidacznia to wykres, na którym możemy zaobserwować jak przesuwają się poszczególne zakresy stosowania poszczególnych modeli z zależności od wartości promienia naroża. Podczas frezowania czołowego z dużymi posuwami dominującą rolę odgrywa człon zawierający posuw, który uwzględnia wpływ odwzorowania ostrza. Zauważono, że w tym przypadku wraz ze wzrostem

posuwu wpływ stereometryczno-kinematycznego odwzorowania ostrzy na wartość parametru Ra jest coraz większy. W miarę zmniejszania się posuwu wpływ odwzorowania ostrzy maleje, a znaczącą rolę zaczynają pełnić człony zawierające h_{min} oraz $D^2(\xi)$ i $D^2(\rho)$, możemy to wyraźnie zaobserwować dla małych zakresów posuwów gdzie prognozowane wartości parametru Ra mają znacznie większą wartość. Analizując wyniki można zauważyć, że odwzorowanie ostrza ma duży wpływ na powstawanie mikronierówności powierzchni. Wpływ ten jest tym większy im większą wartość posuwu stosuje się w czasie obróbki. Z kolei stosowanie bardzo małych posuwów skutkuje destabilizacją procesu skrawania i w rezultacie wzrostem parametru Ra.



Rys. 2. Wpływ f_z i r_e na chropowatość Ra powierzchni frezowanych (wyniki badań symulacyjnych w oparciu o model matematyczny [15], przy założeniu: $D(\xi) = 5 \mu\text{m}$, $D(\rho) = 5 \mu\text{m}$, $h_{min} = 5 \mu\text{m}$, $z = 5$)

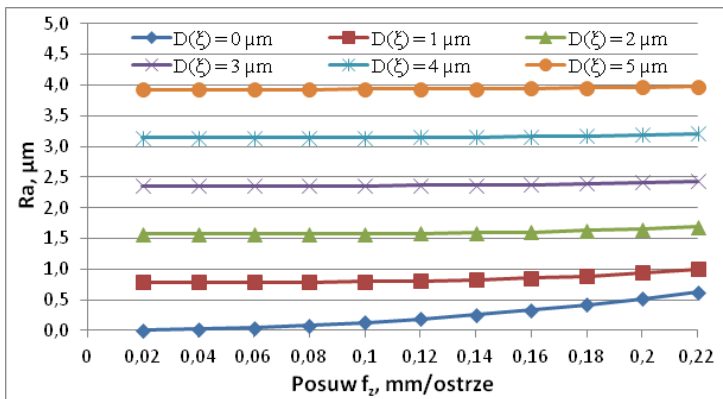
3. WPŁYW PRZEMIESZCZEŃ WZGLĘDNYCH W UKŁADZIE OBRABIARKA – NARZĘDZIE – PRZEDMIOT OBRABIANY

Przemieszczenia względne występujące w układzie narzędzie – przedmiot obrabiany ($N - PO$) są zjawiskiem niepożądanym, które towarzyszy procesowi obróbki skrawaniem [13], [14]. Wpływają one na spadek wydajności, opłacalności procesu wytwarzania i jakości produkcji, powodują również obniżenie żywotności narzędzi i podzespołów obrabiarki. Przemieszczenia w układzie $N - PO$ stanowią podstawowe utrudnienia w podnoszeniu wydajności obróbki poprzez skrawanie, oraz w istotny sposób oddziałują na strukturę geometryczną powierzchni obrobionej [2], [3], [15], [18]. W pracach [15], [19] badano i udowodniono znaczący wpływ przemieszczeń względnych układu narzędzie – przedmiot obrabiany z punktu widzenia chropowatości powierzchni obrobionej.

Zachowanie się układu obrabiarka – narzędzie – przedmiot obrabiany w rozpatrywanych modelach powstawania chropowatości powierzchni jest reprezentowane przez parametr wariancji przemieszczeń względnych $D^2(\xi)$. Małe wartości $D^2(\xi)$ odzwierciedlają dobry stan obrabiarki, narzędzia, pewne i sztywne zamocowanie przedmiotu obrabianego oraz stabilny proces skrawania. Wzrost wartości $D^2(\xi)$ sygnalizuje obniżenie stabilności układu obrabiarka – narzędzie – przedmiot obrabiany, a co za tym idzie coraz trudniejsze warunki obróbki.

Badania symulacyjne wpływu przemieszczeń względnych w układzie N – PO zostały przeprowadzone przy założeniach $D(\rho) = 0 \mu\text{m}$, $D(\xi) = 0, 1, 2, 3, 4, 5 \mu\text{m}$. Obliczenia wykonano przy ustalonej wartości promienia naroża ostrza $r_e = 0,4 \text{ mm}$, oraz przy minimalnej grubości warstwy skrawanej $h_{min} = 0 \mu\text{m}$, liczba ostrzy $z = 5$.

Analiza krzywych chropowatości przedstawionych na rys. 3 została przeprowadzona w oparciu o model opracowany w pracy [19] dla narzędzia o średnicy $d = 50 \text{ mm}$ i założeniu warunków idealnych, w których narzędzie pozbawione jest błędów wykonania i nie występuje w nim bicie ostrzy $D(\rho) = 0 \mu\text{m}$. Krzywe na wykresie wykazują, istotny wpływ na powstawanie mikronierówności powierzchni wariancji przemieszczeń względnych $D^2(\xi)$, jest on znacznie większy niż wpływ posuwu. Wraz ze wzrostem wartości wariancji przemieszczeń względnych zaobserwowano wzrost wartości parametru Ra. Wzrost wartości parametru $D^2(\xi)$ o $1 \mu\text{m}$ powodował średni wzrost parametru Ra o $0,78 \mu\text{m}$. Stopniowo wzrastające wartości parametru $D^2(\xi)$ powodują zmniejszenie oddziaływania posuwu na proces generowania mikronierówności powierzchni. Praktycznie już od poziomu $D^2(\xi) = 3 \mu\text{m}$ wpływ posuwu jest znikomy.

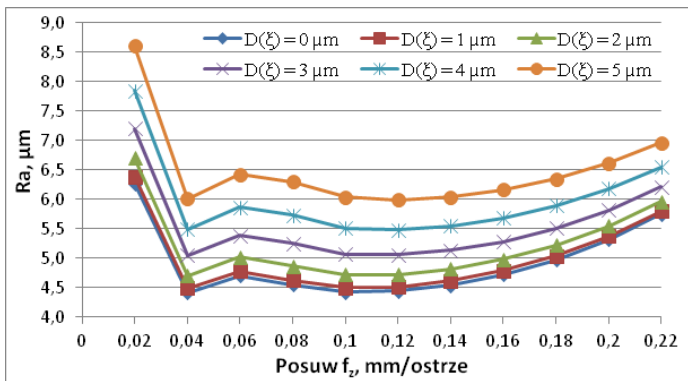


Rys. 1. Wpływ f_z oraz $D(\xi)$ na chropowatość Ra powierzchni frezowanych (wyniki badań symulacyjnych w oparciu o uproszczony model matematyczny [19], przy założeniu: $D(\rho) = 0 \mu\text{m}$, $d = 50 \text{ mm}$)

Sytuacja taka może mieć miejsce w dwóch przypadkach pierwszy gdy $\frac{f_z \cdot z}{2e} > 50$ wtedy bicie czołowe ostrzy będzie powodować falistość powierzchni i w drugim przy

zastosowaniu w głowicy frezowej płytki doglądającej, wtedy ślady obróbki powstałe w wyniku oddziaływania płytek zostaną usunięte przez płytkę doglądającą przez co bicie czołowe ostrzy nie będzie odwzorowywane na powierzchni obrobionej.

Krzywe na rys. 4 przedstawiają wpływ wariancji przemieszczeń względnych $D^2(\xi)$ na wartość parametru Ra chropowatości powierzchni. Badania symulacyjne zostały przeprowadzone z wykorzystaniem modelu konstytuowania chropowatości powierzchni frezowanej czołowo ostrzami o zaokrąglonym narożu. Model ten uwzględnia odwzorowanie ostrzy, resztkową część naddatku obróbkowego, przemieszczenia względne narzędzia i przedmiotu obrabianego, bicie czołowe oraz zużycie ostrzy. W celu zaprezentowania tylko wpływu parametru $D^2(\xi)$ przyjęto, że pozostałe parametry będą stałe $D(\rho) = 5 \mu\text{m}$ i $h_{\text{min}} = 5 \mu\text{m}$. W wyniku badań symulacyjnych zauważono, że w tym przypadku dla małych wartości posuwu na ostrze znaczącą rolę zaczynają pełnić przemieszczenia względne destabilizując proces skrawania powodując wzrost wartości parametru Ra. Natomiast wraz ze wzrostem prędkości posuwu powyżej 0,04 mm/ostrze obserwujemy znaczący spadek wpływu przemieszczeń względnych w układzie narzędzie przedmiot obrabiany na przebieg generowania mikrostruktury powierzchni [1], [16]. Dalszy wzrost prędkości posuwu powoduje wzrost wpływu odwzorowania ostrzy a maleje wpływ parametru $D^2(\xi)$.



Rys. 4. Wpływ f_z oraz $D^2(\xi)$ na chropowatość Ra powierzchni frezowanych (wyniki badań symulacyjnych w oparciu o model matematyczny [15] przy założeniu: $D(\rho) = 5 \mu\text{m}$, $h_{\text{min}} = 5 \mu\text{m}$, $z = 5$, $r_e = 0,4 \text{ mm}$)

4. WPLYW BICIA OSTRZY FREZU

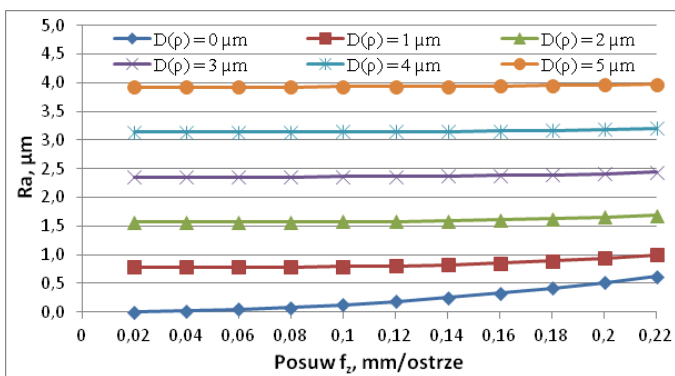
Istotny wpływ na chropowatość powierzchni frezowanych czołowo ma bicie ostrzy frezu lub głowicy frezowej [5], [7], [8].

Podczas operacji frezowania głowicą frezarską występują osiowe i promieniowe błędy bicia płytek skrawających, które są konsekwencją błędów wykonania korpusu narzędzia. Bicie osiowe wpływa na głębokość skrawania, natomiast bicie promieniowe wpływa na chropowatość powierzchni, która zależy głównie od prędkości posuwu.

Autorzy pracy [7], [8] wyszli z założenia, że nie jest możliwe idealne ustawienie płytek skrawających w głowicy frezowej, a błędy tego ustawienia będą wpływać na zmienność sił skrawania oraz na chropowatość powierzchni frezowanej czołowo.

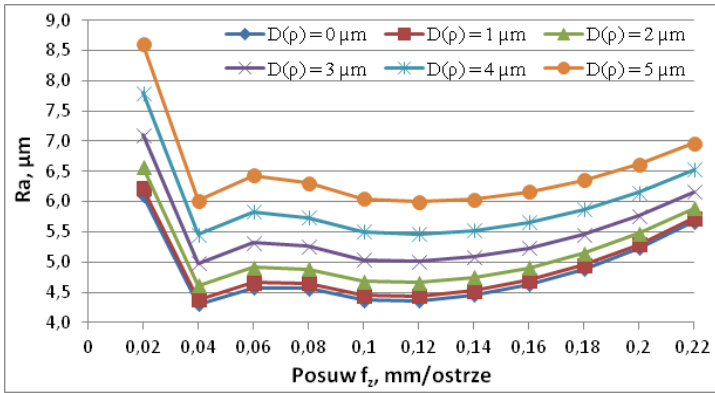
Przyczyną bicia ostrzy frezu mogą być: błędy ostrzenia, błędy wykonania gniazda w korpusie głowicy frezarskiej, błędy wykonania płytki skrawającej, błędy zamocowania, okresowo zmienna sztywność układu OUPN w czasie pracy.

Wyniki badań symulacyjnych wpływu bicia ostrzy frezu na parametr chropowatości powierzchni przedstawione na rys. 5 zostały przeprowadzone z wykorzystaniem modelu opracowanego przez autora pracy [19]. Analizując wyniki badań i zapis modelu matematycznego stwierdzono, że bicie ostrzy narzędzia oddziałuje w dokładnie takim samym stopniu jak przemieszczenia względne w układzie narzędzie – przedmiot obrabiany opisane w poprzednim podrozdziale.



Rys. 2. Wpływ f_z oraz $D(p)$ na chropowatość R_a powierzchni frezowanych (wyniki badań symulacyjnych w oparciu o uproszczony model matematyczny (18), przy założeniu: $D(\xi) = 0 \mu\text{m}$, $d = 50 \text{ mm}$)

Kolejny wykres przedstawiony na rys. 6 przedstawia analizę wpływu bicia ostrzy głowicy frezowej przeprowadzonej w oparciu o badania symulacyjne z wykorzystaniem modelu konstytuowania chropowatości powierzchni frezowanej czołowo autorstwa E. Miko [19]. Krzywe zaprezentowane na wykresie mają prawie identyczny przebieg jak krzywe przedstawione na rys. 4. Na tej podstawie można stwierdzić, że w opracowanym modelu bicie ostrzy narzędzia wpływa na chropowatość powierzchni w podobny sposób jak parametr $D^2(\xi)$ reprezentujący przemieszczenia względne w układzie narzędzie – przedmiot obrabiany.



Rys. 3. Wpływ f_z oraz $D(p)$ na chropowatość R_a powierzchni frezowanych (wyniki badań symulacyjnych w oparciu o model matematyczny [15], przy założeniu: $D(\xi) = 5 \mu\text{m}$, $h_{\min} = 5 \mu\text{m}$, $z = 5$, $r_\epsilon = 0,4 \text{ mm}$)

Po dokładnej analizie i porównaniu wyników symulacji dla parametrów $D^2(\xi)$ i $D^2(\rho)$ stwierdzono, że parametr $D^2(\rho)$ średnio o 2% ma mniejszy wpływ na parametr R_a chropowatości powierzchni.

Analizując wyniki badań symulacyjnych przeprowadzonych w oparciu o uproszczony model konstytuowania chropowatości powierzchni opracowany przez autora pracy [15] stwierdzono, że w porównaniu z pełnymi wzorami największe różnice wpływu bicia ostrzy narzędzia stwierdzono dla małych wartości prędkości posuwowych nie przekraczających granicy $f_z \geq \sqrt{r_\epsilon h_{\min}}$. Na wykresie możemy zaobserwować charakterystyczny przedział prędkości posuwowej w tym przypadku jest to prędkość równa $0,06 \text{ mm/ostrze}$ dla której wartość parametru R_a dla wszystkich krzywych przyjmuje wartość $4,5 \mu\text{m}$. Jest to konsekwencją budowy uproszczonego modelu matematycznego, który dla tego przedziału prędkości posuwowych jest pozbawiony członu uwzględniającego wariancję bicia ostrzy narzędzia. Dla prędkości posuwowych powyżej wartości $f_z \leq \sqrt{2r_\epsilon h_{\min}}$ przebieg krzywych na wykresie jest dokładnie taki sam jak dla pełnego modelu zaprezentowanego na rys. 6.

Podsumowując wyniki badań symulacyjnych wpływu błędu ustawienia ostrzy skrawających w korpusie narzędzia stwierdzono dla wszystkich analizowanych modeli istotny wpływ tego parametru na chropowatość powierzchni. Wzrost parametru bicia ostrzy narzędzia za każdym razem powodował wzrost parametru chropowatości powierzchni R_a , zaobserwowano również, że wraz ze wzrostem prędkości posuwowej oddziaływanie tego czynnika jest mniejsze.

5. WPLYW RESZTKOWEJ CZĘŚCI WARSTWY SKRAWANEJ

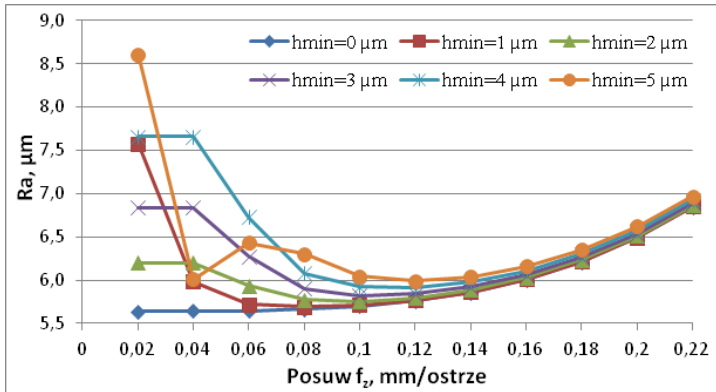
W rzeczywistych warunkach obróbki krawędź skrawająca ostrza nie jest idealnie ostra, posiada ona ubytki w postaci wykruszeń i promień zaokrąglenia r_n [12]. Rze-

czywisty kształt ostrza skrawającego odgrywa dużą rolę w obróbce wykończeniowej [9], [17]. Jego wpływ na kształtowanie mikrostruktury powierzchni jest pośredni przez oddziaływanie na czynniki fizyczne, takie jak: resztkowa część nadatku obróbkowego i związana z nią minimalna grubość warstwy skrawanej, zużycie ostrza skrawającego [10]. W miarę zużywania się ostrza zwiększa się promień krawędzi skrawającej, dodatkowo rośnie również grubość niesuniętej warstwy materiału. Można przyjąć, że małe wartości h_{min} reprezentują stan ostrza skrawającego będącego w bardzo dobrym lub dobrym stanie. W miarę zużywania się krawędzi skrawającej będzie, rosła wartość parametru h_{min} .

Niedoskonałość ostrza wpływa na zmianę sił skrawania, oraz na zmianę przemieszczeń względnych w układzie narzędzie – przedmiot obrabiany.

W rozpatrywanym modelu matematycznym powstawania chropowatości powierzchni frezowanych czołowo wszelkie niedoskonałości związane z ostrzem i jego krawędzią reprezentowane są przez czynnik zdefiniowany, jako minimalna grubość warstwy skrawanej h_{min} .

Kolejnym etapem badań symulacyjnych było dokonanie analizy wpływu minimalnej grubości warstwy skrawanej na powstawanie mikronierówności powierzchni przy frezowaniu czołowym. Symulację rozpoczęto od stanu, kiedy idealnie usunięto cały nadatek obróbkowy ($h_{min} = 0 \mu\text{m}$), aż do sytuacji gdy wielkość h_{min} osiągnęła wartość $5 \mu\text{m}$. Uzyskane wyniki obliczeń przedstawiono w formie wykresów na rys. 7.



Rys. 4. Wpływ f_z oraz h_{min} na chropowatość Ra powierzchni frezowanych (wyniki badań symulacyjnych w oparciu o model matematyczny [15], przy założeniu: $D(\xi) = 5 \mu\text{m}$, $D(\rho) = 5 \mu\text{m}$, $z = 5$, $r_c = 0,4 \text{ mm}$)

Analizując literaturę z zakresu prognozowanie chropowatości powierzchni frezowanych czołowo odnaleziono dwa modele, które uwzględniają wpływ minimalnej grubości warstwy skrawanej na parametr Ra chropowatości powierzchni. W pracy [15] przedstawione zostały dwa modele: pełny i uproszczony. Rys. 7 przedstawia wyniki badań symulacyjnych wpływu parametru h_{min} na parametr Ra przeprowadzonych w oparciu o pełen model opracowany przez E. Miko. Analizując wyniki badań stwier-

dzono niekorzystny wpływ minimalnej grubości warstwy skrawanej na chropowatość powierzchni. Wraz ze wzrostem h_{min} rosła wartość parametru Ra. Z przeprowadzonych badań symulacyjnych wpływu minimalnej grubości warstwy skrawanej h_{min} na chropowatość powierzchni Ra frezowanych czołowo stwierdzono, że parametr h_{min} ma znaczący wpływ na chropowatość powierzchni w zakresie małych posuwów. Dla posuwów powyżej 0,12 mm/ostrze wpływ jest już bardzo mały, praktycznie zanikając wraz ze wzrostem wartości posuwu.

6. WPLYW POSUWU NA OSTRZE

Większość prostych modeli matematycznych do prognozowania chropowatości powierzchni frezowanych zakłada, że posuw wpływa na chropowatość powierzchni frezowanych poprzez stereometryczno-kinematyczne odwzorowanie krawędzi ostrzy. Analizując wyniki badań symulacyjnych stwierdzono niekorzystny wpływ posuwu na chropowatość powierzchni, wzrost posuwu powodował wzrost chropowatości powierzchni.

Bardziej rozbudowane modele zakładają dwa aspekty oddziaływania posuwu na przebieg procesu generowania chropowatości powierzchni: bezpośredni i pośredni. Bezpośrednie oddziaływanie posuwu powiązane z jego wpływem poprzez stereometryczno-kinematyczne odwzorowanie krawędzi ostrzy a pośrednie przez oddziaływanie na czynniki fizyczne, które towarzyszą procesowi skrawania [11]. Analizując wyniki badań symulacyjnych przeprowadzonych na modelach opracowanych przez E. Miko stwierdzono, że bezpośredni wpływ jest dominujący dla większych wartości posuwu, który jest charakterystyczny dla obróbki zgrubnej. W miarę zmniejszania się posuwu coraz większy wpływ na chropowatość powierzchni wywierają czynniki fizyczne, które zniekształcają profil powstały w wyniku odwzorowania krawędzi ostrza.

7. WNIOSKI

1. Na chropowatość powierzchni frezowanych czołowo wpływają następujące czynniki: stereometryczno-kinematyczne odwzorowanie krawędzi ostrzy, reszkowa część naddatku obróbkowego, przemieszczenia względne narzędzia i przedmiotu obrabianego, bicie czołowe ostrzy narzędzia oraz ich zużycie.
2. Wzrost promienia zaokrąglenia naróża powoduje teoretycznie zmniejszenie parametru chropowatości powierzchni.
3. Przeprowadzone badania symulacyjne wykazały istotny wpływ na powstawanie mikronierówności powierzchni parametru $D^2(\xi)$, jest on znacznie większy niż wpływ posuwu. Wraz ze wzrostem wartości wariancji przemieszczeń względnych odnotowano wzrost wartości parametru Ra. Największy zakres ich oddziaływania ma miejsce dla małych wartości prędkości posuwowej. Wraz ze wzrostem wartości posuwu wpływ oddziaływania przemieszczeń względnych na proces konstytuowania chropowatości powierzchni stopniowo maleje.

4. Analizując wyniki badań stwierdzono niekorzystny wpływ minimalnej grubości warstwy skrawanej na chropowatość powierzchni. Wraz ze wzrostem h_{min} rosła wartość parametru Ra. Z przeprowadzonych badań symulacyjnych wpływu minimalnej grubości warstwy skrawanej h_{min} na chropowatość powierzchni Ra frezowanych czołowo wynika, że parametr h_{min} ma znaczący wpływ na chropowatość powierzchni w zakresie małych posuwów.
5. Wzrost prędkości posuwowej ma niekorzystny wpływ na chropowatość powierzchni, powodował on wzrost parametru Ra. Posuw oddziałuje na strukturę geometryczną na dwa sposoby: bezpośredni poprzez stereometryczno-kinematyczne odwzorowanie krawędzi ostrzy i pośredni przez oddziaływanie na czynniki fizyczne, które towarzyszą procesowi skrawania.

LITERATURA

- [1] Adamczak S.: Pomiary Geometryczne Powierzchni. Zarysy Kształtu, Faliistość i Chropowatość . WNT 2009.
- [2] Altinas Y., Engin S.: Generalized modeling of mechanics and Dynamics of milling cutters. Annals of the CIRP, vol. 50/1 2001, s. 25-30.
- [3] Benardos P. G., Vosniakos G. C.: Predicting surface roughness in machining: a review. International Journal of Machine Tools & Manufacture 43 2003, s. 833–844.
- [4] Boothroyd G., Knight WA.: Fundamentals of machining and machine tools. Marcel Dekker. New York 2006.
- [5] Cieloszyk J.: Badanie wpływu wybranych czynników geometrycznych i kinematycznych na stan obrobionej powierzchni w procesie frezowania czołowego. Rozprawa doktorska. Szczecin 1992.
- [6] Cieloszyk J., Olszak W., Skrodzewicz E., Sobkowiak E.: Stan geometryczny powierzchni frezowanej czołowo z dużymi posuwami. Materiały Konferencji I Forum Prac Badawczych „Kształtowanie części maszyn przez usuwanie materiału”. Koszalin 1994, s. 46-55.
- [7] Dae K. B., Tae J. K., Hee S. K.: Optimization of feedrate in a face milling operation using a surface roughness model. IJ of MT&M 41 2001, s. 451–462.
- [8] Dae K.B., Tae J.K., Hee S.K.: A dynamic surface roughness model for face milling. Precision Engineering, Vol. 20, No. 3. New York 1997, s. 171-178.
- [9] Davim J. P.: Machining. Fundamentals and recent advances. Springer. London 2008.
- [10] Degner W., Hommel B., Stroth R.: Einfluß minimaler Schnittiefen und Vorschübe auf Qualität und Standzeit beim Feindrehen. F. und B., Vol. 31, nr 3 1981, s. 135-138.
- [11] Dmochowski J.: Podstawy obróbki skrawaniem. PWN. Warszawa 1983.
- [12] Grzesik W.: Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych. WNT. Warszawa 2010.
- [13] Heisel U.: Vibrations and surface generation in slab milling. CIRP] 43 1994, s.337–340.
- [14] Jang D.Y. Choi Y.G, Kim H.G., Hsiao A.: Study of correlation between surface roughness and cutting vibrations to develop an on-line roughness measuring technique in hard turning. International Journal of Machine Tools and Manufacture 36 1996.
- [15] Miko E.: Konstytuowanie mikronierówności powierzchni metalowych obrobionych narzędziem o zdefiniowanej stereometrii ostrzy. Mon. Stud. Roz. 46. Kielce 2004.
- [16] Miko E., Nowakowski Ł.: Using computer simulations to assess the influence of selected factors on the roughness of surfaces face milled with the Coromill 390. CEEPUS PL-0007 Modern Metrology in Quality Management Systems, General Editors: S. Adamczak, P. Herbert Osanna. Kielce 2008, s. 165-172.

- [17] Oczóś, K.: Obróbka ultraprecyzyjna. Mechanik nr 8-9 1991, s. 273-280.
- [18] Radziszewski L.: Intrusive effect of a contact transducer on testing results, Metrology and Measurement Systems Vol. XI, Nr 1/2004 s.31 – 43 Warszawa 2004
- [19] Stępiński L.: Wpływ przemieszczeń względnych w układzie: narzędzie przedmiot obrabiany, na chropowatość powierzchni frezowanej walcowo. AGH. Kraków 1982.
- [20] Whitehouse D.J.: Handbook of Surf. Metrol. Institute of Physics Publishing. Bristol 1994.