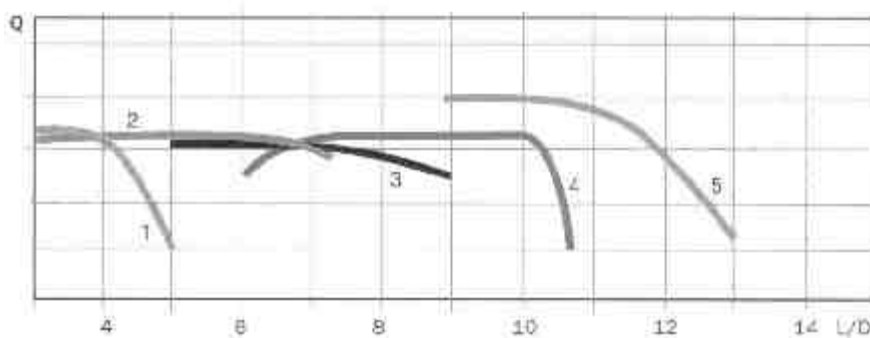


# Długość narzędzia skrawającego a parametry struktury geometrycznej powierzchni

doc. dr inż. Franciszek Bromberek, dr inż. Maciej Matuszewski, dr hab. inż. Ivan L. Oborski, dr inż. Robert Polasik,  
prof. dr hab. inż. Michał Styp-Rekowski, mgr inż. Tadeusz Węgrzyniak

Obróbka powierzchni wewnętrznych to zawsze bardziej złożone zadanie technologiczne w procesie wytwórczym niż obróbka powierzchni zewnętrznych. Szczególne znaczenia nabiera ono w przypadku elementów wielkogabarytowych (EWg). Ich wewnętrzne powierzchnie wymagające obróbki usytuowane są nieraz w dużych odległościach od obrysu, niezbędne jest więc użycie narzędzi o znacznych długościach. Narzędzia takie charakteryzują się mniejszą sztywnością niż krótkie, stwarzają tym samym dogodne warunki do generowania drgań, które są niekorzystne zarówno dla trwałości ostrza jak i dla geometrii obrabianej powierzchni. W celu zminimalizowania tego negatywnego wpływu, w systemach mocowania narzędzi stosuje się adaptory, które nie tylko przedłużają narzędzie, nawet do 12÷14 ich średnic, lecz także tłumią drgania. Dzięki nim można realizować obróbkę powierzchni usytuowanych w głębi, nie pogarszając jej efektywności – rys. 1.



Rys. 1. Zmiana objętościowej wydajności skrawania  $Q$  w funkcji stosunku długości  $L$  do średnicy  $D$  różnych rodzajów narzędzi: 1 – wytaczak stalowy, 2 – wytaczak z węgla, 3 – krótki wytaczak z tłumieniem drgań, 4 – długi wytaczak z tłumieniem drgań, 5 – bardzo długi wytaczak z tłumieniem drgań [14]

Z przedstawionych na rysunku wykresów wynika, że każde z narzędzi ma swoją długość graniczną, której przekroczenie skutkuje pogorszeniem efektywności obróbki, w niektórych przypadkach wyraźnym, w innych – nieznacznym.

Celem badań opisanych w niniejszej pracy było stwierdzenie czy i w jaki sposób zmienia się topografia powierzchni obrobionej narzędziami o różnych długościach. Badaną obróbką było frezowanie.

## Program i warunki badań

Program badań przewidywał obróbkę elementów wykonanych z trzech tworzyw konstrukcyjnych. Były to: żeliwo 0.6025 (wg starego oznaczenia ZI 250), stal 1.0037 (St3S) oraz stop glinu 3.1255 (PA 33). Są to tworzywa konstrukcyjne często stosowane w budowie maszyn, w tym również elementów wielkogabarytowych (EWg).

Badania realizowano przy wybranych wartościach następujących parametrów obróbki:

- prędkości skrawania,  $v$ ,
- posuwu,  $f_z$ ,
- głębokości skrawania,  $a_p$ ,

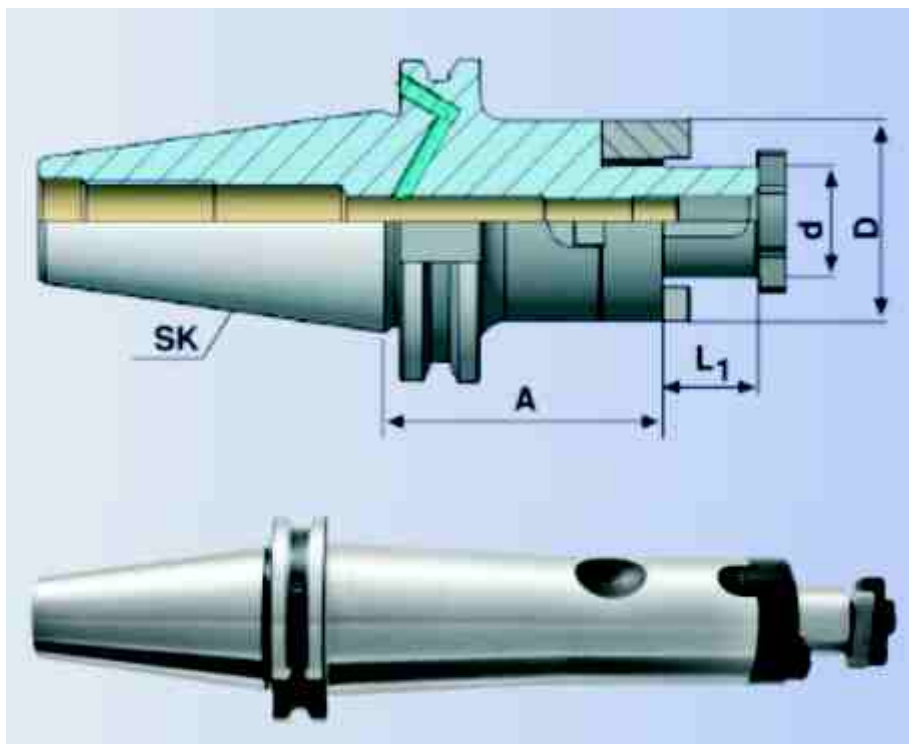
Wyboru, zarówno samych parametrów jak i ich wartości, dokonano na podstawie analizy rezultatów badań własnych [9, 10] oraz wiedzy prezentowanej w literaturze [1, 2, 4, 12, 15].

W badaniach eksperymentalnych zastosowano standardowy uchwyt frezarski SK40-22-55 DIN 69871 (rys. 2a) oraz uchwyt frezarski AD/B SK40-22-200 DIN 69871 (rys. 2b), dłuższy o 145 mm od standardowego. Obydwa uchwyty wyprodukowano w firmie Eroglu. Podstawowym kryterium przy wyborze uchwytów [5, 6, 11] była aktualna ich dostępność.

Rezultaty obróbki oceniano porównując dwa wybrane parametry chropowatości jakimi charakteryzowały się obrobione powierzchnie:

- średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości,  $R_a$ ,
- wysokość chropowatości wg 10 punktów profilu chropowatości,  $R_z$ .

Obróbkę prowadzono w warunkach minimalnego chłodzenia i smarowania (MQL). Taki rodzaj obróbki wybrano na podstawie analizy informacji literaturowych [3, 7, 8, 16].



Rys. 2. Uchwyt frezarski SK40-22-55: a) przekrój z głównymi wymiarami [mm]:  $d=22$ ,  $A=55$ ,  $L_1=19$ ,  $D=40$ , b) widok uchwyty frezarskiego AD/B SK40-22-200; jego główne wymiary [mm]:  $d=22$ ,  $A=200$ ,  $L_1=19$ ,  $D=40$  [11]

## Rezultaty badań

### 1. Obróbka żeliwa

Frezowanie próbek z żeliwa 0.6025 wykonywano głowicą frezarską wyposażoną w jedno lub sześć ostrzy – płytek RDHX 12T3 MO gatunku LC610T. Głowice mocowane były w uchwytach o długościach: standardowej (oznaczone R1 i R6) i zwiększonej (R1D i R6D). Zależności parametrów chropowatości od przyjętych w badaniach warunków i parametrów obróbki dla czterech wyżej wymienionych wariantów narzędzia przedstawiono w formie graficznej na rysunkach 3 ÷ 5.

Badając wpływ długości narzędzia na chropowatość powierzchni przy zmiennej prędkości skrawania (rys. 3) stwierdzono, że dla powierzchni obrobionej sześcioma ostrzami długość narzędzia ma niewielki wpływ chropowatość (zmiana wartości  $R_a$  i  $R_z$  poniżej 10%).

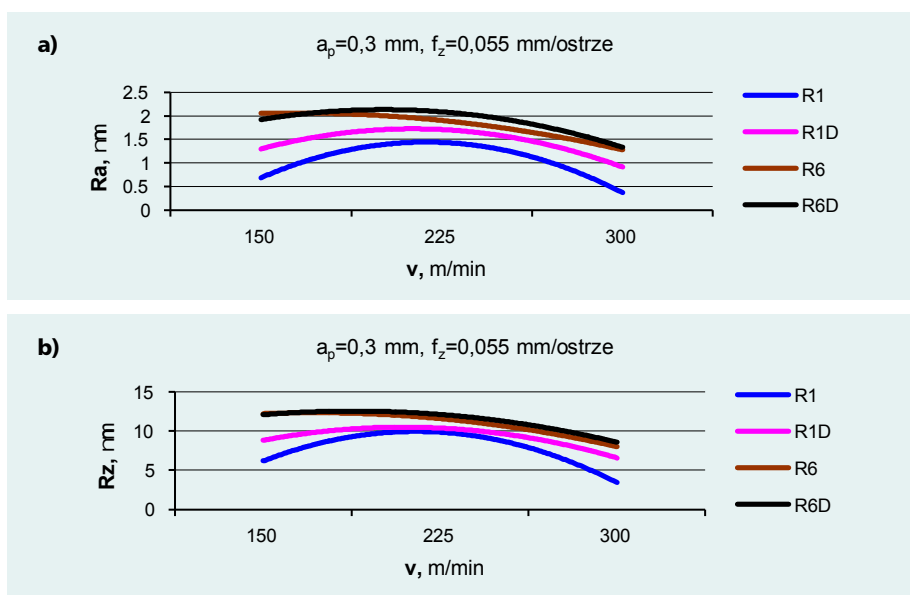
Długość narzędzia ma natomiast znaczny wpływ na chropowatość powierzchni obrobionej jednym ostrzem. Dla prędkości skrawania  $v=300$  m/min większa długość narzędzia spowodowała zwiększenie wartości parametrów chropowatości  $R_a$  o 150% i  $R_z$  o 95%.

Na rysunku 4 przedstawiono te zależności przyjmując jako zmienną posuw.

Z ich analizy wynika, że zwiększenie długości narzędzia w niewielkim stopniu pogorszyło uzyskiwaną w obróbce chropowatość powierzchni. Największe różnice, dla sześciu ostrzy skrawających, zaobserwowano dla  $f_z=0,1$  mm/ostrze i wynosiły one dla  $R_a$  18% i dla  $R_z$  10%. Dla narzędzia z jednym ostrzem naj-

większe zmiany stwierdzono przy posuwie  $f_z=0,055$  mm/ostrze – około 20%, zarówno dla parametru  $R_a$  jak i  $R_z$ .

Na rysunku 5 przedstawiono zależności parametrów chropowatości  $R_a$  i  $R_z$  od głębokości skrawania  $a_p$ . Zwiększenie długości narzędzia spowodowało więk-



Rys. 3. Zależność parametrów chropowatości  $R_a$  (a) i  $R_z$  (b) od prędkości skrawania  $v$  narzędziem o standardowej długości z 1(R1) i 6 (R6) ostrzami oraz zwiększonej długości z 1(R1D) i 6 (R6D) ostrzami; obrabiany materiał: żeliwo 0.6025

szy wzrost wartości analizowanych parametrów przy frezowaniu powierzchni jednym ostrzem. Największe różnice odnotowano dla najmniejszej badanej głębokości  $a_p=0,06$  mm i wynosiły one dla R1 (jednym ostrzem) odpowiednio: 90% dla  $R_a$  i 65% dla  $R_z$ . Dla narzędzia pracującego sześcioma ostrzami (R6) różnice te dla obydwóch parametrów były równe i wynosiły około 15%.

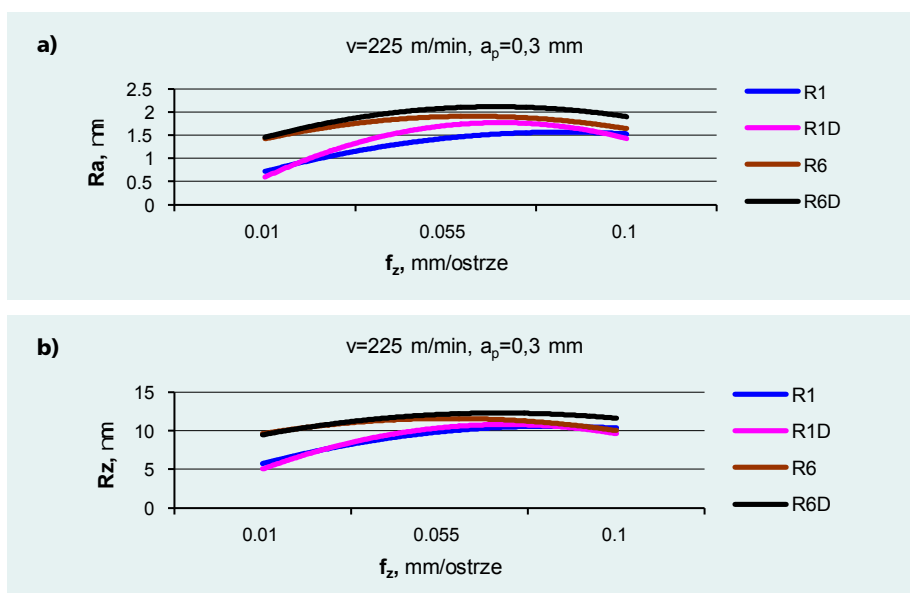
## 2. Obróbka stali

Drugim badanym materiałem była stal 1.0037. Podobnie jak w poprzedniej serii badań, analizie poddano powierzchnie obrobione narzędziem z jednym i sześcioma ostrzami o dwóch długościach (standardowej i zwiększonej), przy trzech zmiennych parametrach frezowania (prędkość skrawania, posuw i głębokość). Zaobserwowane zmiany przedstawiono w formie graficznej na poniższych rysunkach – rys. 6÷8.

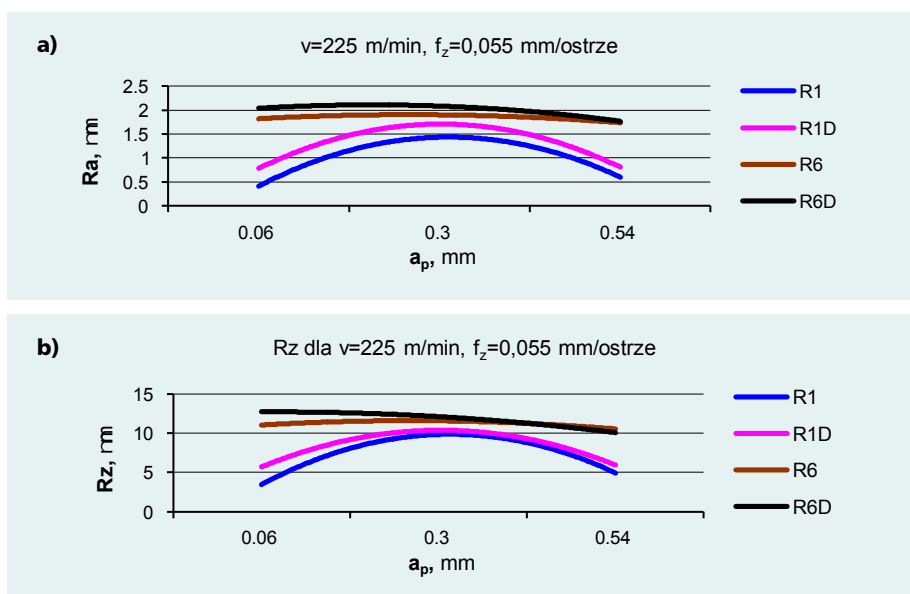
Na rysunku 6 przedstawiono zależność parametrów chropowatości od prędkości skrawania dla czterech badanych typów narzędzia. Analiza ta potwierdziła większy wpływ zmiany długości narzędzia dla stali obrobionej narzędziem jednoostrzowym. Największe różnice zanotowano przy prędkości  $v=200$  m/min. Wynosiły one: 430% dla  $R_a$  i 225% dla  $R_z$ . Dla powierzchni obrobionej narzędziem z sześcioma ostrzami stwierdzono zmiany wyraźnie mniejsze, odpowiednio: 40% dla  $R_a$  i 30% dla  $R_z$ .

Przy zmiennej niezależnej – posuwie, największe różnice wartości parametrów chropowatości zaobserwowano dla powierzchni obrobionej narzędziem z jednym ostrzem, dla posuwu  $f_z=0,15$  mm/ostrze (rys. 7). Zwiększenie długości narzędzia jednoostrzowego spowodowało wzrost wartości  $R_a$  o 490% i  $R_z$  o 280%. Dla powierzchni obrobionej sześcioma ostrzami zaobserwowano mniejsze zmiany:  $R_a$  o 114% i  $R_z$  o 70% dla  $f_z=0,05$  mm/ostrze.

Badając wpływ zmiany długości narzędzia na chropowatość powierzchni, przy zmiennej głębokości (rys. 8) stwierdzono, że zmiana ta, dla  $a_p=0,6$  mm, przy obróbce narzędziem z jednym ostrzem spowodowała największy, bo 5-krotny wzrost wartości parametru  $R_a$  i 4-krotny parametru  $R_z$ .



Rys. 4. Zależność parametrów chropowatości  $R_a$  (a) i  $R_z$  (b) od posuwu  $f_z$  narzędzia o standardowej długości z 1 (R1) i 6 (R6) ostrzami oraz przedłużonej długości z 1 (R1D) i 6 (R6D) ostrzami; obrabiany materiał: żeliwo 0.6025



Rys. 5. Zależność parametrów chropowatości  $R_a$  (a) i  $R_z$  (b) od głębokości skrawania  $a_p$  narzędziem o standardowej długości z 1 (R1) i 6 (R6) ostrzami oraz zwiększonej długości z 1 (R1D) i 6 (R6D) ostrzami; obrabiany materiał: żeliwo 0.6025

Dla narzędzia z sześcioma ostrzami zmiany te nie były już tak znaczne i wynosiły odpowiednio: 38% dla  $R_a$  oraz 54% dla  $R_z$ .

Na podstawie analizy wykresów zamieszczonych w niniejszej pracy (rys. 5÷8) można stwierdzić, że dla próbek ze stali 1.0037, zmiana długości narzędzia w dużym stopniu wpływa na powierzchnię obrobioną narzędziem z jednym ostrzem. Największe, dla tego wariantu

narzędzia, różnice wartości parametrów opisujących strukturę geometryczną powierzchni wynosiły 600%.

## 3. Obróbka stopu glinu

Frezowanie stopu glinu 3.1255 realizowano głowicą wyposażoną w jedno lub trzy ostrza, także osadzoną w dwóch uchwytach: standardowym i przedłużonym. Jako ostrzy skrawających użyto płytek ADKX-170512SR-TR, gatunku

LC240T. Na rysunkach 9÷11 przedstawiono zarejestrowane wartości parametrów chropowatości  $R_a$  i  $R_z$  w funkcji przyjętych w badaniach parametrów obróbki dla czterech wariantów narzędzia: z jednym (R1) i trzema (R3) ostrzami, o dwóch różnych długościach (R1D i R3D).

Na rysunku 9 przedstawiono zależność parametrów chropowatości od prędkości skrawania. Analiza wyników badań dla tej zmiennej potwierdziła wcześniejsze obserwacje świadczące o tym, że im dłuższe narzędzie tym wartości parametrów chropowatości większe. Największe różnice stwierdzono dla  $v=700$  m/min. Zarówno wartość parametru  $R_a$  jak i  $R_z$  zmieniła się o ok. 40% (trzy ostrza), natomiast dla narzędzia z jednym ostrzem – dla  $v=800$  m/min i wynosiły one odpowiednio: 50% dla  $R_a$  a 40% dla  $R_z$ .

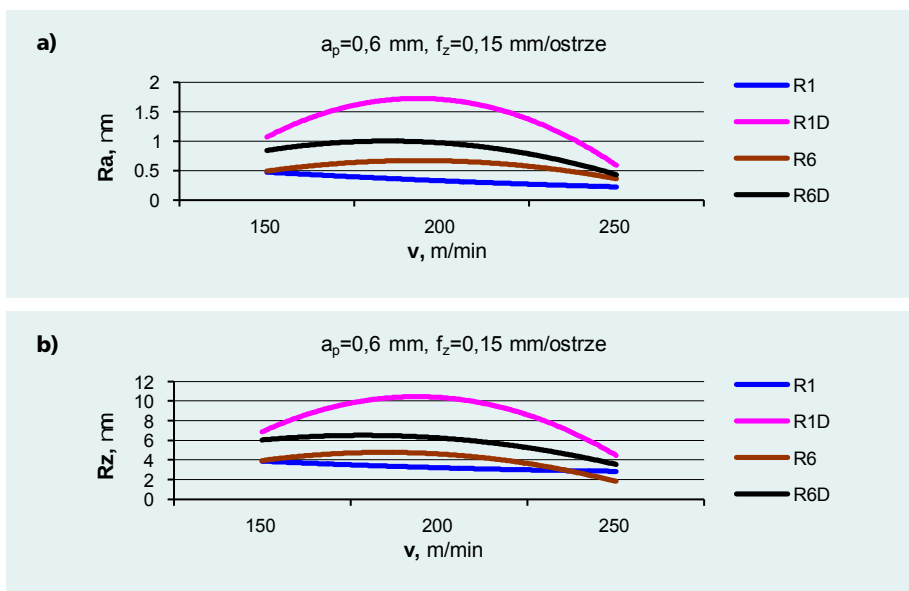
Stwierdzono więc, że długości narzędzia, w analizowanym zakresie prędkości skrawania dla badanego materiału w niewielki sposób wpływa na badaną cechę obróbką jaką była chropowatość.

Na rysunku 10 przedstawiono tę zależność dla zmiennej  $f_z$ . Z analizy wykresów na tym rysunku wynika, że największą chropowatością charakteryzowały się powierzchnie frezowane głowicą o zwiększonej długości z trzema ostrzami (R3D). Porównując głowice jednoostrzowe (R1 i R1D) również zaobserwowano większe wartości parametrów chropowatości dla narzędzia o większej długości. Największe różnice zaobserwowano dla posuwu  $f_z=0,275$  m/ostrze i wynosiły one odpowiednio: dla narzędzia z trzema ostrzami  $R_a$  30% i  $R_z$  20%, dla narzędzia z jednym ostrzem  $R_a$  60% i  $R_z$  40%.

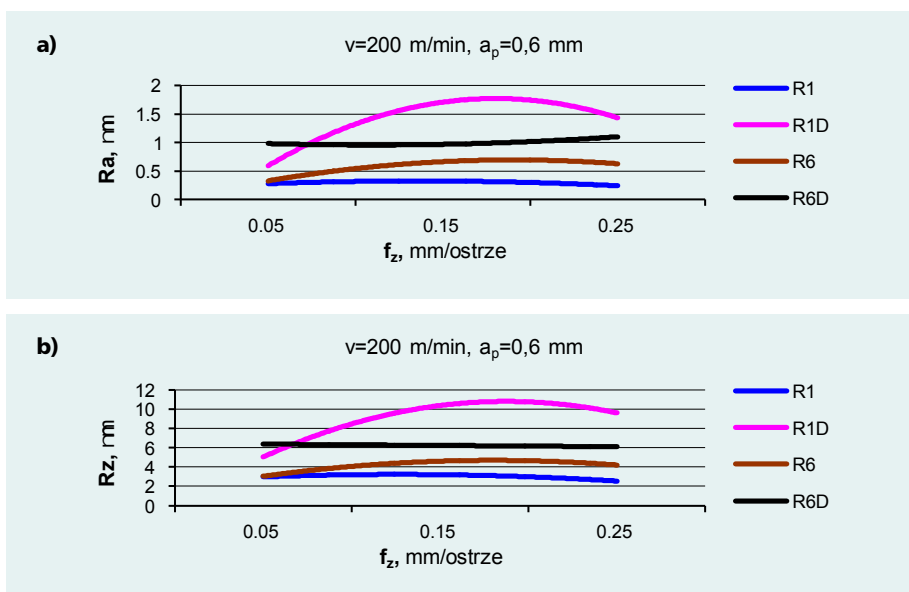
Stwierdzone zmiany chropowatości w niewielkim stopniu zależały więc od długości narzędzia skrawającego.

Większe zmiany zaobserwowano dla zmiennej głębokości skrawania (rys. 11).

W tym analizowanym przypadku zwiększenie długości narzędzia spowodowało wzrost wartości  $R_a$  i  $R_z$  o około 30% (przy  $a_p=0,525$  mm) dla głowicy z trzema ostrzami, zaś dla głowicy narzędziowej z jednym ostrzem  $R_a$  o 130% i  $R_z$  o 109% (dla  $a_p=0,05$  mm).



Rys. 6. Zależność parametrów chropowatości  $R_a$  (a) i  $R_z$  (b) od prędkości skrawania  $v$  narzędziem o standardowej długości z 1(R1) i 6 (R6) ostrzami oraz zwiększonej długości z 1(R1D) i 6 (R6D) ostrzami; obrabiany materiał: stal 1.0037



Rys. 7. Zależność parametrów chropowatości  $R_a$  (a) i  $R_z$  (b) od posuwu  $f_z$  narzędzia o standardowej długości z 1(R1) i 6 (R6) ostrzami oraz przedłużonej długości z 1(R1D) i 6 (R6D) ostrzami; obrabiany materiał: stal 1.0037

#### 4. Analiza uzyskanych wyników

W rezultacie przeprowadzonych badań doświadczalnych otrzymano dwa zbiory wyników, każdy z nich 18 elementowy. Analizując uzyskane wyniki stwierdzono, że długość narzędzia wpływa na wartość parametrów chropowatości obrabianej powierzchni, przy czym dla narzędzi dłuższych chropowatość jest większa niż dla krótszych. Porówny-

wano względną zmianę chropowatości uzyskanej narzędziem krótkim do chropowatości po obróbce narzędziem długim.

Względna zmiana jest różna dla każdego z mierzonych parametrów chropowatości. Dla parametru  $R_a$  zarejestrowano zmianę w zakresie od 20% do 600%. W jednym przypadku dla obydwóch długości narzędzia nie stwier-

dzono zmiany. Dla parametru Rz zakres zmian był mniejszy gdyż zawierał się w przedziale od 10% do 400%.

Największe wartości zmian obydwóch parametrów zarejestrowano dla próbek ze stali 1.0037, najmniejsze zaś – dla próbek żeliwnych. Uzasadnienia tej obserwacji można doszukiwać się w strukturze i twardości badanych tworzyw konstrukcyjnych.

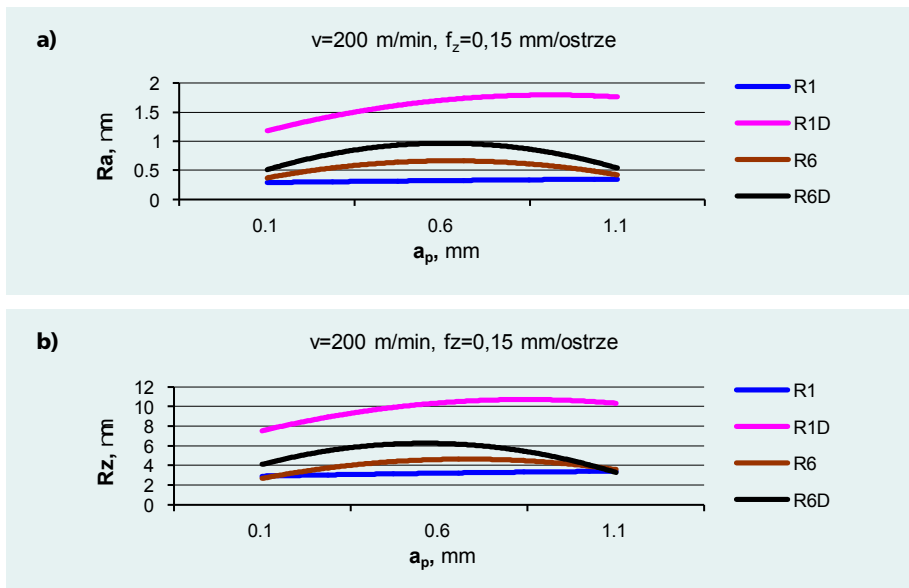
Zarejestrowane zmiany były większe dla narzędzi z jednym ostrzem niż dla narzędzi wieloostrowych. W narzędziach wieloostrowych ostrze częściej zagłębia się w materiał, cykl jest więc krótszy, a zatem amplituda drgań jest mniejsza.

**Podsumowanie**

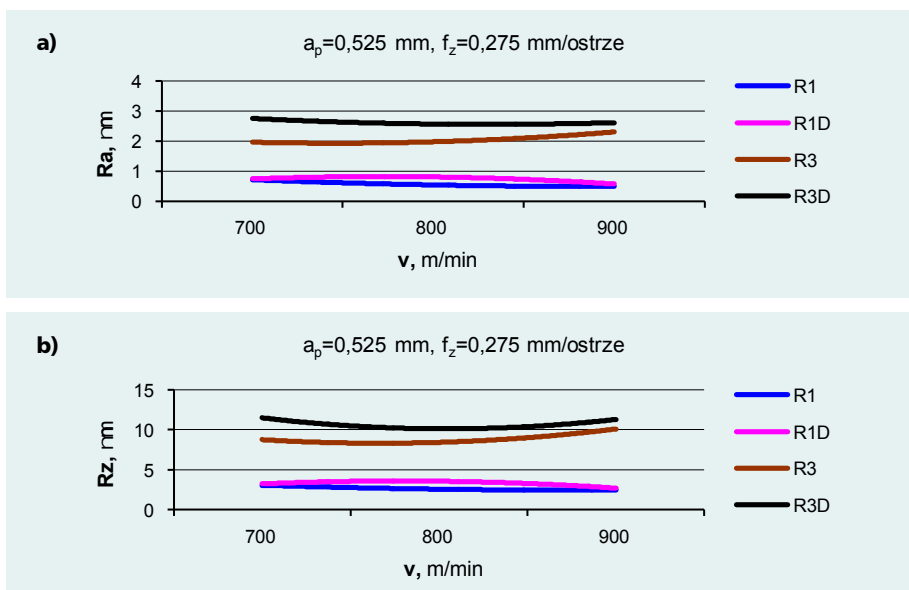
Analiza rezultatów przeprowadzonych badań wykazała, że długość narzędzia w istotny sposób wpływa na topografię frezowanych powierzchni. Wykazała ponadto, że wpływ ten jest zróżnicowany w zależności od warunków obróbki i jej parametrów. Stwierdzenie to stanowić powinno przesłankę pomocną w wyborze narzędzia z licznego zbioru oferowanego przez producentów narzędzi skrawających i wyposażenia pomocniczego, m.in. o różnych długościach – rys. 12.

Adaptory prezentowane na rysunku produkowane są także w wykonaniu charakteryzującym się zdolnością tłumienia drgań [14], dzięki czemu nawet przy dużych długościach narzędzia chropowatość obrobionych powierzchni może być odpowiednio mała.

Analizę wpływu długości narzędzia skrawającego na parametry struktury geometrycznej frezowanej powierzchni przeprowadzono na podstawie wyników badań zrealizowanych w warunkach laboratoryjnych. W takich warunkach istnieją możliwości ścisłego przestrzegania reżimów obróbkowych oraz dokładnego rejestrowania poczynionych obserwacji, co nie zawsze jest możliwe w praktyce – w warunkach przemysłowych. Z tego powodu porównując wyniki uzyskane w różnych warunkach i parametrach używano wartości zmian względnych, a nie podawano wartości uzyskanych chropo-



Rys. 8. Zależność parametrów chropowatości Ra (a) i Rz (b) od głębokości skrawania  $a_p$  narzędziem o standardowej długości z 1(R1) i 6 (R6) ostrzami oraz zwiększonej długości z 1(R1D) i 6 (R6D) ostrzami; obrabiany materiał: stal 1.0037



Rys. 9. Zależność parametrów chropowatości Ra (a) i Rz (b) od prędkości skrawania  $v$  narzędziem o standardowej długości z 1(R1) i 3 (R3) ostrzami oraz przedłużonej długości z 1(R1D) i 3 (R3D) ostrzami; obrabiany materiał: stop Al 3.1255

wości. Charakter zmian z pewnością jednak będzie podobny – ten uzyskany w warunkach laboratoryjnych oraz przewidywany do uzyskania w praktyce przemysłowej.

Badania opisane w artykule realizowane były w ramach projektu finansowanego przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości, w którym poza Autorami uczestniczyli inni wykonawcy. W tym miejscu składamy im podziękowanie za włożony trud.

**Literatura**

1. Byrne G., Dornfeld D., Denkena B.: Advancing cutting technology. Annals of the CIRP, No. 2/2003.
2. Hennrich G.: Trockenbearbeitung – die umweltfreundliche Fertigungs-technik. Werkstattstechnik, No. 9-10/1998.
3. Hussain M. I., Taraman K. S., Filipovic A. J., Garrn I.: Experimental study to analyse the workpiece surface temperatur in deep hole drilling of

aluminium alloy engine blocks using MQL technology. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, No. 2/2008.

4. Jemielniak K.: Obróbka skrawaniem. Politechnika Warszawska, 2004.

5. Katalog narzędzi firmy Galant.

6. Katalog narzędzi firmy Guhring.

7. Kruszyński B., Stachurski W.: Ocena wybranych metod chłodzenia i smarowania dla frezowania obwiedniowego kół zębatach. Szkoła Obróbki Skrawaniem „Obróbka Skrawaniem – Innowacje”. Wydawnictwo IZTW, Kraków 2008.

8. Liao Y.S., Lin H.M.: Mechanism of minimum quantity lubrication in high-speed milling of hardened steel. International Journal of Machine Tools and Manufacturing, No. 11/2007.

9. Matuszewski M., Musiał J., Styp-Rekowski M.: Konstrukcyjne i technologiczne zagadnienia dotyczące elementów wielkogabarytowych o strukturze modułowej. Technologia i Automatyzacja Montażu nr 2/2012.

10. Matuszewski M., Musiał J., Styp-Rekowski M.: Procedura doboru warunków i parametrów procesu technologicznego w aspekcie cech eksploatacyjnej warstwy wierzchniej. Tribologia nr 6/2012.

11. Narzędzia firmy Eroglu – Katalog główny 2015.

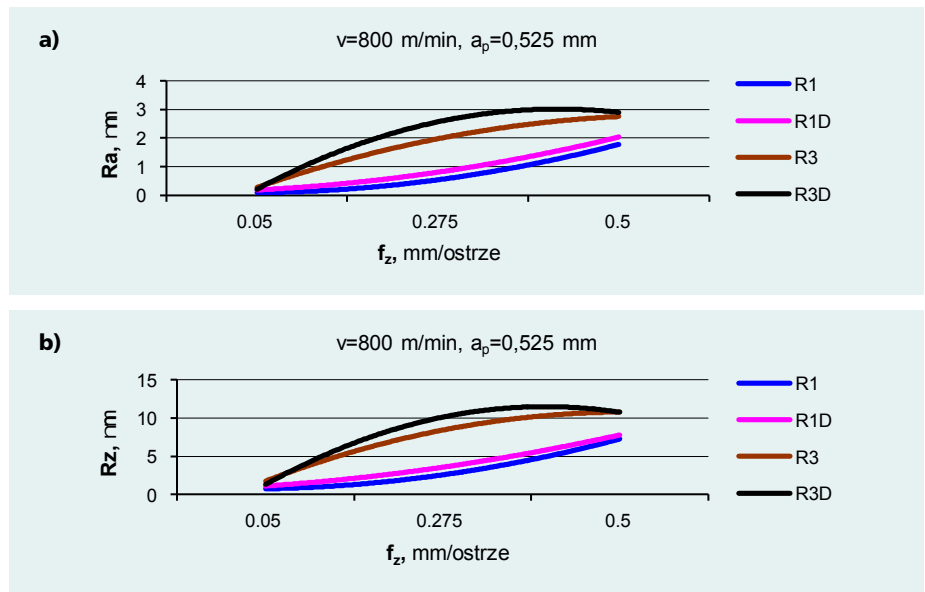
12. Oakham M.: Tails you win. Metalworking Production, No. 11/2000.

13. Podstawy obróbki skrawaniem. Materiały szkoleniowe Sandvik Corromant Academy. Wydawnictwo Sandvik Corromant, 2010.

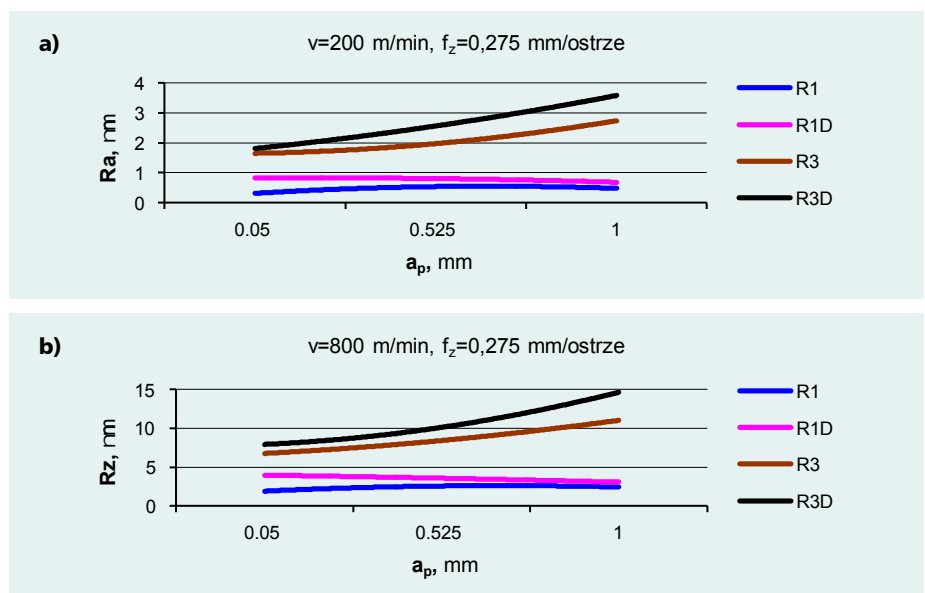
14. Poradnik obróbki skrawaniem. Wydawnictwo firmy Sandvik Corromant, Sandviken (Szwecja) 2010.

15. Schulz H., Kalhöfer E.: Aluminium-Knetlegierungen trocken bearbeiten. Werkstatt und Betrieb, No. 7-8/1996.

16. Zawada-Tomkiewicz A., Storch B.: Analiza obrazu powierzchni obrobionej w obróbce na sucho ostrzami o modyfikowanej geometrii. Szkoła obróbki skrawaniem „Obróbka Skrawaniem – Innowacje”. Wydawnictwo IZTW Kraków, 2008.



Rys. 10. Zależność parametrów chropowatości  $R_a$  (a) i  $R_z$  (b) od posuwu  $f_z$  narzędzia o standardowej długości z 1(R1) i 3 (R3) ostrzami oraz zwiększonej długości z 1(R1D) i 3 (R3D) ostrzami; obrabiany materiał: stop Al 3.1255



Rys. 11. Zależność parametrów chropowatości  $R_a$  (a) i  $R_z$  (b) od głębokości skrawania  $a_p$  narzędziem o standardowej długości z 1(R1) i 3 (R3) ostrzami oraz przedłużonej długości z 1(R1D) i 3 (R3D) ostrzami; obrabiany materiał: stop Al 3.1255



Rys. 12. Typoszereg adapterów o różnych długościach [13]