

Andrzej MATRAS¹

ANALIZA WPLYWU WARTOŚCI KĄTA NATARCIA I POSUWU NA CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI OBROBIONEJ ORAZ WARTOŚCI SKŁADOWYCH CAŁKOWITEJ SIŁY SKRAWANIA

W pracy podjęto próbę częściowego określenia wpływ wartości kąta natarcia oraz prędkości posuwu na wartości składowych całkowitej siły skrawania oraz chropowatość powierzchni obrobionych. Podczas realizacji badań obrabiano stal EN 16MnCr5 narzędziami o ostrzach niepowlekanych, wykonanych z węglików spiekanych. W pracy opisano zestawione stanowiska pomiarowe do pomiaru składowych całkowitej siły skrawania oraz chropowatości powierzchni, a także omówiono otrzymane wyniki badań doświadczalnych.

1. WPROWADZENIE

Podczas skrawania materiałów stosuje się geometrię narzędzi wykorzystującą zasadę działania klina. Powierzchnia tego klina, po której spływa tworzony w wyniku procesu skrawania wiór, nazywana jest powierzchnią natarcia. Natomiast kąt zawarty pomiędzy powierzchnią natarcia a płaszczyzną prostopadłą do kierunku ruchu narzędzia v_c nazywamy kątem natarcia γ . Kąt natarcia w zależności od warunków skrawania, właściwości warstwy wierzchniej i wymagań co do jakości struktury geometrycznej powierzchni może przyjmować wartości: dodatnie, ujemne, bądź zerowe. Zalecany zakres kąta natarcia wynosi $-20^\circ \leq \gamma \leq +15^\circ$. Wartość kąta natarcia ma duży wpływ na wartości składowych całkowitej siły skrawania, opór skrawania, wartości i rozkład odkształceń plastycznych i sprężystych, temperaturę w strefie skrawania oraz postać i formowanie się wiórów [1],[2],[3].

Zwiększenie kąta natarcia w kierunku dodatnim powoduje poprawę ostrości krawędzi skrawającej, co powoduje zmniejszenie wartości składowych całkowitej siły i oporów skrawania oraz obniżenie trwałości ostrza. Kąt natarcia należy zwiększyć w kierunku ujemnym dla materiałów twardych lub gdy wymagana jest podwyższona wytrzymałość krawędzi skrawającej, np. przy obróbce przerywanej lub skórowaniu surowych powierzchni [1]. Zwiększenie kąta natarcia w kierunku dodatnim stosuje się dla materiałów łatwo obrabialnych oraz przy małej sztywności układu OUPN. Zwiększanie kąta natarcia do pewnej granicy powoduje obniżenie temperatury skrawania, gdyż zmniejsza się praca

¹ Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki, Wydział Mechaniczny, E-mail: amatrass@mech.pk.edu.pl

odkształcania wióra [1],[4].

Obecnie, na całym świecie prowadzone są eksperymenty mające na celu dobór parametrów skrawania oraz geometrii ostrza skrawającego, tak aby możliwe było zmniejszenie kosztów produkcji bez obniżania jakości produktu [5],[12]. Podczas skrawania, w wyniku powstających nacisków ostrza na przedmiot obrabiany, powstają w warstwie wierzchniej zmiany kształtu i położenia kryształów powodujące zmiany strukturalne, których efektem jest zgniot. Ponadto siły, powstające na skutek oddziaływania ostrza narzędzia na przedmiot obrabiany, powodują odkształcenia w układzie OUPN, mające wpływ na dokładność wymiarowo-kształtową produkowanych części [1].

Analizując dostępne pozycje literaturowe można stwierdzić, że wielu badaczy prowadzi eksperymenty mające na celu optymalizację parametrów skrawania i dobór odpowiedniej geometrii ostrza.

Autorzy [13] w swojej pracy przedstawiają algorytm doboru parametrów skrawania oraz geometrii ostrza narzędzia w zależności od postaci wióra. Podczas realizacji badań doświadczalnych obrabiają stal 0H13 oraz 3H13 narzędziem z węglików spiekanych przy różnych prędkościach posuwu. Autorzy w swojej pracy stwierdzają, że należy prowadzić badania eksperymentalne mające na celu określenie parametrów skrawania dla lokalnych warunków obróbki.

Natomiast autorzy [14] w swojej pracy przedstawiają wyniki badań porównujących wartości obliczone i zmierzone składowych całkowitej siły skrawania oraz temperatury w strefie obróbki. Do celów realizowanych badań prowadzą obróbkę stali AISI 1040 o twardości 40HRC narzędziem z węglików spiekanych. Obróbka realizowana jest z różnymi prędkościami posuwu oraz dla różnych geometrii ostrza narzędzia. W wyniku prowadzonych badań autorzy stwierdzają, że prędkość posuwu oraz wartość kąta natarcia ma znaczny wpływ na wartości składowych całkowitej siły skrawania oraz temperaturę w strefie obróbki. Zwiększenie prędkości posuwu oraz kąta natarcia w kierunku ujemnym powoduje zwiększenie wartości składowych całkowitej siły skrawania. Jako optymalną wartość kąta natarcia autor przyjął $\gamma=12^\circ$.

Podobnie autorzy [15] w swojej pracy przedstawiają wyniki badań porównawczych zmierzonych i obliczonych wartości składowej głównej siły skrawania, w zależności od wartości kąta natarcia. Podczas eksperymentu obrabiają stal AISI 1040 narzędziami z węglików spiekanych. Stwierdzają, że wartość kąta natarcia jest jednym z najważniejszych czynników wpływających na strefę kontaktu wióra z narzędziem skrawającym. Zauważają, że istnieje pewna optymalna wartość kąta natarcia, przekroczenie której negatywnie wpływa na wydajność procesu obróbki, z powodu przyspieszonego zużycia narzędzia. Na podstawie swoich badań stwierdzają, że zwiększanie wartości kąta natarcia w kierunku ujemnym powoduje wzrost wartości składowej głównej siły skrawania. Autorzy otrzymują dobre dopasowanie obliczonych i zmierzonych wartości analizowanych parametrów.

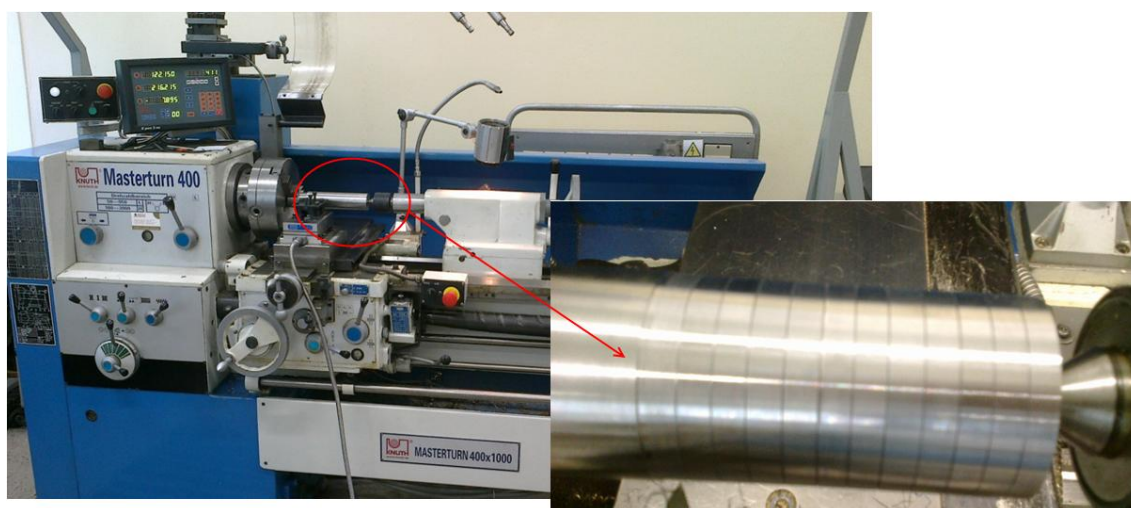
W pracy [16] opisane zostały badania doświadczalne mające na celu określenie wpływu prędkości skrawania i posuwu, głębokości skrawania, dodatniej i ujemnej wartości kąta natarcia oraz promienia zaokrąglenia ostrza skrawającego na chropowatość otrzymanych powierzchni. W badaniach obrabiano stal o niskiej zawartości węgla narzędziami z węglików spiekanych powlekanych powłoką TiAlN. Na podstawie wyników

badan stwierdzono, że na chropowatość powierzchni, oprócz prędkości skrawania i promienia zaokrąglenia naroża ostrza skrawającego mają duży wpływ prędkość posuwu i wartość kąta natarcia. Autorzy pracy zauważają, że należałoby przeprowadzić dalsze badania mające na celu dokładniejsze określenie wpływu kąta natarcia na chropowatość powierzchni obrobionej.

Także autorzy [17] w swojej pracy opisują badania mające na celu dobór optymalnej geometrii ostrza skrawającego. Obrabiają oni stal AISI 1040 narzędziami o różnych promieniach zaokrąglenia ostrza skrawającego oraz kątach natarcia i przystawienia. Na podstawie badań wykazują, że zwiększanie wartości kąta natarcia w kierunku dodatnim powoduje obniżenie chropowatości otrzymanych powierzchni. Stwierdzają też, że spośród analizowanych czynników największy wpływ na chropowatość powierzchni ma promień zaokrąglenia naroża ostrza (51,45%), a następnie wartość kąta przystawienia (18,24%) i natarcia (17,74%).

2. METODYKA BADAWCZA

Próby toczenia narzędziami o różnych kątach natarcia zostały przeprowadzone na tokarce MASTERTURN 400x1000 firmy KNUTH (rys. 1). Proces toczenia został przeprowadzony dla wałka o średnicy 51,5mm wykonanego ze stali EN 16MnCr5 o twardości 30HRC. Wykonano 12 prób toczenia na odcinkach o długości 8mm. Do badań użyto czterech noży tokarskich, bez łamacza wiórów, o ostrzach wykonanych z niepoplekanych węglików spiekanych i różnych kątach natarcia. Noże tokarskie dobrano tak, aby przeprowadzić badania dla szerokiego zakresu zmienności kąta natarcia, a ich geometrię przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 1. Tokarka MASTERTURN 400x1000 wraz z zamocowanym przedmiotem obrabianym
Fig. 1. The MASTERTURN 400x1000 lathe with fixed workpiece

Tabela 1. Geometria stosowanych narzędzi
Table 1. The geometry of used tools

LP	kąt natarcia γ [°]	główny kąt przystawienia χ_r [°]	pomocniczy kąt przystawienia χ_r' [°]	kąt przyłożenia α [°]	promień zaokrąglenia naroża ostrza r_ϵ [mm]
1	12	70	20	8	0,4
2	6	70	20	8	0,4
3	0	70	20	8	0,4
4	-6	70	20	8	0,4

Wszystkie próby wykonano przy stałej prędkości obrotowej wrzeciona $n=650$ obr/min, prędkość skrawania wynosiła $v_c=105$ m/min, głębokość skrawania wynosiła $a_p=0,5$ mm. Zakres zmienności parametrów przyjętych w badaniach (f , γ) zestawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. Zakres zmienności parametrów skrawania przyjęty w badaniach
Table 2. The range of cutting parameters variation used in research

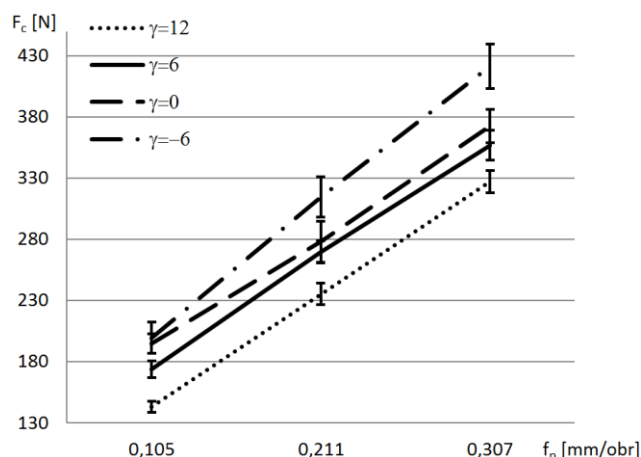
LP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
f [mm/obr]	0,105	0,211	0,307	0,105	0,211	0,307	0,105	0,211	0,307	0,105	0,211	0,307
γ [°]	12	12	12	6	6	6	0	0	0	-6	-6	-6

3. POMIARY I ANALIZA WYNIKÓW WARTOŚCI SKŁADOWYCH CAŁKOWITEJ SIŁY SKRAWANIA

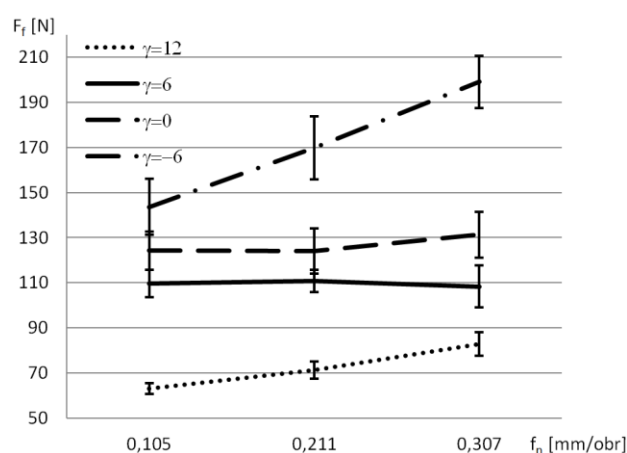
W celu wykonania pomiarów składowych całkowitej siły skrawania zestawiono na bazie tokarki stanowisko, w którego skład wchodziły:

- tokarka MASTERTURN 400x1000,
- siłomierz piezoelektryczny – KISTLER 9257B,
- wzmacniacz ładunku – KISTLER 5019A,
- karta analogowo-cyfrowa,
- komputer PC,
- oprogramowanie DynoWare użyte do analizy wyników badań,

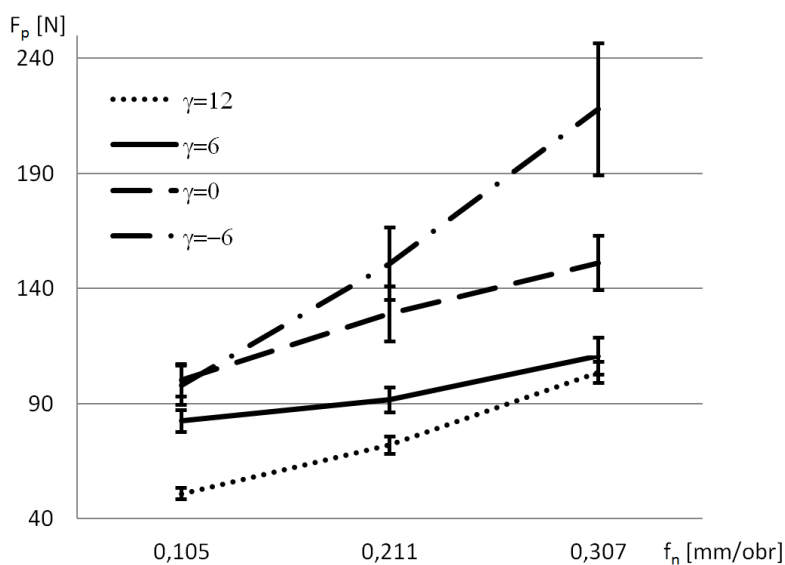
Na podstawie wyników prowadzonych pomiarów i analiz wyznaczono wartości minimalne, maksymalne i średnie składowych całkowitej siły skrawania. Otrzymane wyniki przedstawiono, w zależności od prędkości posuwu i wartości kąta natarcia na rys. 2-4.



Rys. 2. Wpływ prędkości posuwu oraz wartości kąta natarcia na wartości składowej głównej F_c
 Fig. 2. Effect of feed rate and value of rake angle for the main cutting force F_c



Rys. 3. Wpływ prędkości posuwu oraz wartości kąta natarcia na wartości składowej posuwowej F_t
 Fig. 3. Effect of feed rate and value of rake angle for the feed cutting force F_t



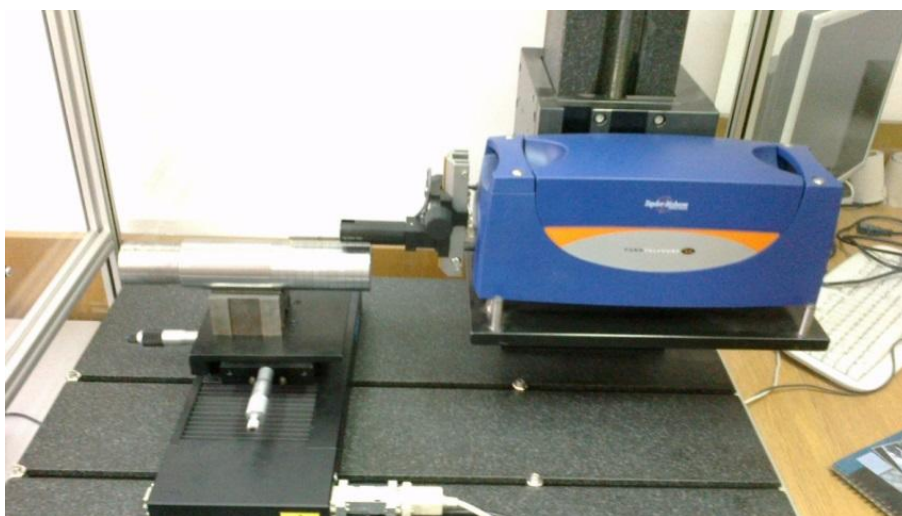
Rys. 4. Wpływ prędkości posuwu oraz wartości kąta natarcia na wartości składowej odporowej F_p
 Fig. 4. Effect of feed rate and value of rake angle for the back cutting force F_p

Na powyższych wykresach zaobserwować można trend wzrostowy wartości składowych całkowitej siły skrawania, widoczny przy zwiększaniu prędkości posuwu i wartości kąta natarcia w kierunku ujemnym. Największy wpływ posuwu zaobserwowano dla składowej głównej całkowitej siły skrawania. Zwiększenie prędkości posuwu w zakresie $f=0,105\div0,307$ mm/obr powoduje wzrost jej średniej wartości o 222N dla kąta natarcia $\gamma=-6^\circ$ oraz o około 180N dla pozostałych analizowanych wartości kątów natarcia. Analogicznie dla składowej odporowej zaobserwowano wzrost o 28N dla $\gamma=6^\circ$ oraz 120N dla $\gamma=-6^\circ$. Natomiast dla składowej posuwowej, wzrost wynosił 55N dla $\gamma=-6^\circ$ oraz 20N dla $\gamma=12^\circ$,

a dla pozostałych przypadków mieścił się w granicach błędów pomiarowych. Zmiana wartości kąta natarcia, w zakresie $\gamma = -6 \div 12^\circ$ dla prędkości posuwu $f = 0,307 \text{ mm/obr}$, powoduje zmniejszenie średnich wartości składowych o 94N dla F_c , 114N dla F_p oraz 116N dla F_f . Zaobserwowane zjawisko jest następstwem zwiększania się ostrości krawędzi skrawającej w wyniku wzrostu wartości kąta natarcia w kierunku dodatnim.

4. POMIARY CHROPOWATOŚCI OTRZYMANYCH POWIERZCHNI

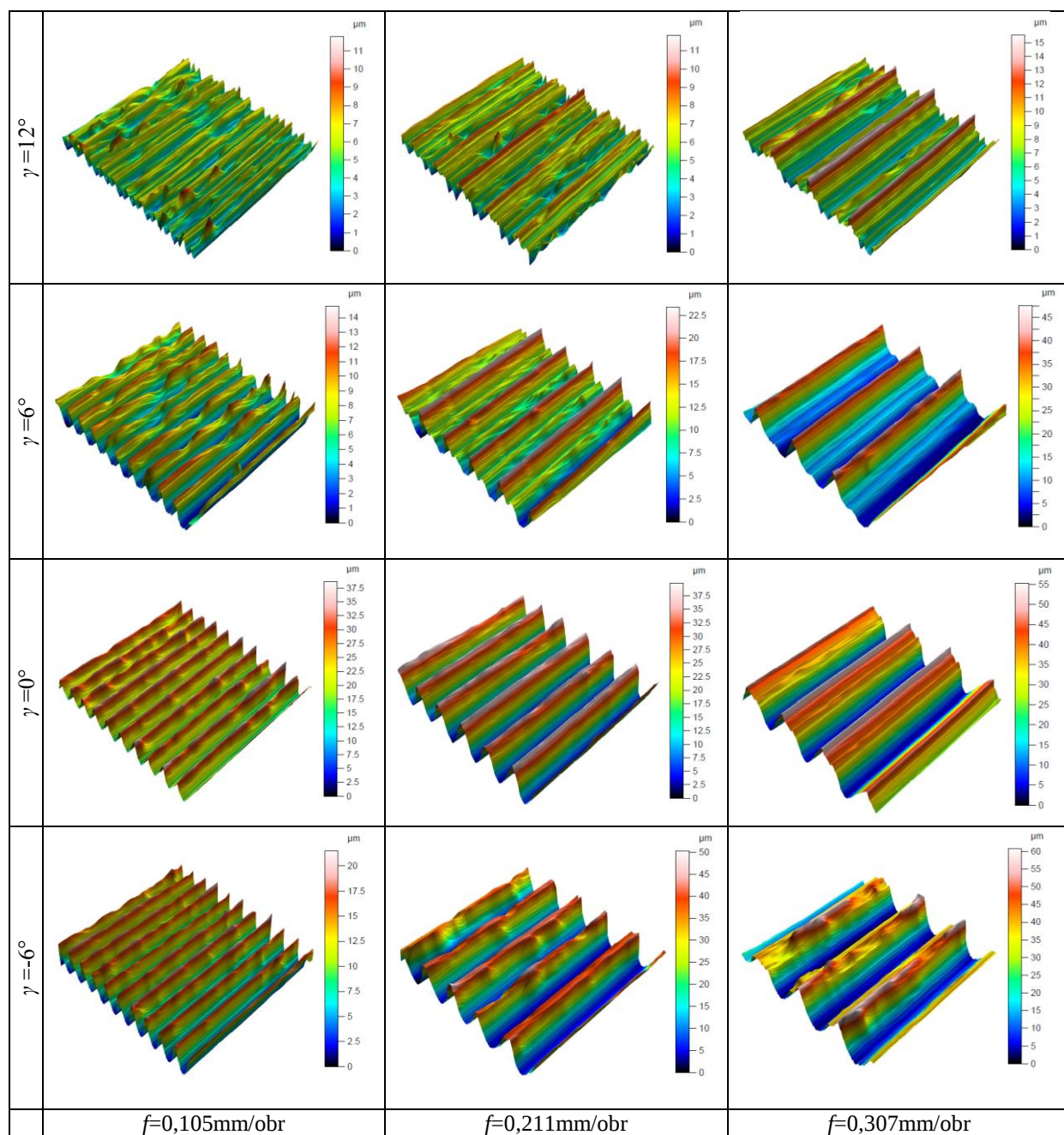
Do wykonania pomiarów chropowatości powierzchni użyto profilografometru Form Talysurf Intra 50 wraz z głowicą i końcówką do pomiaru chropowatości (rys. 5), stolikiem skaningowym oraz oprogramowaniem Talymap Silver i Ultra. Prędkość przesuwu końcówki pomiarowej wynosiła $v_{os} = 1 \text{ mm/s}$. Pomiar chropowatości powierzchni w układzie 2D prowadzone były dla: długości odcinka elementarnego $l_e = 0,8 \text{ mm}$, liczby odcinków 5, długości odcinka pomiarowego $l_n = 4 \text{ mm}$ i kroku próbkowania $\Delta x = 1 \mu\text{m}$. Pomiar chropowatości powierzchni w układzie 3D wykonano dla pola $1 \times 1 \text{ mm}$, stosując krok próbkowania $\Delta x = 1 \mu\text{m}$, $\Delta y = 33 \mu\text{m}$. Zarówno dla pomiarów w układzie 2D i 3D zastosowano filtr Gaussa o granicznych długościach fali $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$, $\lambda_s = 2,5 \mu\text{m}$.



Rys. 5. Profilografometr Form Talysurf Intra 50
Fig. 5. Form Talysurf Intra 50 profilometer

Zastosowane prędkości pomiarowe oraz liczba przejść podczas pomiarów w układzie 3D pozwoliły na minimalizację kosztów i czasu trwania pomiaru przy jednoczesnym zadowalającym odwzorowaniu struktury geometrycznej analizowanych powierzchni.

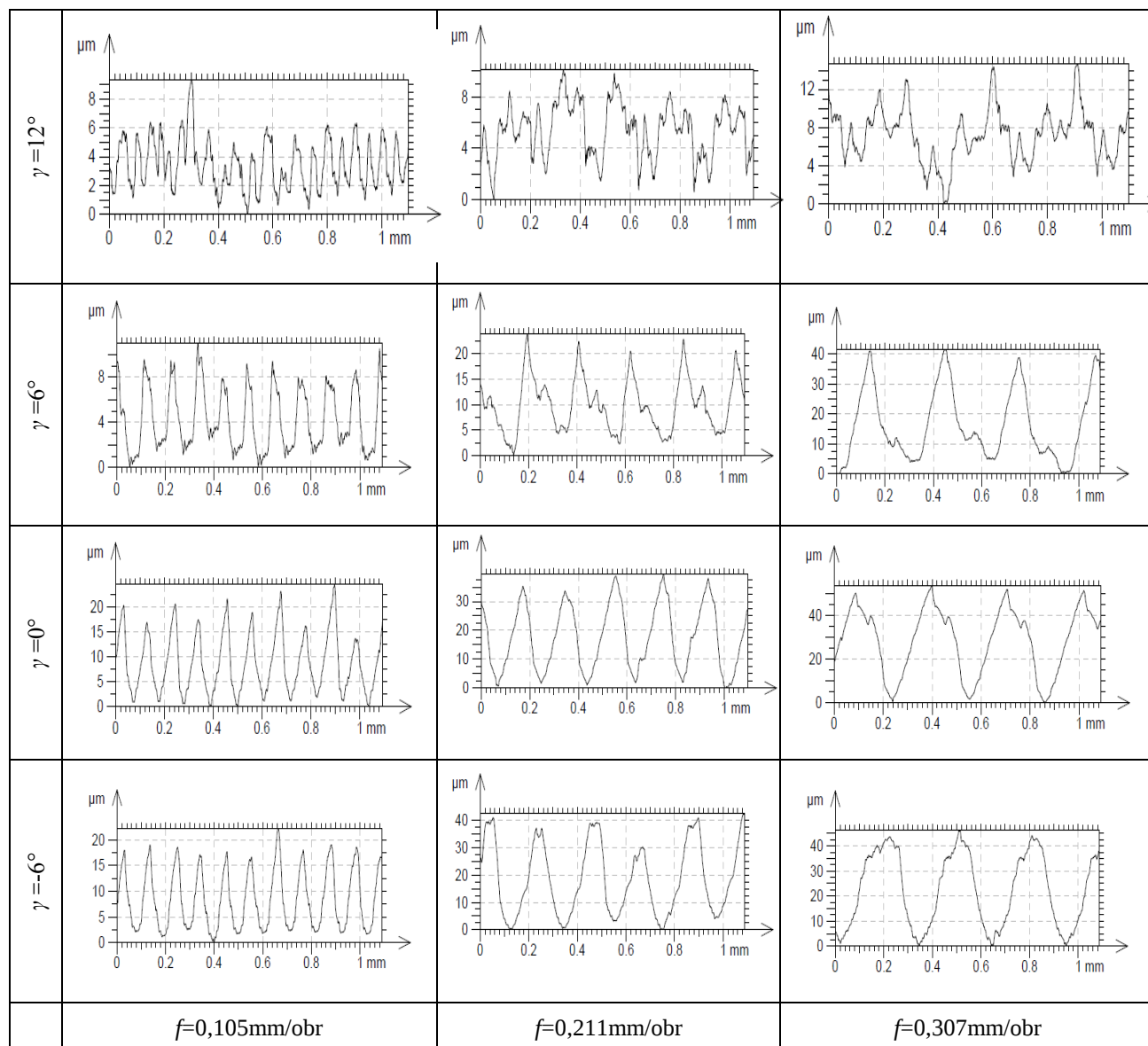
W wyniku przeprowadzenia pomiarów i analiz otrzymano widoki izometryczne chropowatości wykonanych powierzchni. Widoki te zestawiono na rysunku 6 uszeregowane według wartości kąta natarcia narzędzia i prędkością posuwu podczas obróbki.



Rys. 6. Widoki izometryczne chropowatości powierzchni obrabianych w zależności od wartości posuwu i kąta natarcia

Fig. 6. Isometric views of machined surface roughness depending on the feed rate and the tool rake angle

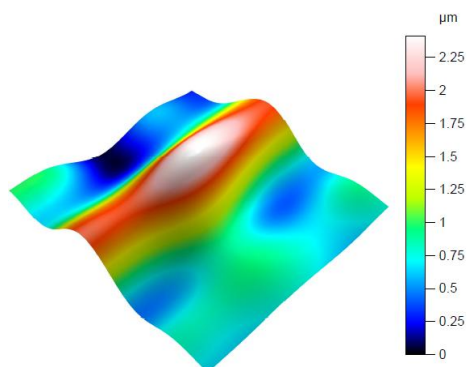
Na rysunku 7 zestawiono profile chropowatości powierzchni w zależności od wartością kąta natarcia narzędzia i prędkością posuwu. Analizując otrzymane widoki izometryczne i profile chropowatości wykonanych powierzchni stwierdzić można wpływ analizowanych parametrów (f , γ) na kształt i wysokość nierówności powstałych w wyniku procesu obróbki. Wraz ze wzrostem posuwu widoczne jest zwiększenie wysokości nierówności oraz szerokości rowków elementów profilu.



Rys. 7. Profile chropowatości powierzchni obrabianych w zależności od wartości posuwu oraz kąta natarcia
 Fig. 7. Profiles of machined surface roughness depending on the feed rate and the tool rake angle

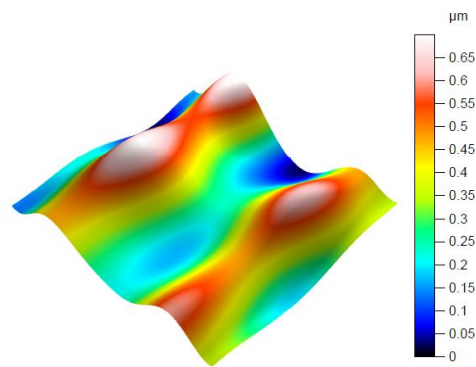
Zwiększanie wartości posuwu w zakresie $f=0,105\div 0,307\text{mm/obr}$ powoduje wzrost wartości parametru R_z o około $5\mu\text{m}$ dla kąta natarcia $\gamma=12^\circ$ oraz o około $30\mu\text{m}$ dla pozostałych analizowanych wartości kątów natarcia. Analizując wpływ wartości kąta natarcia zauważyć można, że zwiększanie jego wartości w kierunku dodatnim powoduje zmniejszenie wysokości nierówności powstałych w wyniku odwzorowania ostrza narzędzia skrawającego. Zmiana wartości kąta natarcia w zakresie $\gamma=-6\div 12^\circ$ powoduje zmniejszenie wartości parametru R_z o $35\mu\text{m}$ dla prędkości posuwu $f=0,307\text{mm/obr}$ oraz o około $9\mu\text{m}$ dla pozostałych analizowanych prędkości posuwu. Zjawisko to jest efektem poprawy stabilności obróbki będącej następstwem zwiększenia się ostrości krawędzi skrawającej ostrza, spowodowanej zwiększaniem się wartości kąta natarcia w kierunku dodatnim.

Na rysunku 8 zestawiono wybrane widoki izometryczne falistości powierzchni zmierzone dla powierzchni wykonanych narzędziami z różnymi kątami natarcia oraz przy stałej prędkości posuwu $f=0,211\text{mm/obr}$.



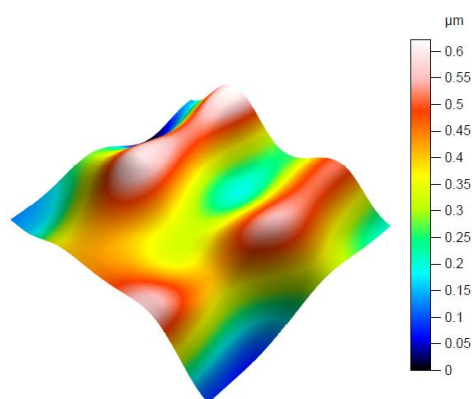
Rys. 8a. Widok izometryczny falistości powierzchni wykonanej z użyciem narzędzia o kącie natarcia $\gamma = -6^\circ$ oraz przy prędkości posuwu $f=0,211\text{mm/obr}$

Fig. 8a. Isometric view of waviness machined surface made using a tool with tool rake angle $\gamma = -6^\circ$ and feed rate $f = 0.211\text{mm/obr}$



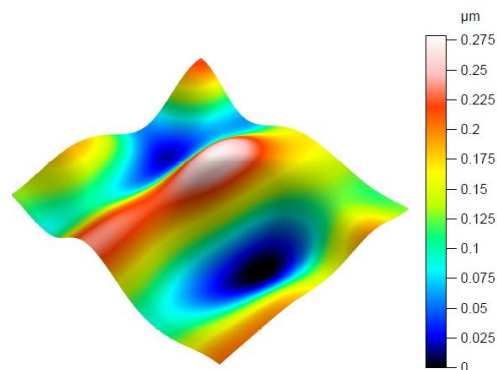
Rys. 8b. Widok izometryczny falistości powierzchni wykonanej z użyciem narzędzia o kącie natarcia $\gamma = 0^\circ$ oraz przy prędkości posuwu $f=0,211\text{mm/obr}$

Fig. 8b. Isometric view of waviness machined surface made using a tool with tool rake angle $\gamma = 0^\circ$ and feed rate $f = 0.211\text{mm/obr}$



Rys. 8c. Widok izometryczny falistości powierzchni wykonanej z użyciem narzędzia o kącie natarcia $\gamma = 6^\circ$ oraz przy prędkości posuwu $f=0,211\text{mm/obr}$

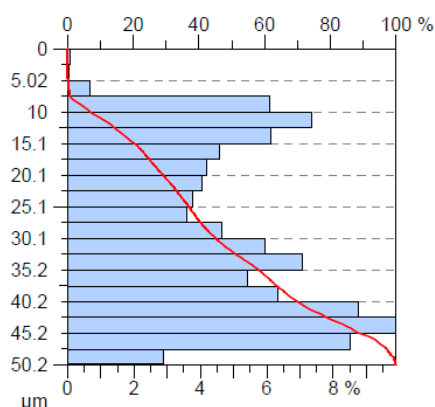
Fig. 8c. Isometric view of waviness machined surface made using a tool with tool rake angle $\gamma = 6^\circ$ and feed rate $f = 0.211\text{ mm/obr}$



Rys. 8d. Widok izometryczny falistości powierzchni wykonanej z użyciem narzędzia o kącie natarcia $\gamma = 12^\circ$ oraz przy prędkości posuwu $f=0,211\text{mm/obr}$

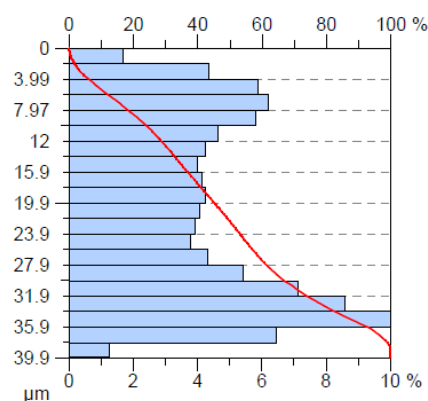
Fig. 8d. Isometric view of waviness machined surface made using a tool with tool rake angle $\gamma = 12^\circ$ and feed rate $f = 0.211\text{ mm/obr}$

Analizując otrzymane widoki izometryczne falistości powierzchni oraz wyniki pomiarów parametrów falistości powierzchni można stwierdzić, że zmniejszenie wartości posuwu oraz zwiększenie wartości kąta natarcia w kierunku dodatnim powoduje obniżenie wartości badanych parametrów falistości powierzchni.



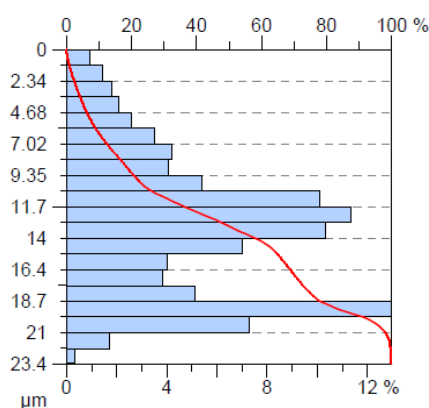
Rys. 9a. Krzywa udziału materiałowego dla powierzchni wykonanej z użyciem narzędzia o kącie natarcia $\gamma = -6^\circ$ oraz przy prędkości posuwu $f = 0,211 \text{ mm/obr}$

Fig. 9a. Abbott-Firestone curve of machined surface made using a tool with tool rake angle $\gamma = -6^\circ$ and feed rate $f = 0,211 \text{ mm/obr}$



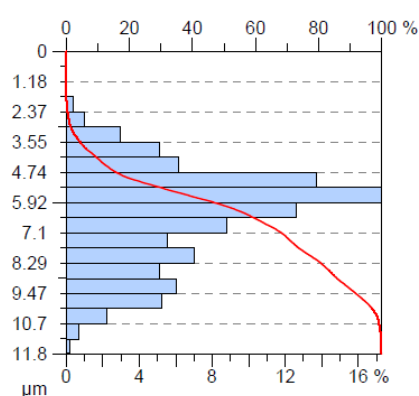
Rys. 9b. Krzywa udziału materiałowego dla powierzchni wykonanej z użyciem narzędzia o kącie natarcia $\gamma = 0^\circ$ oraz przy prędkości posuwu $f = 0,211 \text{ mm/obr}$

Fig. 9b. Abbott-Firestone curve of machined surface made using a tool with tool rake angle $\gamma = 0^\circ$ and feed rate $f = 0,211 \text{ mm/obr}$



Rys. 9c. Krzywa udziału materiałowego dla powierzchni wykonanej z użyciem narzędzia o kącie natarcia $\gamma = 6^\circ$ oraz przy prędkości posuwu $f = 0,211 \text{ mm/obr}$

Fig. 9c. Abbott-Firestone curve of machined surface made using a tool with tool rake angle $\gamma = 6^\circ$ and feed rate $f = 0,211 \text{ mm/obr}$

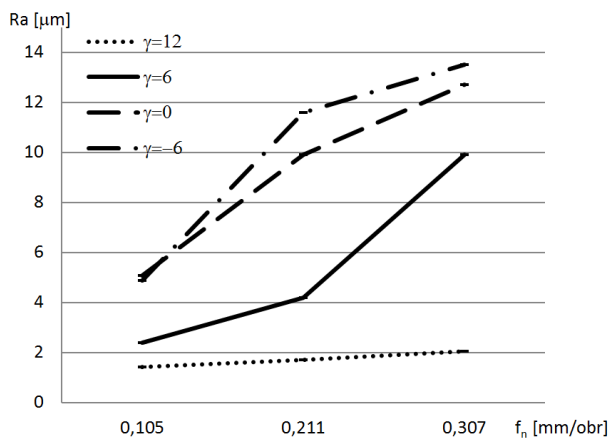


Rys. 9d. Krzywa udziału materiałowego dla powierzchni wykonanej z użyciem narzędzia o kącie natarcia $\gamma = 12^\circ$ oraz przy prędkości posuwu $f = 0,211 \text{ mm/obr}$

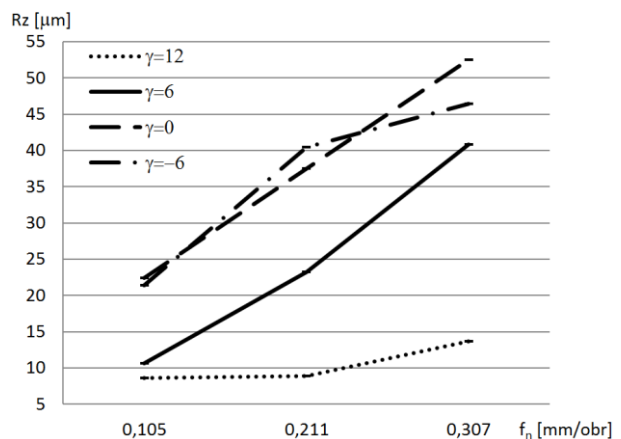
Fig. 9d. Abbott-Firestone curve of machined surface made using a tool with tool rake angle $\gamma = 12^\circ$ and feed rate $f = 0,211 \text{ mm/obr}$

Na rysunku 9 zestawiono przykładowe krzywe Abbotta-Firestone'a uzyskane dla powierzchni wykonanych narzędziami z różnymi wartościami kąta natarcia przy stałej prędkości posuwu $f = 0,211 \text{ mm/obr}$.

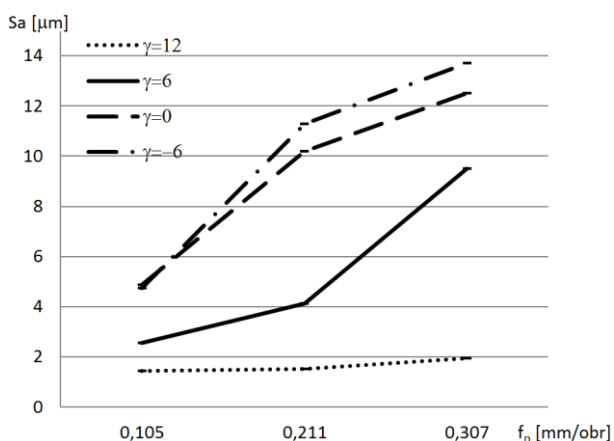
Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznaczono także średnie wartości wybranych parametrów chropowatości powierzchni. Wykresy, obrazujące wpływ prędkości posuwu na wartości średnie parametrów R_a , R_z , S_a , oraz S_z chropowatości powierzchni obrabianych ostrzami z różnymi kątami natarcia, przedstawiono na rysunkach 10-13.



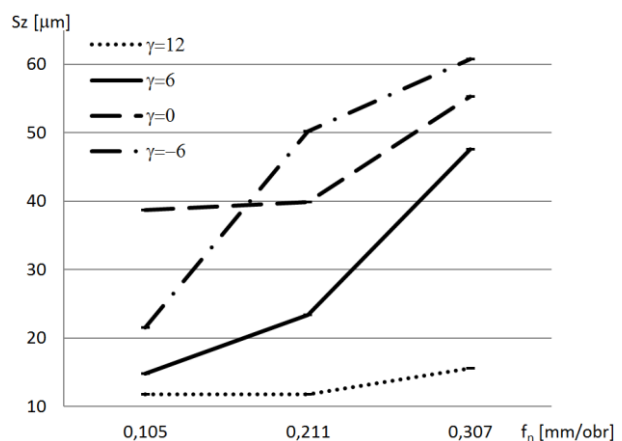
Rys. 10. Wpływ prędkości posuwu na wartość parametru chropowatości powierzchni Ra podczas obróbki z użyciem ostrzy o różnych kątach natarcia
Fig. 10. Effect of the feed rate on the value of the Ra surface roughness parameter during machining using tools with different rake angle



Rys. 11. Wpływ posuwu na wartość parametru chropowatości powierzchni Rz podczas obróbki z użyciem ostrzy o różnych kątach natarcia
Fig. 11. Effect of the feed rate on the value of the Rz surface roughness parameter during machining using tools with different rake angle



Rys. 12. Wpływ posuwu na wartość parametru chropowatości powierzchni Sa podczas obróbki z użyciem ostrzy o różnych kątach natarcia
Fig. 12. Effect of the feed rate on the value of the Sa surface roughness parameter during machining using tools with different rake angle



Rys. 13. Wpływ posuwu na wartość parametru chropowatości powierzchni Sz podczas obróbki z użyciem ostrzy o różnych kątach natarcia
Fig. 13. Effect of the feed rate on the value of the Sz surface roughness parameter during machining using tools with different rake angle

5. PODSUMOWANIE

Analizując wyniki testów oraz widoki izometryczne falistości i chropowatości powierzchni otrzymanych w procesie toczenia narzędziami z różnymi kątami natarcia, można stwierdzić, że kąt natarcia ma znaczący wpływ na wartości parametrów chropowatości powierzchni oraz składowych całkowitej siły skrawania.

Jak można zauważyć na rys. 6, obrazującym zestawienie widoków izometrycznych chropowatości powierzchni, a także na wykresach przedstawiających wpływ analizowanych parametrów (f , γ) na chropowatość powierzchni obrobionej, parametry chropowatości powierzchni R_a , S_a , R_z i S_z przyjmują najmniejszą wartość dla powierzchni toczonej narzędziem o kącie natarcia $\gamma=12^\circ$ przy najmniejszej stosowanej prędkości posuwu narzędzia $f=0,105\text{mm/obr.}$ Zaobserwowano wzrost chropowatości powierzchni następujący w miarę zwiększania prędkości posuwu oraz wartości kąta natarcia w kierunku ujemnym. Zmiana wartości kąta natarcia w zakresie $\gamma=-6\div 12^\circ$ powoduje obniżenie wartości średnich parametru R_a chropowatości powierzchni w zakresie od 70 do 85%, w zależności od prędkości posuwu. Podobne zależności zaobserwowano dla pozostałych analizowanych parametrów chropowatości powierzchni. Analogiczna zmiana wartości kąta natarcia dla analizowanego zakresu prędkości posuwu powoduje obniżenie wartości średnich parametru R_z w zakresie od 60 do 78%, S_a w zakresie od 70 do 86% oraz S_z w zakresie od 70 do 76%.

Analizując wartości składowych całkowitej siły skrawania zaobserwowano podobne zależności jak dla chropowatości powierzchni. Zmniejszenie prędkości posuwu oraz zwiększenie wartości kąta natarcia w kierunku dodatnim powoduje obniżenie wartości składowych całkowitej siły skrawania. Zmiana wartości kąta natarcia w zakresie $\gamma=-6\div 12^\circ$, w zależności od prędkości zastosowanego posuwu, powoduje obniżenie wartości składowej głównej w zakresie od 22 do 28%, składowej odporowej w zakresie od 48 do 52% oraz składowej posuwowej w zakresie od 56 do 58%. Zaobserwowane zjawiska są częściowo następstwem zwiększania się ostrości krawędzi skrawającej, wynikającej ze zwiększania wartości kąta natarcia w kierunku dodatnim.

Podczas procesu obróbki należy tak dobierać wartości parametrów skrawania i geometrię ostrza skrawającego, aby uzyskać jak najkorzystniejsze rezultaty w zakresie chropowatości obrabianych powierzchni, wydajności procesu obróbki oraz wysokości kosztów realizowanego procesu. Zwiększenie wartości kąta natarcia w kierunku dodatnim powoduje zmniejszenie chropowatości wykonanych powierzchni oraz wartości składowych całkowitej siły skrawania, ale jednocześnie może powodować obniżenie wytrzymałości krawędzi skrawającej.

LITERATURA

- [1] GÓRNY J., 2005, *Wykonywanie części maszyn w procesach obróbki skrawaniem*, Instytut Technologii Eksploatacji, Państwowy Instytut Badawczy, Radom.
- [2] RAO B.C., GAO R.X., FRIEDRICH C.R., 1995, *Integrated force measurement for on-line cutting geometry inspection*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 44/5, 977–980.
- [3] HUANG L., CHEN JOSEPH C., CHANG T., 1999, *Effect of tool/chip contact length on orthogonal turning performance*, Journal of Industrial Technology, 15/2, 2-5.
- [4] STRAFFORD K.N., AUDY J., 1997, *Indirect monitoring of machinability in carbon steels by measurement of cutting forces*, Journal of Material Processing Technology, 67/1–3, 150-156.
- [5] FENK J. C.-X., WANK D. X.-F., 2003, *Surface roughness predictive modeling: neural networks vs. regression*, IIE Transactions, 35/1, 11-27.
- [6] CAKIR M.C., ENSARIOGLU C., DEMIRAYAK I., 2009, *Mathematical modeling of surface roughness for evaluating the effects of cutting parameters and coating material*, Journal of Materials Processing Technology, 209, 102-109.

- [7] OKTEM H., ERZURUMLU T., KURTARAN H., 2005, *Application of response surface methodology in the optimization of cutting conditions for surface roughness*, Journal of Materials Processing Technology, 170, 11-16.
- [8] THAMIZHMANII S., SAPARUDIN S., HASAN S., 2007, *Analyses of Surface Roughness by Turning Process Using Taguchi Method*, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 20/1-2, 503-506.
- [9] UTHAYAKUMAR M., PRABHAKARAN G., SIVANANDHAM A., SIVAPRASAD V. J., 2009, *Precision Machining of an Aluminum Alloy Piston Reinforced with a Cast Iron Insert*, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 10/1, 7-13.
- [10] ZĘBALA W., 2011, *Modelowanie procesu toczenia materiałów trudnoskrawalnych*, Czasopismo Techniczne, 15, Mechanika, 5-M, 135-148.
- [11] ZĘBALA W., SŁODKI B., 2013, *Cutting data correction in Inconel 718 turning*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 65, 881-893.
- [12] ZĘBALA W., SŁODKI B., STRUZIKIEWICZ G., 2013, *Productivity and reliability improvement in turning Inconel 718 alloy – case study. Poprawa produktywności i niezawodności toczenia stopu Inconel 718 – studium przypadku*. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, 15/4, 421-426.
- [13] ZĘBALA W., SŁODKI B., 2006, *Analiza pracy łamacza wiórów podczas toczenia materiałów trudnoskrawalnych*, Inżynieria Maszyn, 11/4, 105-114.
- [14] SAGLAM H., UNSACAR F., YALDIZ S., 2006, *Investigation of the effect of rake angle and approaching angle on main cutting force and tool tip temperature*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 46/2, 132-141.
- [15] GUNAYA M., ASLAN E., KORKUT I., SEKER U., 2004, *Investigation of the effect of rake angle on main cutting force*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44/9, 953-959.
- [16] MUNAWA M., CHING-SHIHN C. J., AHMAD M. N., 2011, *Investigation of cutting parameters effect for minimization of surface roughness in internal turning*, International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 12/1, 121-127.
- [17] NESELI S., YALDIZ S., TURKES E., 2011, *Optimization of tool geometry parameters for turning operations based on the response surface methodology*, Measurement, 44/3, 580-587.

INFLUENCE OF TOOL RAKE ANGLE AND FEED ON SURFACE ROUGHNESS AND TOTAL CUTTING FORCE COMPONENTS ANALYSIS

The impact of the values of tool rake angle and feed rate on the values of the components of the total cutting force and machined surface roughness was determinate. During the implementation of research the EN 16MnCr5 steel was machined with tools made from uncoated cemented carbide. The paper presents the measuring device for measuring components of the total cutting force and the roughness of the cutting surface and summarizes the experimental data.