

# Frezotoczenie – hybrydowa obróbka skrawaniem

MAREK POTRZEBSKI, MICHAŁ STYP-REKOWSKI, PIOTR ŚWIĄTEK

W artykule w sposób syntetyczny przedstawiono frezotoczenie – niezbyt popularną ciągle metodę obróbki skrawaniem. Jest to obróbka hybrydowa stanowiąca połączenie tradycyjnych obróbek toczenia i frezowania. Przedstawiono jej zalety i wady. Przedstawiono także wyniki badań eksperymentalnych, które potwierdziły dużą przydatność frezotoczenia w praktyce przemysłowej. Jej pozytywną cechą jest wyraźnie większa efektywność obróbki w porównaniu do obróbek tradycyjnych, negatywną zaś – mniejsza dokładność. Ogranicza to w pewnym stopniu jej zastosowanie.

## Wprowadzenie

Obróbka skrawaniem ciągle jest techniką najczęściej stosowaną w różnych procesach wytwarzania w znakomitej większości gałęzi przemysłu maszynowego. Różne źródła podają zróżnicowane wartości udziału tej techniki w procesach wytwórczych w przemyśle maszynowym, lecz zawsze jest on większy niż 50%. Zaletami tej techniki są:

- dokładność i powtarzalność obróbki,
- duża wydajność i związana z nią efektywność procesów wytwarzania,
- możliwość obróbki nawet złożonych kształtów,
- bardzo duży (prawie nieograniczony) zbiór obrabianych tworzyw konstrukcyjnych,
- niewielkie obciążenie środowiskowe.

Należy zauważyć, że wymienione zalety uwarunkowane są poprawnym przygotowaniem i realizacją procesu obróbki [1].

Podstawową, ujemną cechą obróbki skrawaniem jest powstawanie stosunko-

wo dużej ilości odpadów, które mogą być wykorzystane jedynie w procesach metalurgicznych.

Wymienione cechy obróbki skrawaniem powodują, że obserwujemy jej ciągły rozwój, w którym wyróżnić można dwa kierunki. Pierwszy z nich to doskonalenie narzędzi skrawających oraz obrabiarek, dzięki czemu obróbka może być realizowana efektywniej – z większymi wartościami parametrów technologicznych, na obrabiarkach, które takie parametry mogą osiągać. W wyniku wdrażania innowacji w pierwszym z wymienionych kierunków ostrza skrawające wykonuje się obecnie z coraz lepszych tworzyw konstrukcyjnych, np.: węgliki spiekane, ceramika techniczna, cermetale, które dodatkowo pokrywa się powłokami zwiększającymi trwałość narzędzi. Drugi z kierunków to opracowanie nowych metod obróbki. Wyraźnie widoczny w tym zakresie jest rozwój metod hybrydowych, w których podstawowy proces skrawania wspomagany jest innym rodzajem energii, np. laserowe wspomaganie procesu toczenia. W tym zakresie możliwe jest wspo-

maganie podstawowego procesu takim samym rodzajem energii w wyniku czego obróbka jest bardziej wydajna, np. nagniatanie powierzchni przed toczeniem, lub realizowanie innego sposobu obróbki skrawaniem [7].

## Istota frezotoczenia, jego rodzaje i odmiany

Jednym z przykładów takiej hybrydowej obróbki skrawania jest frezotoczenie, zwane także frezowaniem obrotowym. Jest to proces obróbki skrawaniem, podczas którego przedmiot obrabiany i narzędzie skrawające wykonują ruchy obrotowe.

Parametrami technologicznymi, które określają ruch narzędzia i przedmiotu obrabianego, są [2, 3]:

- prędkość skrawania  $v_c$ , [m/min],
- posuw narzędzia  $f_n$ , w tym:
  - obwodowy na jedno ostrze  $f_z$ , [mm/ostrze],
  - osiowy – wzdłużny  $f_w$ , [mm/obrót],
  - poprzeczny – promieniowy  $f_r$ , [mm/obrót],
- styk wgłębny krawędzi skrawającej  $a_p$ , [mm],
- szerokość frezowania  $B$ , [mm].

\* Mgr inż. Marek Potrzebski, Maweld Nowa Wieś Wielka, prof. dr hab. inż. Michał Styp-Rekowski, Bydgoska Szkoła Wyższa, e-mail: m.styprekowski@wp.pl, mgr inż. Paweł Świątek, Świątek Lech Świątek, Bydgoszcz.

Jako ruch główny w procesie frezotoczenia przyjmuje się ruch obrotowy narzędzia skrawającego. Jego prędkość – prędkość skrawania  $v_s$ , jest podstawową wielkością w procesie optymalizacji warunków skrawania. Jest ona wypadkową trzech prędkości:

- obrotowej narzędzia  $v_N$ , [obr/min],
- obrotowej obrabianego przedmiotu  $v_{PO}$ , [obr/min],
- posuwu narzędzia lub przedmiotu obrabianego  $f_{N(PO)}$ , [mm/obr].

Fakt, że prędkość skrawania zależy od prędkości obrotowej narzędzia stanowi istotną zaletę tego rodzaju obróbki skrawaniem, gdyż umożliwia to obróbkę przedmiotów niewyważonych lub wykonanych z materiałów trudnoobrabialnych z dużymi prędkościami.

Ze względu na wzajemne położenie osi przedmiotu obrabianego i narzędzia wyróżnić można dwa sposoby frezotoczenia, rys. 1:

- osiowo-równoległe (walcowe) – podczas obróbki oś narzędzia (N) jest równoległa do osi przedmiotu obrabianego (PO),
- ortogonalne (czołowe) – oś narzędzia frezu w czasie obróbki jest prostopadła do osi PO.

Pierwszym z wymienionych sposobów można obrabiać powierzchnie zewnętrzne i wewnętrzne, natomiast drugim – tylko powierzchnie zewnętrzne.

Obróbkę powierzchni zewnętrznych frezotoczeniem walcowym można realizować ze stykiem zewnętrznym ostrzy narzędzia lub ze stykiem wewnętrznym, lecz w tym drugim przypadku do obróbki niezbędna jest specjalna głowica frezowa. W obróbce powierzchni wewnętrznych wyróżnić można dwie jej odmiany:

- przedmiot obrabiany jest nieruchomy, a obracający się frez wykonuje ruch obrotowy,
- przedmiot obrabiany oraz narzędzie wykonują ruch obrotowy.

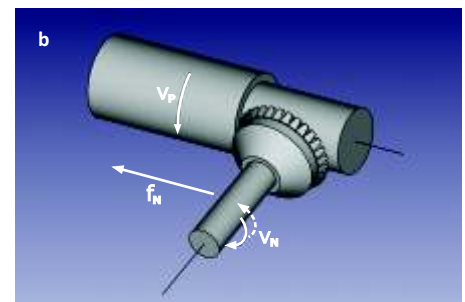
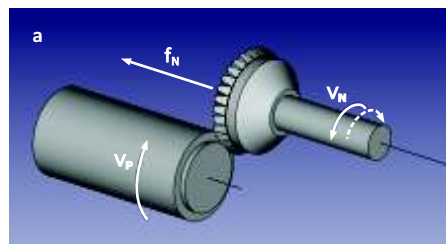
Obróbkę frezowania obrotowego czołowego można prowadzić trzema odmianami różniącymi się posuwem narzędzia:

- z posuwem poprzecznym w stosunku do PO,
- z posuwem stycznym do PO,
- z posuwem równoległym do osi PO.

W ostatniej odmianie wyróżnić można centryczny i mimośrodowy wariant obróbki. W pierwszym z nich osie frezu i PO leżą w jednej płaszczyźnie, w drugim – oś narzędzia przesunięta jest w stosunku do osi obrabianego przedmiotu (w górę lub w dół). Przy frezowaniu centrycznym możliwa jest zmiana parametrów technologicznych: prędkości obrotowe zarówno N jak i PO oraz posuw, w bardzo dużym zakresie. Stosując skrajne wartości tych parametrów, np. duże  $v_N$ , bardzo małe  $v_{PO}$  i duży  $f_N$  uzyskuje się dobrą jakość obrabianej powierzchni, tzn. powierzchnię anizotropową o małych wartościach parametrów chropowatości [5, 6].

Ponadto, analogicznie do frezowania, można wyróżnić dwie odmiany frezotoczenia – rys. 1:

- obróbkę współbieżną – gdy kierunki ruchu obrotowego i narzędzia są zgodne,
- przeciwbieżną – gdy kierunki te są przeciwne.



Rys. 1. Obróbka frezotoczeniem: a) osiowo-równoległa, b) ortogonalna; linią ciągłą oznaczono ruchy posuwowe narzędzia  $f_N$  w odmianie współbieżnej, a linią przerywaną – w odmianie przeciwbieżnej

W zależności od potrzeby, obracające się narzędzie może przemieszczać się po torze równoległym do osi obrabianego przedmiotu lub wykonywać ruch posuwowy wgłębny.

Nieciągłość skrawania każdego z ostrzy – charakterystyczna cecha procesu frezowania, a więc i frezotoczenia – sprawia, że obciążenie cieplne ostrzy skrawających przy frezotoczeniu jest znacznie mniejsze niż przy toczeniu przy tej samej wydajności. W odróżnieniu do noża tokarskiego, który podczas toczenia jest w ciągłym kontakcie z materiałem przedmiotu, ostrza frezu są w kontakcie cyklicznym, wcinając się kolejno w obra-

biany element, w wyniku czego powstaje duża ilość krótkich wiórow. Następuje więc skrócenie jednostkowej drogi tarcia, co stwarza lepsze warunki chłodzenia w strefie obróbki.

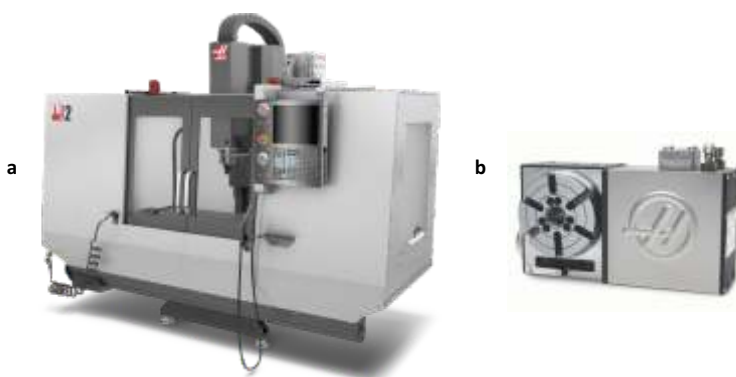
Dzięki dużemu zakresowi możliwych do stosowania parametrów obróbki, frezowaniem obrotowym można realizować zarówno obróbkę zgrubną jak i wykończeniową. Zastosowanie odpowiednich narzędzi, obrabiarek i optymalnych parametrów roboczych powoduje, że w rezultacie można uzyskać jakość powierzchni, która w wielu przypadkach eliminuje konieczność dalszej obróbki wykończeniowej.

Istotne jest także to, że realizacja obróbki frezotoczeniem nie wymaga specjalnych obrabiarek. Możliwa jest ona na przykład na typowej frezarce wyposażonej w stół obrotowy – rys. 2. Można realizować ją także na sterowanych numerycznie frezarsko-tokarskich centrach obróbkowych.

Obok licznych zalet, obróbka frezotoczeniem ma również dość istotną wadę. Są nią odchyłki kształtu powierzchni obrobionych, mierzone w kierunku obwodowym i wzdłużnym. Uwarunkowane są one kinematyką i dynamiką procesu skrawania. Przerwany proces skrawania podczas frezotoczenia jest przyczyną powstawania odchyłek nominalnego zarysu powierzchni przedmiotu obrabianego.

Topografia powierzchni obrobionej frezotoczeniem, a więc jej jakość, zależy od wielu czynników, z których najistotniejszymi są:

- sztywność układu OUPN,



Rys. 2. Frezarka (a) i stół obrotowy (b) – zestaw niezbędny do realizacji obróbki frezotoczeniem

- wartość parametrów technologicznych (posuw na jedno ostrze, stosunek prędkości obrotowych narzędzia i przedmiotu obrabianego, posuw wzdłużny),
- geometria ostrza skrawającego,
- liczba ostrzy narzędzia,
- dokładność ustawienia ostrzy skrawających w kierunku osiowym i obwodowym (bicie osiowe i promieniowe),
- ustawienie narzędzia względem przedmiotu obrabianego (mimośrodowość, odchylenie osi frezu od prostopadłości do osi przedmiotu).

Ortogonalne frezotoczenie może generować dwa rodzaje odchyłek makrogeometrii [6]:

- charakterystyczne uskoki (fazy) w kierunku obwodowym, spowodowane cyklicznie przerywanym skrawaniem,
- pewnego rodzaju „fala” w kierunku wzdłużnym.

Drugi z wymienionych rodzajów odchyłki makrogeometrii – wzdłużna fala, może występować w dwóch formach. Pierwsza z nich powstaje, gdy czołowa krawędź skrawająca styka się na małej długości z powierzchnią obrobioną przedmiotu podczas jego obrotu, natomiast druga jest wynikiem obróbki przy posuwie wzdłużnym o wartości większej niż długość rzutu czołowej krawędzi skrawającej na kierunek osi wzdłużnej przedmiotu.

Przy frezotoczeniu osiowo-równoległym mogą ponadto powstawać odchyłki kształtu w kierunku obwodowym i wzdłużnym, których przyczyną może być niewłaściwy dobór parametrów obróbki. Na wartość obydwóch rodza-

jów odchyłek wpływ ma stan głównej krawędzi skrawającej.

### Badania eksperymentalne frezotoczenia

Z przedstawionych wyżej informacji wynika, że efekty obróbki frezotoczeniem zależą od licznego zbioru czynników. Poniżej przedstawiono rezultaty badań tego rodzaju obróbki skrawaniem, w których uwzględniono czynnik energetyczny, bezpośrednio determinujący jej efektywność oraz geometryczny, który z kolei świadczy o jakości.

Na rys. 3, przedstawiono rezultaty badań porównawczych obróbki frezotoczeniem z obróbką toczeniem. Energia niezbędna do uzyskania porównywalnych efektów jest w przypadku frezotoczenia wyraźnie mniejsza (~40%) w porównaniu do dwuetapowego toczenia.

W tym ujęciu łączna energia niezbędna do realizacji toczenia zgrubnego i wykończeniowego jest sumą tych dwóch składowych. Inaczej jest w przypadku energii jednostkowej. Obliczona energia jednostkowa odniesiona do jednostki objętości, dla frezotoczenia jest także wyraźnie mniejsza, co przedstawiono na rys. 4.

W prezentowanym na rys. 4 wykresie energię jednostkową łączną dla toczenia obliczono korzystając ze standardowych zależności [9], a więc:

$$\varepsilon = E/V \tag{1}$$

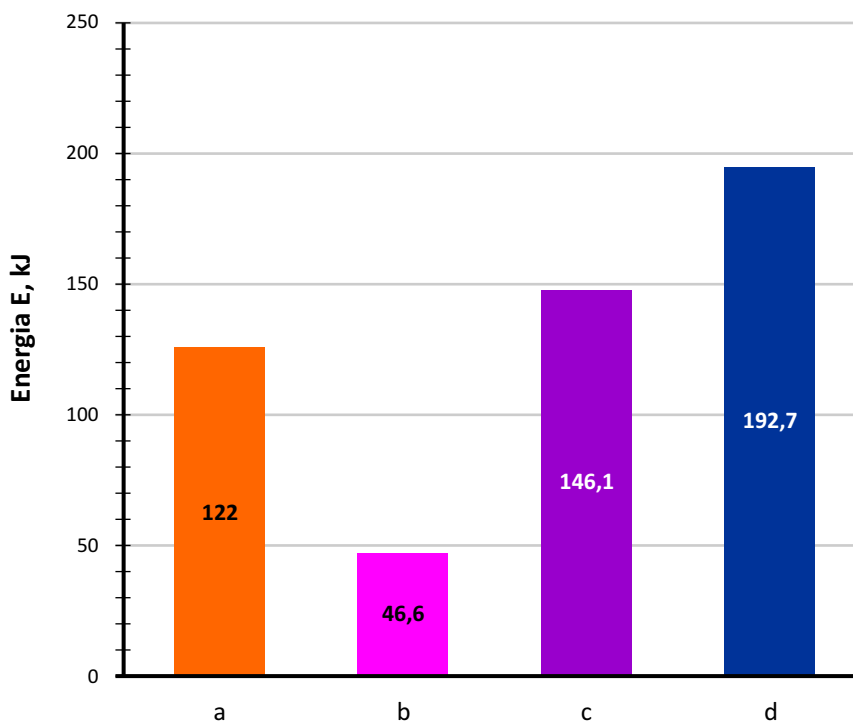
oraz

$$V_T = V_{Tz} + V_{Tw} \tag{2}$$

w których:

$V$  – objętość usuniętego nad-datku,

$V_T$  – łączna objętość naddatku usunięta podczas toczenia,



Rys. 3. Energia E niezbędna do usunięcia takiego samego naddatku za pomocą: a – frezotoczenia, b – toczenia zgrubnego (Tz), c – toczenia wykończeniowego (Tw), d – toczenia łącznie (T) [4]

$V_{Tz}$  – objętość naddatku usuniętego podczas toczenia zgrubnego,

$V_{Tw}$  – objętość naddatku usuniętego podczas toczenia wykończeniowego.

W prezentowanych badaniach porównano także czasy realizacji tych operacji obróbki skrawaniem. Ich wyniki przedstawiono na rys. 5.

Także w tym przypadku rezultaty porównania były korzystniejsze dla frezotoczenia. Czas tej obróbki był ok. 20% mniejszy niż dla dwuetapowego toczenia.

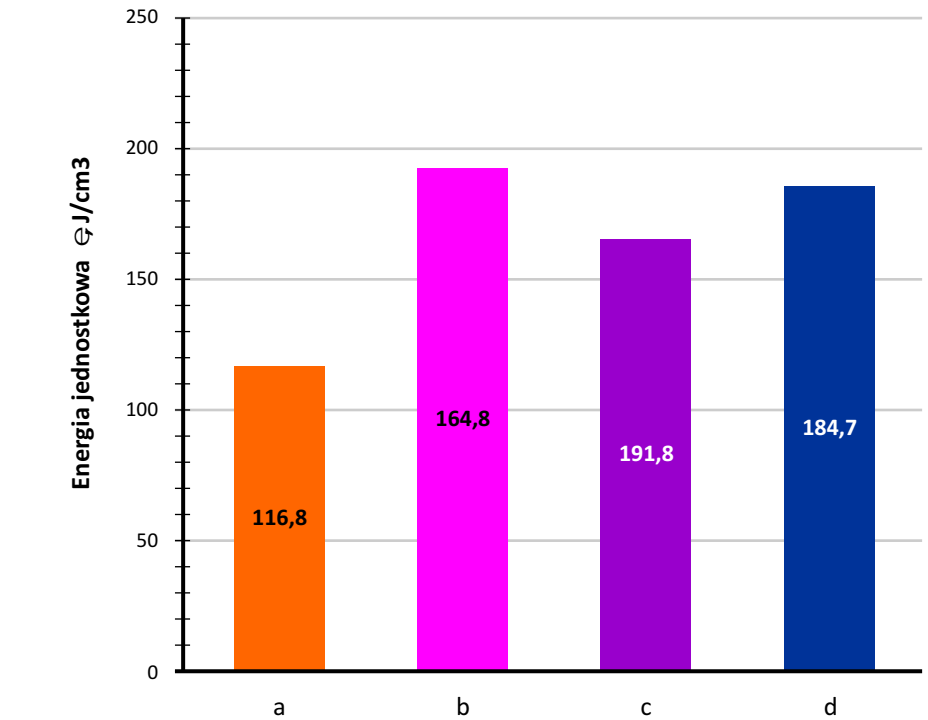
Badania prezentowane na powyższych wykresach – rys. 3÷5, realizowane były w typowych warunkach. Obrabiana była stal C45 w stanie normalizowanym, narzędziami z ostrzami z węglików spiekanych z powłoką TiN, prędkość skrawania wynosiła dla: frezotoczenia  $v_{Fr} = 390$  mm/min, dla toczenia zgrubnego  $v_{Tz} = 260$  m/min, dla toczenia wykończeniowego  $v_{Tw} = 230$  m/min. Pozostałe parametry i warunki obróbki podane są w pracy [4].

W kolejnych badaniach frezotoczenia określono zależność: czasu obróbki  $t$ , obciążenia wrzeciona  $P_w$  oraz odchyłkę wymiarową  $\Delta d$  obrabianego wymiaru, od podstawowego parametru technologicznego – prędkości skrawania  $v_s$ . Uzyskane w tych badaniach wyniki przedstawiono na kolejnych wykresach – rys. 6 i 7

Na podstawie wykresów przedstawionych na rys. 6 stwierdzić można, że prędkość skrawania w istotny sposób wpływa na czas obróbki.

Zauważyć przy tym można, że przy posuwie  $f_w = 0,20$  mm/obr, zwiększenie prędkości z 80 m/min do 150%, a więc o ok. 90%, spowodowało skrócenie czasu obróbki jedynie o ok. 25%. W przypadku posuwu  $f_w = 0,35$  mm/obr., stwierdzono jedynie 12% zmniejszenie czasu obróbki.

Inny wpływ stwierdzono obserwując zmiany obciążenia wrzeciona  $P_w$ . Obserwowano je na wyświetlaczu miernika, w który wyposażona była tokarka. Początkowo zwiększenie prędkości skrawania  $v_s$  zmniejszyło obciążenie wrzeciona lecz bardzo nieznacznie (ok. 1% dla  $f_w = 0,2$  mm/obr. i ok. 9% dla  $f_w = 0,35$  mm/obr.), a następnie spowodowało szybszy, lecz także z niewielkim gra-

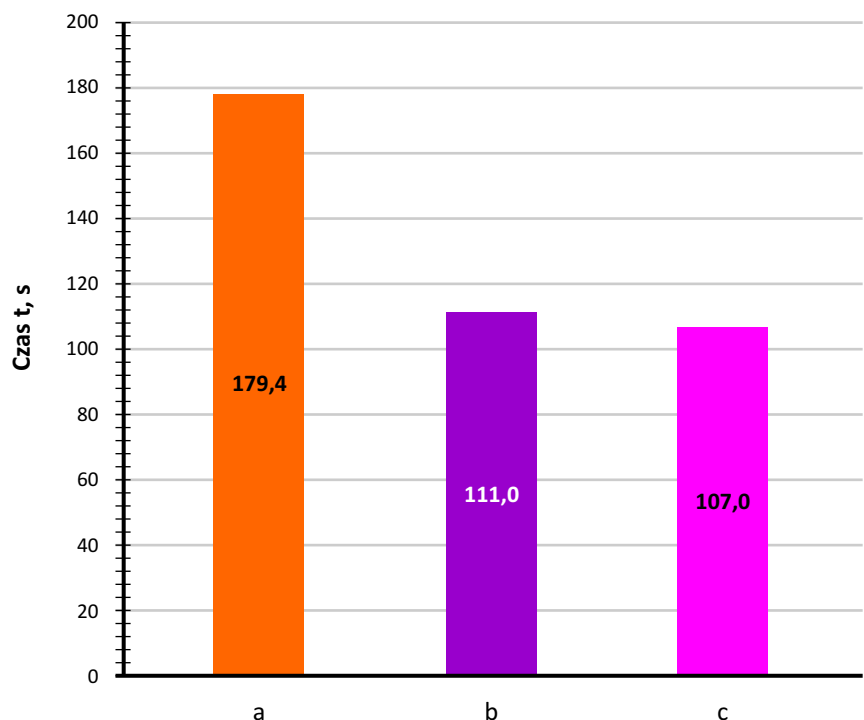


Rys. 4. Jednostkowa energia  $\epsilon$  niezbędna do realizacji różnych rodzajów obróbki skrawaniem: a – frezotoczenie, b – toczenie zgrubne, c – toczenie wykończeniowe, d – toczenie łączenie [4]

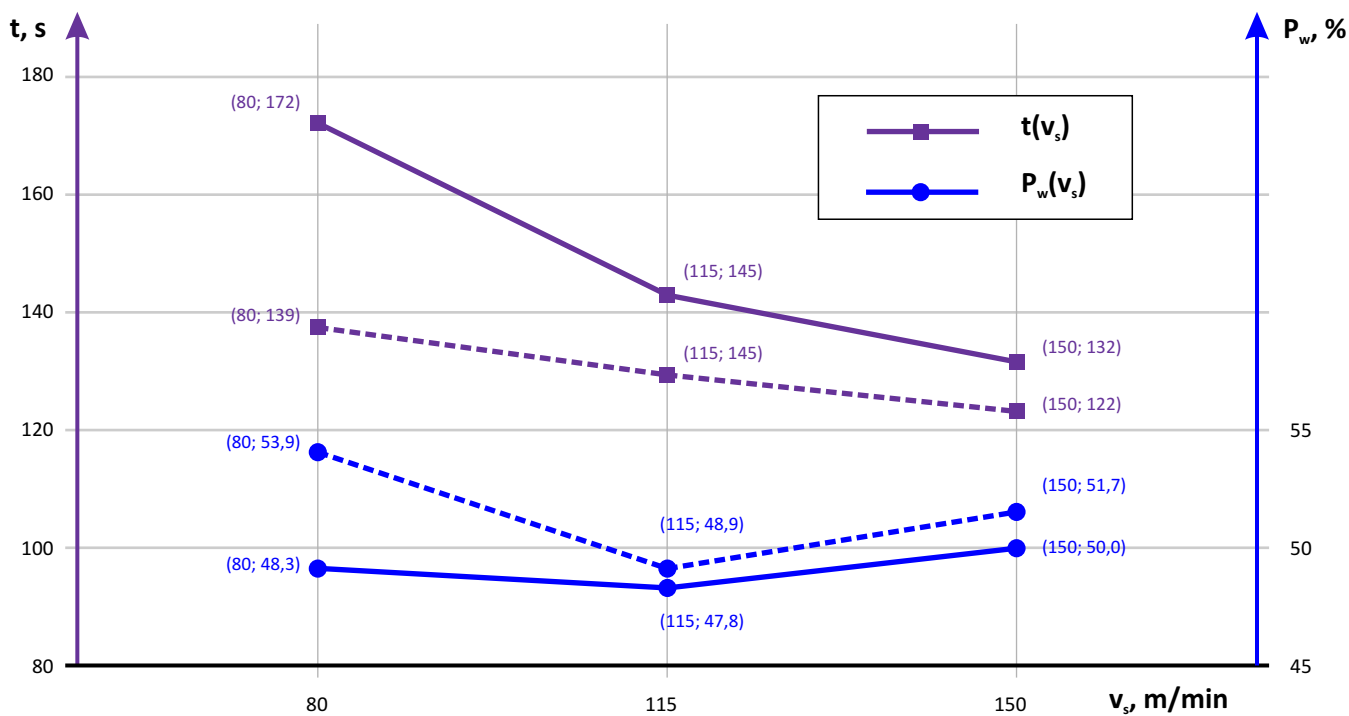
dientem, jego wzrost (ok. 5% dla  $f_w = 0,2$  mm/obr. i ok. 6% dla  $f_w = 0,35$  mm/obr.).

Bardzo podobny obraz zmienności zaobserwowano dla badań wpływu

prędkości skrawania  $v_s$  na dokładność obróbki  $\Delta d$ , którą zdefiniowano jako maksymalną odchyłkę od wymiaru nominalnego. Wyniki badań w tym zakresie przedstawiono na rys. 7.



Rys. 5. Zestawienie czasów obróbki  $t$  tych samych powierzchni różnymi rodzajami obróbki skrawaniem: a – frezotoczeniem, b – toczeniem zgrubnym, c – toczeniem wykończeniowym, [4]

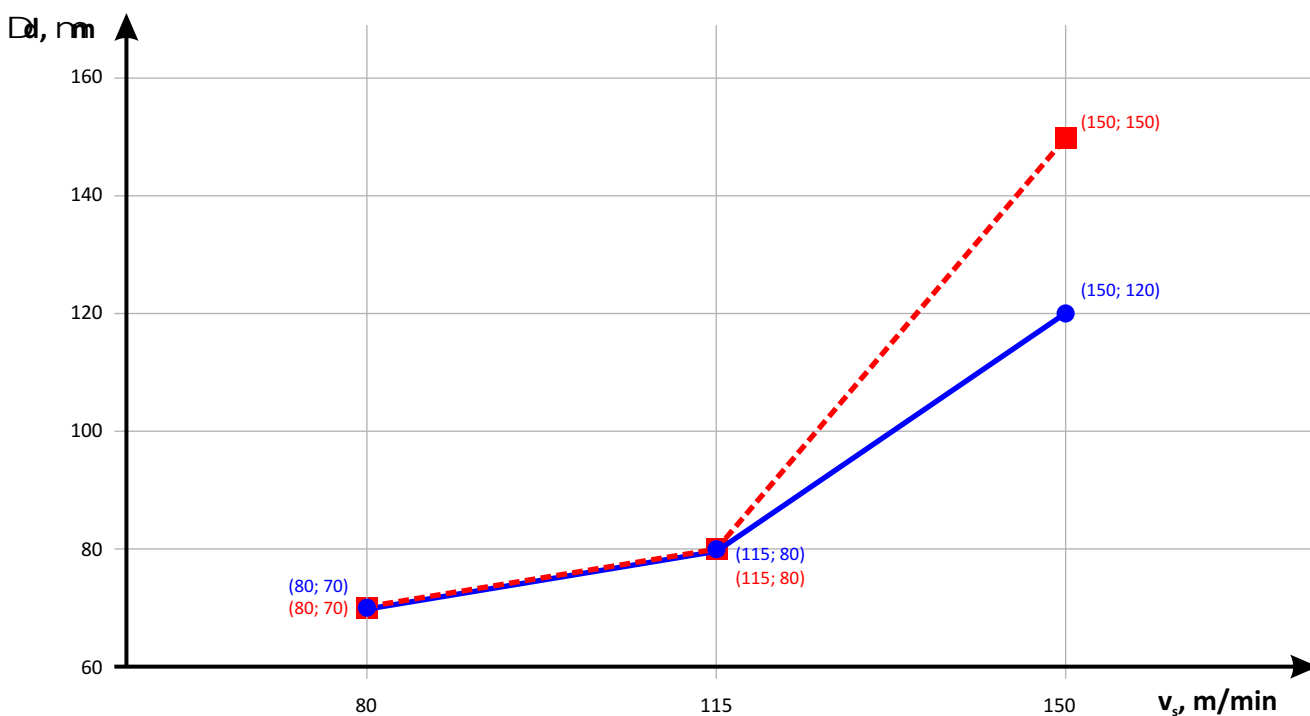


Rys. 6. Wpływ prędkości skrawania  $v_s$  na czas obróbki  $t_s$  i obciążenie wrzeciona  $P_w$ ; linia ciągła – posuw  $f_w = 0,20$  mm/obr., linia przerywana posuw  $f_w = 0,35$  mm/obr. [8]

Zmiana prędkości skrawania w pierwszym zakresie nie powodowała praktycznie zmiany dokładności obróbki i dotyczyło to obydwóch prędkości posuwu, natomiast zmianie prędkości w drugim

przedziale towarzyszyła zmiana dokładności obróbki. Zwiększenie prędkości skrawania powodowało pogorszenie tej dokładności, a zmiany były zróżnicowane:

- dla posuwu  $f_w = 0,20$  mm/obr. wartość mierzonej odchyłki zwiększyła się o 50%,
- dla posuwu  $f_w = 0,35$  mm/obr. zwiększyła się ona o prawie 90%.



Rys. 7. Dokładność obróbki  $\Delta d$  frezotoczeniem w funkcji prędkości skrawania  $v_s$ ; linia ciągła – posuw  $f_w = 0,20$  mm/obr., linia przerywana posuw  $f_w = 0,35$  mm/obr. [8]

Warunki i parametry badań w tym zakresie zawarte są w opracowaniu [8], przy czym należy dodać, że badania te przeprowadzone były w warunkach przemysłowych, które przyjęte parametry technologiczne i warunki obróbki pozytywnie zweryfikowały.

**Podsumowanie**

Przeprowadzone badania eksperymentalne potwierdziły informacje literaturowe. Efekty obróbki tą niezbyt popularną metodą obróbki skrawaniem zależą od wielu czynników, zatem prezentowane powyżej wyniki badań eksperymentalnych rozszerzają wiedzę o nowy zakres czynników: materiałowych, technologicznych i organizacyjnych, a wykorzystanie ich w praktyce warsztatowej podkreśla aplikacyjność badań.

Na podstawie przeprowadzonych badań można ponadto stwierdzić, że obróbka frezotoczeniem lub tłumacząc z j. angielskiego frezowaniem obrotowym jest przydatna w wielu praktycznych zasto-

sowaniach, gdyż przewyższa inne metody i sposoby obróbki skrawaniem głównie w zakresie ich efektywności.

**Literatura**

[1] Grzesik W.: *Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych*, wyd. 3.WNT Warszawa 2018.

[2] Merkel P.: *Schleifqualität in einem Schnitt. Hochgeschwindigkeits – Drehfräsen steigert Produktivität*. Industrie Anzeiger, No. 112/1990, pp. 565-570.

[3] Oczos K.: *Szybkościowe frezotoczenie*, Mechanik, nr 1–2/1990, s. 13-14.

[4] Potrzebski M.: *Research of energy consumption index during rotating milling process in industrial conditions*. Proceedings of conference "APE 2007", Warsaw 2007, pp. 104-110.

[5] Schulz H., Kneisel T.: *Turn Milling of Hardened Steel – an Alternative to Turning*. CIRP Annals vol.43, Issue 1, 1994, pp.93-96.

[6] Schulz H., Sahn D.: *Technologie des orthogonalen Hochgeschwindigkeitsdrehfräsen*, „WT – Production und Management“, No. 85/1995, pp. 78-82.

[7] Styp-Rekowski M.: *Obróbki hybrydowe i nietradycyjne jako uzupełnienie zbioru technik wytwarzania skoncentrowanymi nośnikami energii*. w: Styp-Rekowski M. (red.): *Wybrane zagadnienia obróbek skoncentrowaną wiązką energii* Wydawnictwo Bydgoskiego Towarzystwa Naukowego, Bydgoszcz 2003, s. 213-216.

[8] Świątek P.: *Optymalizacja procesu frezotoczenia wałka krzywkowego*. Akademia Techniczno-Rolnicza, Wydział Inżynierii Mechanicznej – praca dyplomowa II st., Bydgoszcz 2010 (niepublikowane).

[9] Żebrowski H.: *Konstituowanie technologicznej warstwy wierzchniej w procesie toczenia z podwyższonymi prędkościami*. Mechanik, nr 11/1998, s. 768-770. ■

reklama




Stale  
o PRZEMYŚLE



narzedziownia.org

Portal branży narzędziowej

Baza firm
Katalog produktów
Wiadomości
Księgarnia
Reklama







Zostaw nam swoją ofertę  
Daj się znaleźć...

Skontaktuj się z nami:

www.metale.org  
e-mail: redakcja@metale.org  
85-766 Bydgoszcz, ul. Fordońska 393  
tel. 52 343 73 35, fax 52 561 02 37



Newsletter



Ogłoszenia



Video



Firmy



Kooperator