

KATALOGOWA WYDAJNOŚĆ WĘGLIKOWYCH FREZÓW TRZPIENIOWYCH DO OBRÓBKİ ZGRUBNEJ

Catalog performance of solid carbide endmills for roughing milling

Leszek SKOCZYLAS, Krystyna SKOCZYLAS

Streszczenie: Artykuł charakteryzuje współczesne metody zgrubnej obróbki skrawaniem. Na przykładzie trzpieniowych frezów pełnowęglkowych wskazuje innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne w ich budowie. Dla wybranych narzędzi, pochodzących od różnych producentów oraz zaleceń dotyczących parametrów skrawania, zawartych w katalogach narzędziowych, przedstawia obliczenia wydajności obróbki. Obliczenia odnoszą się do narzędzi dedykowanych do obróbki uniwersalnej oraz do obróbki wysokowydajnej HPC. Uzyskane wyniki są podstawą wyciągnięcia wniosków.

Słowa kluczowe: obróbka zgrubna, obróbka wysokowydajna, frezy walcowo-czołowe

Abstract: The paper describes modern methods of roughing machining. On the example of solid carbide endmills, it indicates innovative solutions in their construction. For selected tools from different manufacturers and recommendations for cutting parameters contained in tool catalogs, it presents machining performance calculations. The calculations refer to tools dedicated for universal machining and for HPC high performance machining. The results obtained are the basis for drawing conclusions.

Key words: roughing machining, high performance machining, endmills

Wprowadzenie

Jednym z elementów przewagi konkurencyjnej przedsiębiorstw produkcyjnych oprócz kosztu wytwarzania wyrobu jest czas jego wykonania, który zależy od szeregu czynników wśród których wyróżnić można organizację produkcji, realizowaną technologię wytwarzania oraz posiadane zaplecze produkcyjne w postaci obrabiarek i oprzyrządowania. Aktualna oferta rynkowa w obszarze środków produkcji jest bardzo szeroka. Odnosi się do wszystkich metod wytwarzania. Prezentowane opracowanie odnosi się do jednej z metod obróbki tj. obróbki skrawaniem. W obszarze tym można zaobserwować dynamiczny rozwój materiałów narzędziowych, narzędzi, przyrządów, uchwytów, obrabiarek jak i samych metod obróbki. W odniesieniu do obróbki zgrubnej frezowaniem, obok metod konwencjonalnych można spotkać się z metodami wysokowydajnymi HPC (High Performance Cutting) czy też szybkościowymi HSM (High Speed Machining) [1, 20–23]. Realizacja wymienionych metod wiąże się ze spełnieniem określonych wymagań w stosunku do wykorzystywanych środków. Stąd też w ofercie wielu producentów znajdują się wyroby dedykowane pod określony sposób obróbki [2]. W grupie frezów można wyróżnić narzędzia do zastosowań uniwersalnych, obróbki określonej grupy materiałów, obróbki wysokowydajnej, szybkościowej itp. Każdy z wymienionych sposobów obróbki charakteryzuje się określoną specyfiką. Prezentowane opracowanie ogranicza się do trzpieniowych frezów pełnowęglkowych uniwersalnych oraz HPC przeznaczonych do obróbki zgrubnej. Podejmuje zagadnienia różnorodności zalecanych w katalogach producentów parametrów skrawania

dla narzędzi tego samego typu o podobnym przeznaczeniu oraz ich wpływie na wydajność obróbki.

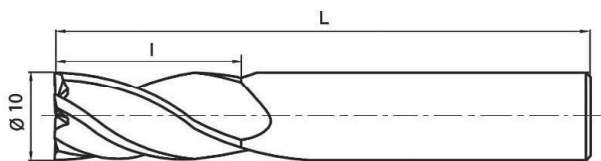
Odmiany obróbki zgrubnej frezowaniem

Istota obróbki zgrubnej skrawaniem polega na szybkim usunięciu dużych ilości materiału przy zachowaniu stosunkowo niskiej dokładności wymiarowej przedmiotu oraz jakości uzyskiwanej powierzchni. Małe wymagania w odniesieniu do dokładności (przeważnie powyżej 12 klasy dokładności) i chropowatości powierzchni (parametr R_a większy od $10 \mu\text{m}$), sprawiają że w obróbce tej stosowane są duże głębokości skrawania i duże posuwy. Przyjmowanie takich parametrów pozwala na dużą wydajność obróbki. W konwencjonalnym podejściu obróbki zgrubnej wyszczególniany jest wariant obróbki rowków, gdzie narzędzie usuwa materiał całą średnicą. Współczesne podejście do obróbki zgrubnej wyszczególnia kolejne warianty tej obróbki, określone udziałem średnicy narzędzia w usuwaniu materiału. Wyróżniana jest obróbka wysokowydajna HPC z udziałem $0,4\text{--}0,15$ średnicy narzędzia w usuwaniu materiału oraz obróbka zgrubna szybkościowa HSM z udziałem $0,15\text{--}0,05$ średnicy narzędzia. Mniejszy udział zaangażowania narzędzia w usuwanie materiału od $0,05$ jego średnicy taktowany jest jako obróbka dokładna. Przy obróbce całą szerokością narzędzia, osiowa głębokość skrawania, ze względu na wytrzymałość narzędzia, najczęściej ograniczona jest do wartości odpowiadającej jego średnicy. Przy mniejszym udziale średnicy narzędzia w usuwaniu materiału osiowe zagłębienie narzędzia może być większe i dochodzi nawet do kilku jego średnic. Sposób obróbki z niewielkim kątem opasania narzędzia przez materiał zaimplementowany

jest w środowisku CAM w strategii trochoidalnej [3]. Mały kąt opasania narzędzia sprawia, że występuje mniejsze wydzielanie ciepła, co sprawia, że narzędzie może pracować z większą prędkością skrawania. Ponadto, przy małym udziale średnicy narzędzia w usuwaniu materiału, dla zapewnienia określonej grubości wióra należy dodatkowo zwiększyć posuw na ostrze. Wymienione czynniki oraz współczesne materiały narzędziowe i stosowane powłoki sprawiają, że narzędzie może pracować z bardzo dużą prędkością obrotową i prędkością posuwu, kwalifikując się do szybkościowych, wysokowydajnych metod obróbki. Realizacja takiego sposobu obróbki narzuca z kolei wymagania dotyczące odpowiedniej konstrukcji i dokładności wykonania narzędzi. Chodzi tutaj o eliminację drgań narzędzi oraz efektywne usuwanie wiórów. Sprostanie tym wymaganiom związane jest z odpowiednią konstrukcją ostrzy frezów, zapewniającą ich zwiększoną wytrzymałość czy też rozdzielanie wiórów, odpowiednią konstrukcją rowków wiórowych zapewniającą odpowiednie odprowadzanie usuwanego materiału. Stosowane jest również nierównomierne rozmieszczenie ostrzy (zmienna podziałka) czy też różne kąty linii śrubowych kolejnych ostrzy narzędzia. W narzędziach dedykowanych pod obróbkę wysokowydajną często zwracana jest uwaga na specjalny gatunek materiału narzędziowego oraz zastosowanej powłoki ochronnej.

Analiza porównawcza katalogowej wydajności narzędzi

Obliczenia wydajności frezowania frezów uniwersalnych oraz wysokowydajnych w zależności od zalecanych parametrów skrawania przeprowadzono dla frezu węglowego powlekanego o geometrii określonej normą DIN6527 z czterema ostrzami o średnicy $\varphi = 10$ mm, całkowitej długości $L = 72$ mm oraz długości części roboczej $l = 22$ mm. Wymienione parametry przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Podstawowe parametry geometryczne frezu
Fig. 1. Basic geometrical parameters of the endmill

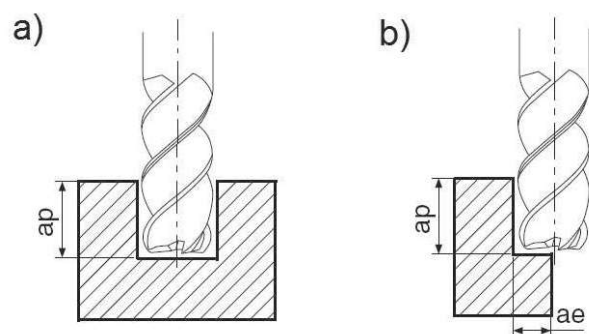
Różnice pomiędzy porównywanymi narzędziami, pochodzącymi od poszczególnych producentów, dotyczyły geometrii ostrza, podziałki, kąta rowków wiórowych, rodzaju węgla oraz zastosowanej powłoki. W prezentowanym opracowaniu nie są one wyszczególniane. Założono, że obróbce będzie poddana stal węglowa C45. Dla każdego narzędzia z katalogów producentów odczytano zalecenia dotyczące takich parametrów jak prędkość skrawania V , posuw na ostrze f_z , promieniowa głębokość skrawania a_e oraz poosiowa głębokość skrawania a_p . Na

podstawie wymienionych parametrów w każdym przypadku obliczono wydajność objętościową frezowania Q z następującej zależności:

$$Q = \frac{a_p * a_e * z * f_z * V}{\pi * d}$$

gdzie: Q – objętość skrawania [cm^3/min], a_p – głębokość skrawania [mm], a_e – szerokość skrawania [mm], z – liczba ostrzy, f_z – posuw na ostrze [mm], V – prędkość skrawania [m/min], d – średnica narzędzia [mm].

Obliczenia wydajności skrawania obliczono dla obróbki całą średnicą narzędzia przy zalecanym przez producentów w katalogach zagłębieniu oraz dla frezowania bocznego zgodnie z parametrami, określonymi w katalogach. Oba przypadki obróbki zilustrowano na rys. 2.



Rys. 2. Warianty obróbki poddane obliczeniom
Fig. 2. Variants of machining subjected to calculations

Z uwagi na fakt, że przeprowadzone obliczenia służą tylko do wskazania różnorodności w wydajności poszczególnych narzędzi, wynikającej z zalecanych parametrów obróbkowych, a nie do celów marketingowych, w prowadzonych analizach nie podano nazw producentów ani symboli narzędzi. W oznaczeniu narzędzia producentom przypisano kolejne litery alfabetu, a wybrane narzędzia o największej wydajności z oferty danego producenta ponumerowano. Ponadto w oznaczeniu narzędzi zawarto literę U lub Q, co informuje o przeznaczeniu danego narzędzia do obróbki uniwersalnej lub wysokowydajnej. Spośród wielu przeanalizowanych katalogów narzędzi [4–19], do analizy wybrano sześciu producentów, którzy w swej ofercie mają zarówno frezy do obróbki uniwersalnej, jak również frezy dedykowane do obróbki wysokowydajnej. Wyniki obliczeń wydajności dla obróbki całą średnicą narzędzia dla narzędzi uniwersalnych oraz dedykowanych do obróbki wysokowydajnej przedstawiono w tab. I i II.

Analizując wartości w tabelach można zauważyć pewne rozbieżności w wydajności skrawania narzędzi uniwersalnych, wynikające z różnic w zaleceniach prędkości skrawania oraz posuwu. Wszyscy producenci zalecają identyczną głębokość skrawania, odpowiadającą średnicy narzędzia. Wyjątek stanowi jedno narzędzie producenta A, przez co i wydajność jest znacząco mniejsza. Odnosząc się do narzędzi wysokowydajnych

Tabela I. Wydajność narzędzi uniwersalnych dla obróbki całą średnicą
Table I. Performance of universal tools for the slotting machining

Narzędzie	V [m/min]	f_z [mm/ostre]	a_e [mm]	a_p [mm]	Q [cm ³ /min]
A1U	120	0,05	10	5	38,22
A2U	140	0,06	10	10	107,01
B1U	130	0,06	10	10	99,36
B2U	130	0,04	10	10	66,24
C1U	125	0,042	10	10	66,88
C2U	125	0,042	10	10	66,88
D1U	150	0,05	10	10	95,54
D2U	160	0,035	10	10	71,34
E1U	100	0,05	10	10	63,69
E2U	100	0,05	10	10	63,69
F1U	175	0,026	10	10	57,96
F2U	130	0,039	10	10	64,59

Tabela II. Wydajność narzędzi wysokowydajnych dla obróbki całą średnicą
Table II. Performance of HPC tools for the slotting machining

Narzędzie	V [m/min]	f_z [mm/ostre]	a_e [mm]	a_p [mm]	Q [cm ³ /min]
A1Q	120	0,1	10	10	152,87
A2Q	120	0,05	10	12	91,72
B1Q	110	0,04	10	10	56,05
B2Q	140	0,04	10	10	71,34
C1Q	270	0,05	10	10	171,97
C2Q	180	0,07	10	10	160,51
D1Q	150	0,05	10	14	133,76
D2Q	145	0,055	10	12,5	126,99
E1Q	186	0,06	10	10	142,17
E2Q	186	0,06	10	10	142,17
F1Q	200	0,05	10	5	63,69
F2Q	250	0,05	10	5	79,62

można zaobserwować znaczący wzrost wydajności, jednak nie we wszystkich przypadkach. Niektóre narzędzia, pomimo przeznaczeniu do obróbki wysokowydajnej, zawierają zalecenia odpowiadające narzędziom uniwersalnym. Wzrost wydajności skrawania wynika przede wszystkim ze zwiększonej prędkości skrawania oraz nieznacznie większego posuwu. W niektórych przypadkach można zaobserwować większą zalecaną głębokość skrawania niż dla narzędzi uniwersalnych. Wyniki obliczeń wydajności dla obróbki bocznej przedstawiono w tab. III i IV.

Obróbka boczna narzędziami uniwersalnymi (tab. III) charakteryzuje się nieznacznie mniejszą wydajnością niż obróbka całą szerokością narzędzia. W zaleceniach widać wyższe wartości prędkości skrawania jak i wyższe wartości posuwu na ostrze. Znacznie częściej aniżeli w obróbce całą szerokością narzędzia występują

większe głębokości skrawania. W przypadku narzędzi wysokowydajnych różnice są bardzo duże. Dotyczą one zarówno zalecanych parametrów obróbki jak i wynikającej z tego wydajności. W porównaniu z narzędziami uniwersalnymi zauważalny jest wzrost prędkości oraz głębokości skrawania, jednak nie we wszystkich przypadkach. Występują narzędzia dla których zalecane parametry odpowiadają parametrom dla narzędzi uniwersalnych.

Podsumowanie

Analizując ofertę rynkową w zakresie narzędzi do obróbki zgrubnej można stwierdzić, że jest ona bardzo szeroka. Uzyskane wyniki wydajności obróbki, bazujące na zaleceniach producentów, także są różnorodne. Porównując zalecane parametry skrawania dla obróbki

Tabela III. Wydajność narzędzi uniwersalnych dla obróbki bocznej
Table III. Performance of universal tools for the roughing machining

Narzędzie	V [m/min]	f _z [mm/ostre]	a _e [mm]	a _p [mm]	Q [cm ³ /min]
A1U	150	0,09	3	10	51,59
A2U	175	0,095	4	10	84,71
B1U	150	0,06	4	10	45,86
B2U	140	0,05	4	15	53,50
C1U	125	0,042	5	15	50,16
C2U	125	0,042	5	15	50,16
D1U	180	0,05	8	10	91,72
D2U	200	0,04	4,5	15	68,79
E1U	100	0,05	4	15	38,22
E2U	100	0,05	4	10	38,22
F1U	175	0,041	3	15	53,17
F2U	130	0,061	3	15	45,46

Tabela IV. Wydajność narzędzi wysokowydajnych dla obróbki bocznej
Table IV. Performance of HPC tools for the roughing machining

Narzędzie	V [m/min]	f _z [mm/ostre]	a _e [mm]	a _p [mm]	Q [cm ³ /min]
A1Q	140	0,1	4	10	71,34
A2Q	145	0,06	4	12	53,20
B1Q	130	0,05	4	10	33,12
B2Q	150	0,04	4	10	30,57
C1Q	350	0,06	4	20	214,01
C2Q	200	0,07	3	20	107,01
D1Q	180	0,05	5,5	15	94,59
D2Q	180	0,075	4	15	103,18
E1Q	196	0,05	5	10	62,42
E2Q	196	0,05	5	10	62,42
F1Q	200	0,05	5	10	63,69
F2Q	250	0,05	5	10	79,62

całą szerokością narzędzia z parametrami dla obróbki bocznej można zauważyć ich wyższe wartości w drugim przypadku. Wynika to z mniejszego kąta opasania narzędzia przez materiał obrabiany a przez to możliwości korekty prędkości skrawania i posuwu. To samo zjawisko obserwowane jest dla narzędzi wysokowydajnych. Zestawiając z kolei narzędzia wysokowydajne z uniwersalnymi w większości przypadków widać wzrost wydajności obróbki. W niektórych przypadkach, pomimo dedykacji narzędzi pod obróbkę HPC, zalecane parametry są porównywalne z parametrami dla narzędzi uniwersalnych. Bazując tylko na zaleceniach można stwierdzić, że może to być działanie marketingowe. Podsumowując należy jeszcze zauważyć, że na wydajność obróbki istotny wpływ wywiera prędkość skrawania. Ma ona również istotny wpływ na trwałość ostrza narzędzia. W przypadku analizowanych danych

zalecane prędkości skrawania są różne, zaś w katalogach brakuje informacji na temat okresu trwałości ostrza [24]. Jest to istotny parametr zwłaszcza w analizie kosztów obróbki. Bez tej informacji obliczona wydajność może być wysoka, jednak trwałość narzędzia niska i odwrotnie. Tak więc okres trwałości ostrza powinien być również podawany w katalogach przy zaleceniach dotyczących parametrów obróbki. Informacje te pokazywałyby pełny obraz opłacalności wykorzystywania narzędzi danego producenta.

LITERATURA

- [1] Burek J., M. Płodzień. 2012. „Wysoko wydajna obróbka części ze stopów aluminium o złożonych kształtach”. *Mechanik* (7).
- [2] Guhring. 2014. „Frezowanie wysoko wydajne frezami Ratio”. *Mechanik* (4).

- [3] Jóźwik J., M. Kobyłka. 2011. „Badanie wpływu parametrów geometrycznych kieszeni prostokątnej oraz warunków realizacji procesu skrawania na drgania podczas frezowania trochoidalnego”. *Postępy Nauki i Techniki* (8).
- [4] Katalog narzędzi skrawających BEWE
- [5] Katalog narzędzi skrawających FANAR
- [6] Katalog narzędzi skrawających FENES
- [7] Katalog narzędzi skrawających FRAISA
- [8] Katalog narzędzi skrawających FRANKEN
- [9] Katalog narzędzi skrawających GUHRING
- [10] Katalog narzędzi skrawających KYOCERA
- [11] Katalog narzędzi skrawających MAYKESTAG
- [12] Katalog narzędzi skrawających MITSUBISHI
- [13] Katalog narzędzi skrawających PAFAMA
- [14] Katalog narzędzi skrawających PROCUTTER
- [15] Katalog narzędzi skrawających RUKO
- [16] Katalog narzędzi skrawających SANDVIK
- [17] Katalog narzędzi skrawających SECO
- [18] Katalog narzędzi skrawających WALTER
- [19] Katalog narzędzi skrawających VAN HOORN
- [20] Kuczmaszewski J. 2011. „Efektywność wytwarzania elementów lotniczych ze stopów aluminium i magnezu”. „Komputerowo zintegrowane zarządzanie”. Praca pod red. Knosala R. Oficyna Wyd. PTZP. t. 2.
- [21] Oczos K.E. 2002. „Rozwój innowacyjnych technologii ubytkowego kształtowania materiałów”. Cz. 1. Obróbka skrawaniem. *Mechanik* (8–9)
- [22] Pieśko P., I. Zagórski. 2011. „Analiza porównawcza metod frezowania HSM, HPC oraz frezowania konwencjonalnego wysokokrzemowych stopów aluminium”. *Postępy Nauki i Techniki* (7).
- [23] Poradnik Obróbki skrawaniem. Garant 2010.
- [24] Przybyłski L. 2000. „Strategia doboru warunków obróbki współczesnymi narzędziami”. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej.

dr hab. inż. Leszek Skoczylas – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, Al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: lesko@prz.edu.pl

dr Krystyna Skoczylas – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, Al. Powstańców Warszawy 8, 35-959 Rzeszów, e-mail: kszfb@prz.edu.pl