

# Badanie relacji między wybranymi warunkami obróbki frezowaniem a siłami skrawania

doc. dr inż. F. Bromberek, dr hab. inż. M. Matuszewski, Ph.D.eng. I.L. Oborski, dr inż. R. Polasik,  
prof. dr hab. inż. M. Styp-Rekowski, mgr inż. T. Węgrzyński

W artykule przedstawiono rezultaty badań sił skrawania w procesie frezowania. Określono relacje między liczbą ostrzy oraz długością narzędzia a wartością składowych sił skrawania:  $F_x$ ,  $F_y$  i  $F_z$ . Badania przeprowadzono dla trzech materiałów: stopu Al 3.1255, stali 1.0037 i żeliwa 0.6025. Stwierdzono, że obydwie zmienne mają wpływ na wartość sił skrawania, przy czym zaobserwowane zmiany są większe dla zmiennej liczby ostrzy.

## Wprowadzenie

Siły skrawania to bardzo istotny czynnik, uwzględniany w badaniach obróbki skrawaniem wszelkiego rodzaju. Od sił tych zależą bowiem efekty obróbki oraz jej efektywność. Z jednej strony siły skrawania determinują, m.in. dokładność obróbki, a także stan powierzchni po obróbce. Z drugiej zaś – generowane siły skrawania decydują o potrzebnej mocy obrabiarki (maszyny technologicznej) oraz niezbędnej sztywności układu *Obrabiarka-Uchwyt-Przedmiot-Narzędzie* (OUPN), która ma bezpośredni wpływ na dokładność wymiarowo-kształtową oraz uzyskiwaną strukturę geometryczną obrabianej powierzchni.

W zależności od warunków obróbki wartości tych sił mogą być różne, mimo tego, że obróbka realizowana jest przy takich samych wartościach jej parametrów. Z tego powodu podjęto badania mające na celu określenie relacji między wymienionymi czynnikami, których znajomość umożliwi racjonalny wybór optymalnych warunków frezowania, jako kryterium przyjmując wartość składowych sił skrawania, czyli sił oddziałujących przez obrabiany materiał na ostrze narzędzia.

## Warunki badań

W celu określenia wspomnianych relacji przeprowadzono badania laboratoryjne, w których czynnikami zmiennymi była liczba ostrzy i długość narzędzia. Obserwowano jak czynniki

te wpływają na zmianę wartości maksymalnych sił skrawania podczas obróbki frezowaniem.

Obróbkę realizowano na pionowym, trzysiosowym frezarskim centrum obróbkowym Hurco VMX 30t, używając do tego celu głowic frezarskich firmy LMT, typ FMZ 90 IK V22 052 An-I 52, z jednym, trzema lub sześcioma ostrzami, odpowiednimi do rodzaju obrabianego materiału.

W badaniach eksperymentalnych przy doborze punktów pomiarowych posłużono się planem Hartley'a dzięki czemu można było zmniejszyć liczbę prób. Punkt centralny przyjętego planu miał współrzędne:

dla żeliwa:  $v = 225$  m/min,  $a_p = 0,3$  mm,  $f_z = 0,15$  mm/ostrze,

dla stali:  $v = 200$  m/min,  $a_p = 0,6$  mm,  $f_z = 0,055$  mm/ostrze,

dla stopu Al:  $v = 800$  m/min,  $a_p = 0,525$  mm,  
 $f_z = 0,275$  mm/ostrze.

Kryteria ich wyboru przedstawiono szczegółowo w pracach [4, 5].

Analizę przeprowadzono dla trzech niżej wymienionych tworzyw konstrukcyjnych. W nawiasie podano oznaczenie według poprzednio obowiązujących zasad:

– stopu Al 3.1255 (PA 33),

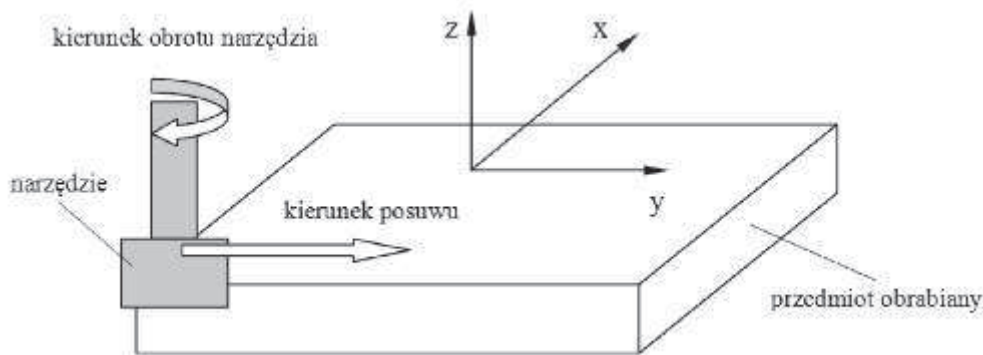
– stali 1.0037 (St3S),

– żeliwa 0.6025 (Zl 250).



W celu stworzenia możliwości energetycznej oceny procesu mierzono siły skrawania. Wykorzystano do tego siłomierz Kistlera typ 9257B. W obróbce skrawaniem, oprócz sumarycznej siły oddziaływania ostrza skrawającego na obrabiany materiał istotny jest także rozkład tych sił, dlatego też podczas obróbki mierzono trzy jej składowe, w trzech

Wykresy przedstawiają jaki wpływ ma zmiana długości narzędzia (R – narzędzie o długości standardowej, RD – narzędzie o długości zwiększonej o 145 mm w porównaniu do standardowej) oraz zmiana liczby ostrzy (R1 – jedno ostrze, i R3 – trzy ostrza) na wartość maksymalnych składowych sił skrawania w osiach  $x$ ,  $y$  i  $z$  podczas frezowania.



Rys. 1. Układ współrzędnych i inne elementy uwzględniane w badaniach

osiach:  $x$ ,  $y$  i  $z$  – rys. 1, chociaż w obliczeniach dotyczących zapotrzebowania mocy wykorzystywana jest głównie składowa obwodowa  $F_z$ . Pozostałe składowe, mające pomijalny wpływ na moc skrawania, również rejestrowano gdyż były takie możliwości aparaturowe.

Zależność zmian wartości sił skrawania dla różnych wariantów narzędzia przedstawiono w formie graficznej na rys. 2 ÷ 4.

Jedną z metod ograniczających ilość cieczy chłodząco-smarujących w procesie skrawania jest realizacja wariantu obróbki z minimalnym wydatkiem cieczy obróbkowej (MQL – Minimum Quantity Lubrication) [1, 6, 7]. Istota jej polega na doprowadzeniu w określonym czasie możliwie najmniejszej ilości płynu obróbkowego, wynoszącej < 50 ml/h, jak najbliżej miejsca styku ostrza narzędzia z obrabianym materiałem.

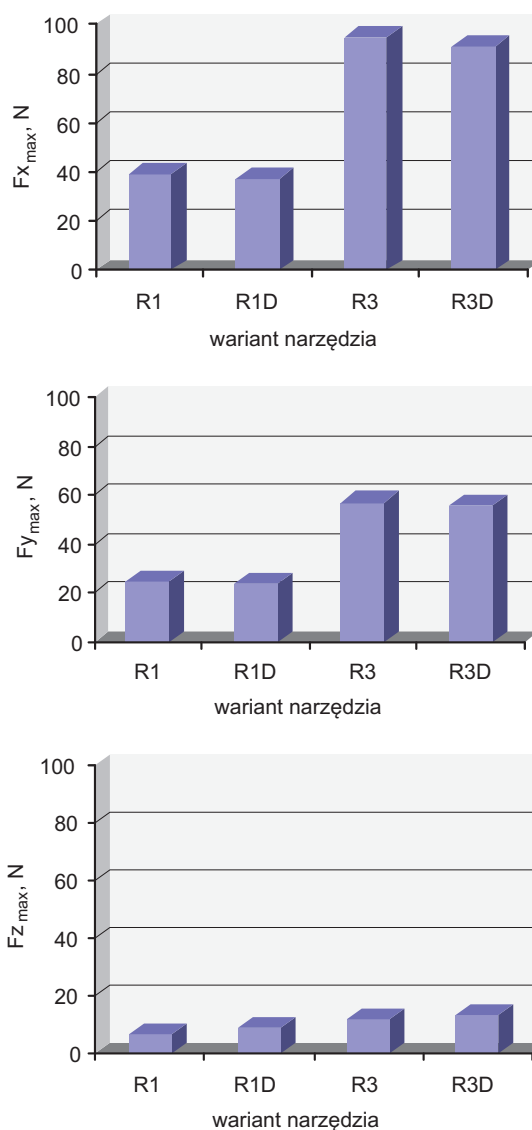
Sposób ten jest coraz częściej stosowany w praktyce przemysłowej, czemu sprzyjają rozwój materiałów narzędziowych i powłok, zwiększających wytrzymałość ostrza w trudnych warunkach skrawania, a także nowe rozwiązania konstrukcyjne narzędzi, oprzyrządowania i obrabiarek [2, 3, 6]. Wymienione, pozytywne cechy stanowiły podstawę tego, że w opisywanych badaniach przyjęto ten wariant obróbki.

## Rezultaty badań

Ponieważ wyniki przeprowadzonych badań obróbki wymienionych tworzyw konstrukcyjnych i analizy uzyskanych rezultatów różnią się między sobą opisano je w trzech integralnych częściach.

### Frezowanie stopu glinu 3.1255

W badaniach obróbki tego tworzywa zaobserwowano, że wraz ze zwiększeniem długości narzędzia wartości sił  $F_{x\max}$  i  $F_{y\max}$  w niewielkim stopniu zmniejszyły się. Jedynie w osi  $z$  ( $F_{z\max}$ ) zmiana ta spowodowała niewielkie zwiększenie wartości siły skrawania. Wyniki badań w tym zakresie przedstawiono w formie histogramów na rysunku 2.



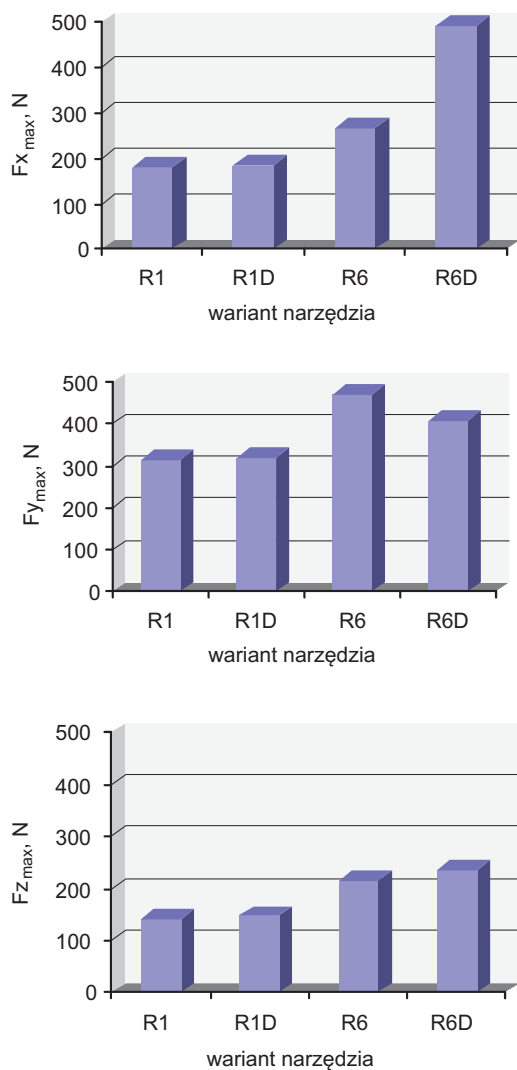
Rys. 2. Wykresy maksymalnej siły skrawania: a) w osi  $x$ , b) w osi  $y$ , c) w osi  $z$ , dla narzędzia o standardowej długości z 1 (R1) i 3 (R3) ostrzami oraz przedłużonej długości, z 1 (R1D) i 3 (R3D) ostrzami; obrabiane tworzywo: stop Al 3.1255

Analizując wpływ liczby ostrzy narzędzia na siły skrawania, należy stwierdzić, że im więcej ostrzy bierze udział w procesie skrawania tym większe występują siły. W badanym zakresie trzykrotne zwiększenie liczby ostrzy spowodowało wzrost sił  $F_{x_{max}}$  i  $F_{y_{max}}$  o 150%, a  $F_{z_{max}}$  o 90%.

**Frezowanie stali 1.0037**

Następnym z badanych tworzyw konstrukcyjnych była stal 1.0037, obrabiana narzędziem o różnej długości z jednym i sześcioma ostrzami. Prezentację graficzną wyników tych badań przedstawiono na rys. 3.

Badając wpływ zmiany długości narzędzia jednoostrzowego (w badanym dla tego tworzywa zakresie) na maksymalne siły skrawania istotnego wpływu nie stwierdzono. Stwierdzono natomiast, że zmiana ta ma istotny wpływ dla narzędzia z sześcioma ostrzami (R6). Charakter tych zmian jest różny dla różnych sił. W osi x (prostopadłej do kierunku posuwu) zaobserwowano zwiększenie wartości maksymalnej siły skrawania o 90%, zaś w osi z o 10%. W osi y (równoległej do kierunku posuwu) nastąpiło zmniejszenie tej wartości o 15%.



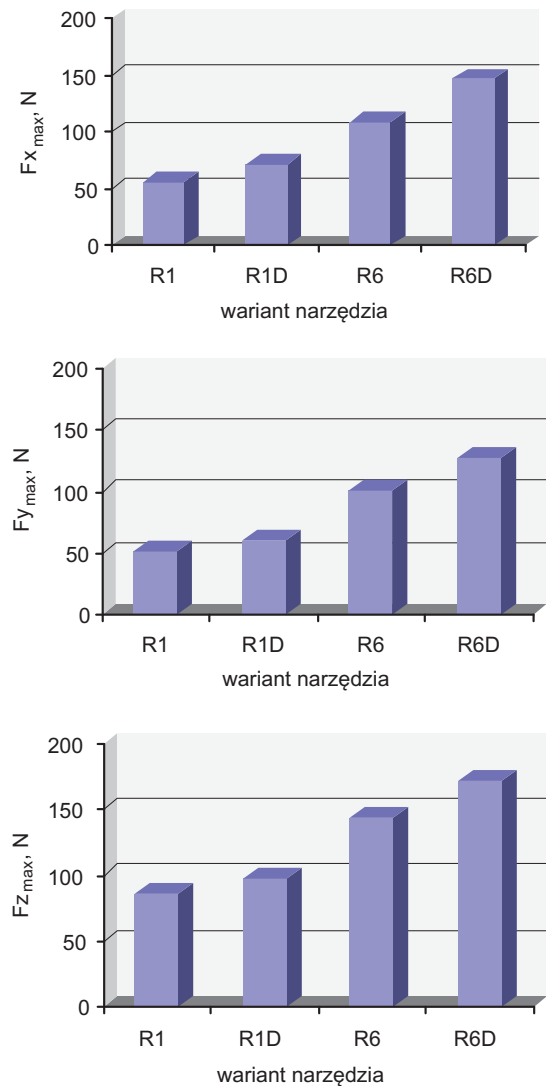
Rys. 3. Wykresy maksymalnej siły skrawania: a) w osi x, b) w osi y, c) w osi z, dla narzędzi o standardowej długości z 1 (R1) i 6 (R6) ostrzami oraz przedłużonej długości, z 1 (R1D) i 6 (R6D) ostrzami; obrabiane tworzywo: stal 1.0037

Analizując wpływ liczby ostrzy narzędzia na maksymalne siły występujące w procesie frezowania powierzchni materiału stalowego stwierdzono, że zwiększenie liczby kontaktów narzędzia z przedmiotem obrabianym powoduje wzrost występujących w nim sił. Największe zmiany zaobserwowano dla siły  $F_{x_{max}}$  dla narzędzia o przedłużonej długości (R1D, R6D) – rys. 3a. W tym przypadku zwiększenie liczby ostrzy spowodowało prawie dwukrotne zwiększenie wartości siły (o 170%).

**Frezowanie żeliwa 0.6025**

Frezowanie żeliwa 0.6025 realizowano narzędziami przyjętymi w badaniach, zmieniając liczbę ostrzy i długość narzędzia. Uzyskane wartości maksymalnych sił skrawania dla różnych rodzajów modyfikacji narzędzia, przedstawiono w formie graficznej na rys. 4.

Sześciokrotne zwiększenie liczby ostrzy w głowicy narzędziowej spowodowało wzrost sił skrawania w każdej osi. Wartość maksymalnej siły skrawania dla standardowej długości wzrosła odpowiednio:  $F_{x_{max}}$  o 93%,  $F_{y_{max}}$  o 100% i  $F_{z_{max}}$  o 68%.



Rys. 4. Wykresy maksymalnej siły skrawania: a) w osi x, b) w osi y, c) w osi z, dla narzędzia o standardowej długości z 1 (R1) i 6 (R6) ostrzami oraz przedłużonej długości, z 1 (R1D) i 6 (R6D) ostrzami; obrabiane tworzywo: żeliwo 0.6025

Analizując wpływ zmiany długości narzędzia na maksymalne siły, zaobserwowano wzrost sił skrawania wraz ze zwiększeniem długości, w granicach nie przekraczających 40%.

### Podsumowanie

Podsumowując, można stwierdzić, że wpływ analizowanych czynników na składowe siły skrawania jest istotny. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że długość narzędzia w większości analizowanych przypadków w niewielkim stopniu wpływa na wartość składowych sił skrawania. Stwierdzono przy tym, że wpływ ten w wartościach bezwzględnych jest większy dla większej liczby ostrzy niż przy obróbce jednym ostrzem. W wartościach względnych przyrost ten jest porównywalny (30 ÷ 40%).

Informacja ta jest istotna w aspekcie obróbki elementów wielkogabarytowych. W celu obróbki powierzchni wewnętrznych istnieje często potrzeba użycia narzędzi o dużych długościach.

Większe zróżnicowanie wartości składowych sił skrawania stwierdzono analizując wpływ liczby ostrzy skrawających. Największe zmiany zarejestrowano dla składowych  $F_x$  i  $F_y$ , przy czym były one porównywalne (ok. 160%) dla wszystkich obrabianych tworzyw konstrukcyjnych. W przypadku składowej  $F_z$  zarejestrowano zmiany mniejsze – w zakresie 70 ÷ 80%.

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.

reklama

### Literatura

- [1] Byrne G., Dornfeld D., Denkena B.: Advancing cutting technology. Annals of the CIRP, No. 2/2003.
- [2] Kress D., Fleischer R.: Minimale Schmierung bei Aufbohr- und Reibwerkzeugen. Reibung mit der Bohrwand minimieren. Industrie Anzeiger, No. 17/1996.
- [3] Kruszyński B., Stachurski W.: Ocena wybranych metod chłodzenia i smarowania dla frezowania obwiedniowego kół zębatych. Materiały Szkoły Obróbki Skrawaniem: „Obróbka Skrawaniem – Innowacje”. Wydawnictwo IZTW, Kraków 2008.
- [4] Styp-Rekowski M., Bromberek F., Matuszewski M., Oborski I.L., Polasik R., Węgrzyniak T.: Wpływ liczby ostrzy głowicy frezarskiej na wybrane parametry struktury geometrycznej powierzchni. Obróbka Metalu nr 1/2016.
- [5] Styp-Rekowski M., Bromberek F., Matuszewski M., Oborski I.L., Węgrzyniak T.: Długość narzędzia skrawającego a parametry struktury geometrycznej powierzchni. Obróbka Metalu nr 2/2016.
- [6] Weinert K. i in.: Dry machining and minimum quantity lubrication. Annals of the CIRP, No. 2/2004.
- [7] Żurek K., Ślawik J., Subbotko R.: Chłodzenie mgłą olejową – porównanie aspektów technicznych i ekonomicznych z technologią tradycyjną na przykładzie obróbki kutyh wałów korbowych. Materiały Szkoły Obróbki Skrawaniem: „Obróbka Skrawaniem – Innowacje”. Wydawnictwo IZTW, Kraków 2008. ■

## Czyszczenie metali

• części z tworzywem sztucznym



• po termicznym usunięciu tworzywa



• z farbą



• po chemicznym usunięciu lakieru



• haki z farbą



• po termicznym wypaleniu



**Arena Comet** specjalizuje się w termicznym i chemicznym czyszczeniu metali.

Usuujemy wszystkie rodzaje powłok organicznych, takich jak: farby, pozostałości po tworzywach sztucznych i gumie, silikon, teflon oraz różne rodzaje klejów.

Nasza działalność to głównie usługowe czyszczenie metali. Nasza oferta obejmuje również projektownie, produkcję oraz sprzedaż złożeń fluidalnych i pieców pirolitycznych.

Złożeń fluidalnych to system termiczno-mechanicznego czyszczenia metali w komorze z gorącym piaskiem.

Piec pirolityczny – procesy czyszczenia bazujące na wysokiej temperaturze, to efektywne i łatwe w obsłudze urządzenia kompaktowe z precyzyjnie kontrolowaną temperaturą, służą głównie do czyszczenia dysz, elementów wtryskowych, ekranów, śrub, matryc, sił, zabrudzonych farbą proszkową zawieszek i haków.

  
**ARENA**<sup>®</sup>

**Arena Comet SCS Polska Sp. z o.o.**

Siedziba i zakład nr 1  
ul. Piłsudskiego 23  
32-050 Skawina  
woj. małopolskie

zakład nr 2  
ul. Wałbrzyska 38  
58-160 Świebodzice  
woj. dolnośląskie

tel.: +48 12 418 31 73  
polska@arenacomet.pl  
www.arenacomet.pl  
www.arenacomet.eu