

Identyfikacja trwałości poszczególnych ostrzy w głowicy frezowej

Durability identification of individual inserts used in the face milling cutter

ŁUKASZ ŻURAWSKI
BORYS STORCH*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.2.17>

Celem pracy było przeprowadzenie prób frezowania ostrzami z węglików spiekanych i identyfikacja przebiegu zużycia każdego z ostrzy w narzędziu wieloostrzowym. Przyjęta hipoteza o współbieżnym zużywaniu się ostrzy w warunkach, gdy wszystkie istotne czynniki technologiczne i fizyczne są ustalone, została zweryfikowana eksperymentalnie. Zmierzona chropowatość powierzchni obrabianej posłużyła do oceny założonej hipotezy.

SŁOWA KLUCZOWE: frezowanie, zużycie ostrza, głowica frezowa, płytka wymienna

In this work, the milling process realizing by carbide inserts along with durability identification of each of individual inserts fixed in the cutting inserts-based multiple tool has been presented. The adopted hypothesis about a concurrent wear of the inserts, under conditions in which the relevant technological and physical factors were set, has been verified experimentally. The verification was based on analysis of workpiece surface roughness.

KEYWORDS: milling, wear, face milling cutter, insert

Stosowane w przemyśle systemy monitorujące narzędzia na bieżąco, online, nie umożliwiają identyfikacji stanu ich zużycia. Stąd potrzeba przeprowadzenia opisanych badań, które są krokiem na drodze do stworzenia bezpośrednich systemów aktywnej kontroli stanu narzędzia podczas pracy na obrabiarce. Wskazanie stanu zużycia każdego ostrza ułatwiłoby ocenę jego przydatności do dalszej pracy [1, 2, 6].

Cel, zakres i metodyka badań

W pracy wskazano dwa podstawowe cele:

- zbadanie zużycia ostrzy, które wykaże, czy zużycie kompletu płytek wymiennych głowicy frezowej ma zdeteminowany przebieg,
- ocenę wpływu czasu pracy głowicy frezowej na wyznaczone parametry chropowatości.

Porównanie danych z tych dwóch źródeł potwierdzi lub wykluczy znaczenie zużywania się ostrzy w procesie frezowania.

Wykorzystano cyfrowe zapisy optycznie pozyskiwanych obrazów. Pozwalały one na wyznaczenie przebiegów zużycia na powierzchni przyłożenia poszczególnych ostrzy. Po złożeniu obrazów narastającego zużycia według przyjętej metodyki i ich porównaniu z widoczną skalą wzorca wyznaczono wartości wytarcia VBb_{smax} dla ostrzy na powierzchni dogładzającej Ab_s [1, 3]. Pomiar powtarza-

no pięciokrotnie, aby uzyskać wartości uśrednione, które wykorzystano do opracowania wykresów zależności zużycia ostrzy VBb_{smax} i drogi skrawania L_s . Droga skrawania była zmienna dla trzech przebadanych prędkości posuwu v_f względem przyjętej granicy dopuszczalnego zużycia ostrza.

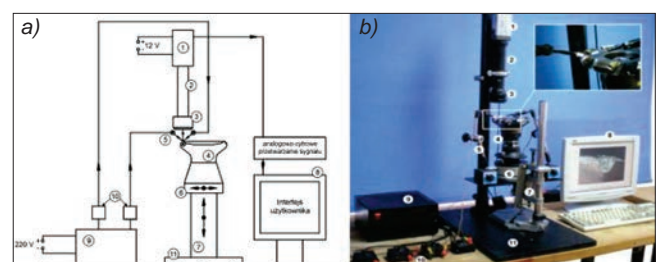
Aby przedstawić wyniki przebiegów zużycia dla każdego z ośmiu ostrzy, zastosowano metodę unormowania wyznaczonych wartości. Istota normowania polegała na tym, że najdłuższej drodze skrawania L_s i największemu zużyciu VBb_{smax} przypisywano wartość 100%. Otrzymane w ten sposób wykresy ilustrują przebiegi zużycia w funkcji drogi w zakresie ich zmian 100% na 100%.

Porównywano wartości bieżące zużycia dla każdego z ośmiu naroży przy dopuszczalnym kryterium zużycia ostrza $VBb_{smax} = 0,4$ mm. Wyznaczane w ten sposób procentowe przyrosty zużycia nanoszono na oś rzędnych na wykresach. Przebiegi unormowanych udziałów procentowych pokazano na rys. 3b, 4b oraz 5b.

Przyjęto, że unormowanie wyników pozwoli na uproszczenie monitorowania procesu zużycia ostrza i chropowatości powierzchni na każdym etapie pracy ostrzy skrawających w głowicy frezowej. Od dziesiątków lat szukano takiego sposobu przedstawienia przebiegów zużycia naroży, który by ułatwiał podjęcie decyzji o dalszym skrawaniu lub zatrzymaniu procesu. Założono, że procesy zużycia zachodzące jednocześnie na każdej krawędzi skrawającej w narzędziu wieloostrzowym z uwzględnieniem bicia osiowego ostrzy przy niezmiennych warunkach skrawania są podobne. Oczekiwano, że unormowanie wyników pozwoli na wyciąganie ważnych wniosków dotyczących zjawisk przykrawędziowych dla ostrzy skrawających w narzędziach wyposażonych w kilka lub wiele płytek wymiennych.

Stanowisko badawcze

Badania wstępne skłoniły do przygotowania stanowiska badawczego przeznaczonego do monitorowania zużycia ostrza (rys. 1a–b). Stanowisko wyposażono w system komputerowy i elektroniczne mechanizmy metrologiczne z możliwością cyfrowej rejestracji obrazów.

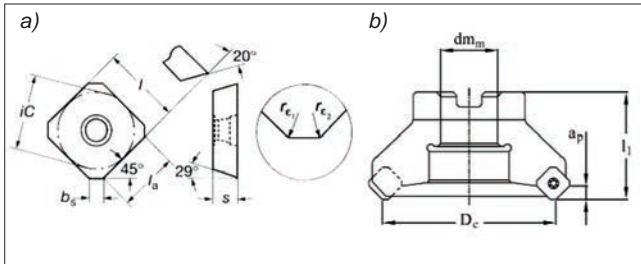


Rys. 1. Stanowisko badawcze do obserwacji zużycia ostrza: a) schemat ideowy, b) widok ogólny

* Dr inż. Łukasz Żurawski (lukasz.zurawski@tu.koszalin.pl), prof. dr hab. inż. Borys Storch (borys.storch@tu.koszalin.pl) – Zespół Badawczo-Dydaktyczny Monitorowania Procesów Technologicznych, Katedra Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych, Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej

Wyniki badań

Badania przeprowadzono dla dostępnych na rynku płytek wymiennych R245-12 T3 M-PM 4230 z krawędzią dogładzającą b_s (rys. 2a) oraz głowicy frezowej R245-125Q40-12M (rys. 2b).



Rys. 2. Geometria płytki wymiennej z krawędzią dogładzającą b_s (a) i wymiary głowicy frezowej (b) [4]

Podczas frezowania na obrabiarce FWD 32 stopu stali EN C45 przyjęto następujące wartości stałych parametrów skrawania: prędkość skrawania $v_c = 440$ m/min, głębokość skrawania $a_p = 1$ mm, szerokość skrawania $a_e = 100$ mm. Zmiennym parametrem była prędkość posuwu v_f .

Przy prędkości posuwu $v_f = 355$ mm/min pomiary zużycia ostrza przeprowadzono po przebyciu pięciu kolejnych odcinków drogi skrawania L_s przez ostrze, które sumarycznie przebyło 1813 m. Punkty pomiaru wyznaczono zgodnie z planem badań opublikowanym w pracy [1].

Na podstawie pomiarów zaobserwowano, że początkowe wartości zużycia VBb_{smax} mieściły się w zakresie $0,05 \pm 0,1$ mm. Po ok. 600 m frezowania wartości zużycia ostrza VBb_{smax} zaczęły być rozbieżne i do końca drogi skrawania zachowywały się charakterystycznie dla każdego z nich. Ostrza w sposób widoczny różnie się zużywały.

Największe zużycie wystąpiło na ostrzach o numerach 4–6, średnie – na ostrzach o numerach 3, 7, 8 i najmniejsze – na ostrzach o numerach 1 i 2 (rys. 3a). Taki przebieg wyjaśnia związek zużycia ostrza z jego biciem czołowym, opisany w pracy [1]. Najmniejsze zużycie zaobserwowano na ostrzu nr 2 ($VBb_{smax} \approx 0,2$ mm), a największe na ostrzu nr 6 ($VBb_{smax} \approx 0,45$ mm).

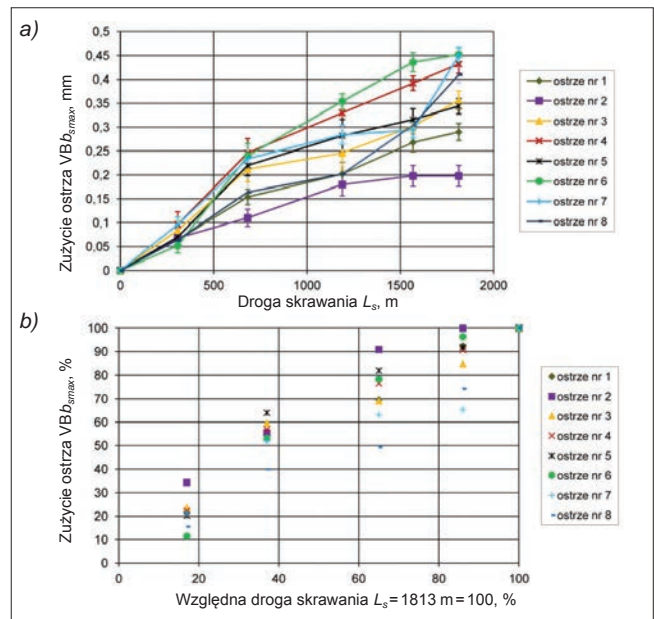
Wyniki narastającego zużycia ostrza dla kolejnej badanej prędkości posuwu $v_f = 710$ mm/min przedstawiono na rys. 4a. Pomiary wykonywano dla jedenastu punktów na drodze skrawania równej 7553 m.

Na początku drogi skrawania zużycie ostrzy VBb_{smax} mieściło się w zakresie od $\sim 0,06$ do $\sim 0,11$ mm. Po 2300 m frezowania wartość zużycia ostrza nr 1 zaczęła rosnąć i po 5300 m drogi skrawania $VBb_{smax} \approx 0,39$ mm. Wartość zużycia tego ostrza przyrastała liniowo do zakończenia frezowania. Wartości zużycia pozostałych ostrzy nieznacznie się zmieniały, aby ostatecznie osiągnąć VBb_{smax} od $\sim 0,15$ do $\sim 0,2$ mm.

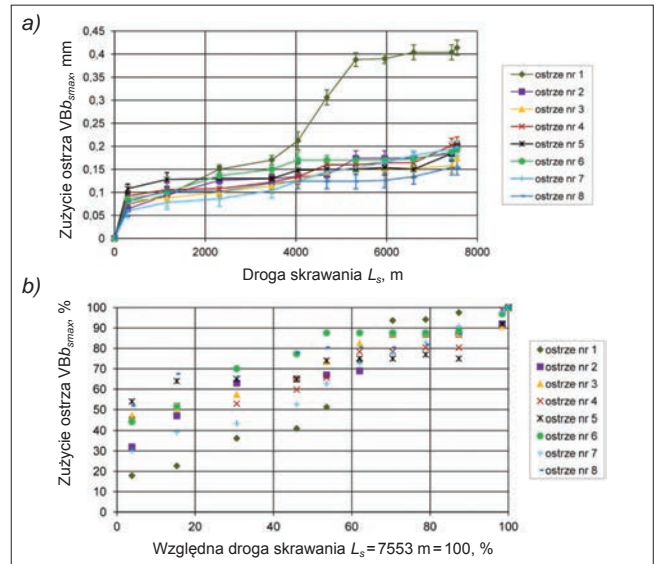
Dla kolejnej prędkości posuwu $v_f = 1120$ mm/min zużycie ostrza zmierzono po czterech narastających odcinkach drogi skrawania, która wynosiła 787 m (rys. 5a).

Po 180 m frezowania wartości zużycia ostrzy VBb_{smax} mieściły się w zakresie od $\sim 0,19$ do $\sim 0,26$ mm. Dalsze skrawanie powodowało, że zużycie rosło w różny sposób w zależności od ostrza. Wyraźny był przyrost wartości zużycia ostrza nr 6 po 500 m frezowania. Po zakończeniu badań zakres zużycia VBb_{smax} wszystkich ostrzy wynosił od $\sim 0,4$ do $\sim 0,75$ mm.

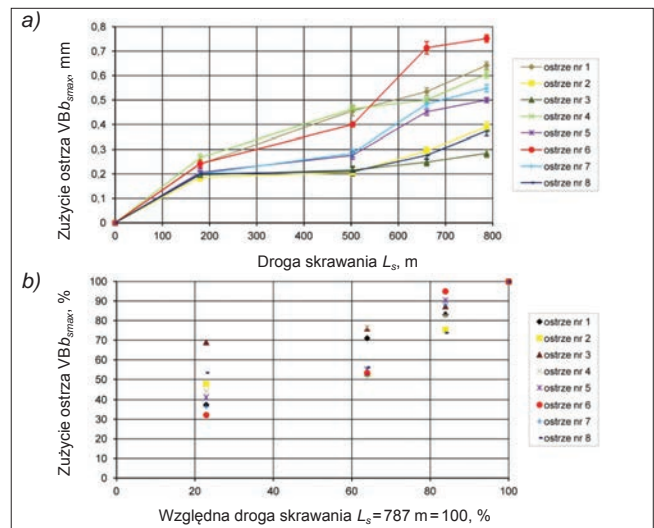
Przy tej prędkości posuwu zależność pomiędzy biciem czołowym a zużyciem nie była wyraźnie skorelowana. Najbardziej wysunięte było ostrze nr 5 i ono powinno się



Rys. 3. Wpływ drogi skrawania L_s na: a) krzywe zużycia powierzchni dogładzających Ab_s płytek wymiennych oraz b) ich udział procentowy dla frezowania z prędkością posuwu $v_f = 355$ mm/min



Rys. 4. Wpływ drogi skrawania L_s na: a) krzywe zużycia powierzchni dogładzających Ab_s płytek wymiennych oraz b) ich udział procentowy dla frezowania z prędkością posuwu $v_f = 710$ mm/min



Rys. 5. Wpływ drogi skrawania L_s na: a) krzywe zużycia powierzchni dogładzających Ab_s płytek wymiennych oraz b) ich udział procentowy dla frezowania z prędkością posuwu $v_f = 1120$ mm/min

zużywać najszybciej. Tymczasem jego zużycie mieściło się w średnich wartościach, a najbardziej zużywały się ostrza nr 1 i 4, które należały do najmniej wysuniętych z korpusu narzędzia.

Badania chropowatości powierzchni obrabianej

Między ostrzem – a dokładniej jego pomocniczą powierzchnią przystawienia – i powierzchnią obrabianą zachodzi wzajemne oddziaływanie. Ślady zużycia ostrza tworzą nierówności na powierzchni obrabianej [5].

W narzędziach wieloostrowych, z ostrzami wyposażonymi w powierzchnię dogładzającą Ab_s , wpływ jej śladów zużycia na ostateczną strukturę powierzchni zależy od struktury powierzchni jednej z płytek wymiennych. Po pewnym czasie na wynikową nierówność składa się oddziaływanie kilku ostrzy o wartościach bicia czołowego identycznych lub zbliżonych do siebie. Jeśli wykorzystana się płytki wymienne z powierzchnią dogładzającą, można zauważyć, że nierówności powierzchni zależą od tej części ostrza, która znajduje się w okolicy drugiego promienia zaokrąglenia naroża r_{e2} i jest przesunięta o wartość posuwu w kierunku naroża r_{e1} [1].

Przy ocenie wyników badań nierówności powierzchni wykorzystano metody statystyczne, które opisują chropowatość za pomocą parametrów Ra , Rz oraz Rt . Pomiary wykonywano po przyjętych odstępach drogi skrawania L_s . Wyniki wykorzystano do opracowania wykresów zmienności chropowatości powierzchni w funkcji drogi skrawania L_s dla trzech prędkości posuwu stołu frezarki v_f .

Z pomiarów chropowatości przeprowadzonych po frezowaniu z prędkością posuwu $v_f = 355$ mm/min (rys. 6a) wynika, że po 700 m drogi skrawania parametry chropowatości rosły: Ra od 1 do 1,3 μm , Rz od 3,5 do 5,5 μm ,

Rt od 7,5 do 7,8 μm . Po 1800 m wartości parametrów zmalały do: $Ra = 1,1$ μm , $Rz = 5,2$ μm , $Rt = 9$ μm .

Z pomiarów chropowatości przeprowadzonych po frezowaniu z posuwem $v_f = 710$ mm/min (rys. 6b) wynika, że po 200 m drogi skrawania parametry chropowatości rosły do wartości: Ra od 1,3 do 3 μm , Rz od 7 do 13 μm , Rt od 8,5 do 15,4 μm . Po przejściu 1200 m wartości parametrów zmalały: Ra do 2,8 μm , Rz do 8,5 μm , Rt do 8,5 μm . Pomiar po 3400 m drogi skrawania wykazał, że wartości parametrów Rt i Rz ponownie urosły, a parametr Ra zmalał. Po przejściu 4700 m wszystkie parametry zmalały o prawie połowę swojej wartości i osiągnęły: $Ra = 0,6$ μm , $Rz = 3,8$ μm , $Rt = 4,1$ μm . Pomiary parametrów chropowatości na kolejnych odcinkach drogi skrawania wykazały, że ich wartości zwiększały się nieznacznie i osiągnęły: dla $Ra = 1,3$ μm , $Rz = 5$ μm , $Rt = 5,7$ μm .

Po wykonaniu pomiarów chropowatości powierzchni obrabianej z prędkością posuwu $v_f = 1120$ mm/min (rys. 6c) stwierdzono, że po 180 m drogi skrawania Ra i Rt zmalały odpowiednio od 1,8 do 1,7 μm i od 11,8 do 8,9 μm , natomiast wartość parametru Rz wzrosła od 6,5 μm do 6,8 μm . Po osiągnięciu 500 m skrawania wartości wszystkich parametrów zwiększyły się: Ra do 2,1 μm , Rz do 8,8 μm , Rt do 13 μm . Po przebyciu 650 m wartości zmalały, a po dalszej drodze skrawania zmierzone parametry osiągnęły wartości: $Ra = 1,7$ μm , $Rz = 7,7$ μm , $Rt = 10,6$ μm .

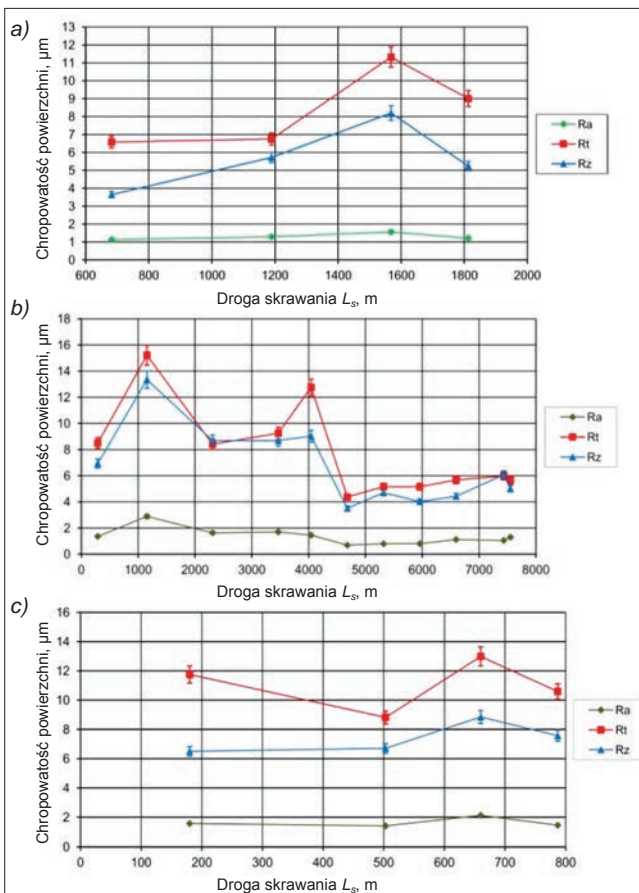
Podsumowanie

Głównym celem badań było zweryfikowanie hipotezy, że w dokładnie ustalonych warunkach skrawania głowicy frezowej (prędkości skrawania jednoznacznie ustalone, płytki skrawające z jednej serii produkcyjnej, materiał skrawany o ustalonych właściwościach mechanicznych, obrabiarka o ustalonej charakterystyce dynamicznej), w których zostały wyeliminowane zakłócenia, przebiegi mechanizmów zużycia się ostrzy powinny być podobne w granicach błęd pomiaru.

W pracy [2] przeanalizowano dokładnie metodę wyznaczania przebiegów zużycia ostrza w układzie $100\% \times 100\%$, w której najdłuższe przebiegi czasowe są porównywane do największego zużycia ostrza. W trakcie badań obserwowano jednocześnie zmiany parametrów chropowatości powierzchni, które pogarszały się lub pozostawały niezmiennie po osiągnięciu granicznych wartości zużycia ostrzy i były słabo obserwowane dla poszczególnych przebiegów pracy ostrza. Ze względu na wyraźnie różne przebiegi nie można jednoznacznie uznać, że mimo ustalonych najważniejszych warunków skrawania zachodzi podobieństwo mechanizmu współbieżnego zużycia ośmiu ostrzy w głowicy frezowej, które pozwalałoby na wykorzystanie tego wskaźnika do monitorowania procesu frezowania.

LITERATURA

- Żurawski Ł. „Analiza topografii powierzchni kształtowanych z użyciem wieloostrowych narzędzi frezerskich z ostrzami o zróżnicowanym ukształtowaniu”. Rozprawa doktorska. Koszalin: 2013.
- Zawora J. „Charakterystyka zużycia ostrza w funkcji pracy”. Podstawy technologiczne wielokryterialnej optymalizacji procesów toczenia złożonych powierzchni narzędziami punktowymi. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2013.
- Żurawski Ł. Storch B. „Wizyjne stanowisko optyczne do obserwacji zużycia ostrzy w głowicy frezowej”. *Mechanik*. 8–9 (2013): s. 169–173.
- „Narzędzia skrawające – Katalog główny”. Sandvik, Szwecja, 2009.
- Storch B. „Wzajemne oddziaływanie naroża ostrza i materiału skrawanego”. Wrocław: Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, 1989.
- Żurawski Ł., Chodór J., Kułakowska A. „Wpływ parametrów skrawania w procesie frezowania walcowo-czołowego dla największej wydajności obróbki i trwałości ekonomicznej”. *Technika Transportu Szybowego*. 12 (2015): s. 2215–2219.



Rys. 6. Przebieg zmian parametrów chropowatości powierzchni obrabianej podczas frezowania z prędkością posuwu: a) $v_f = 355$ mm/min, b) $v_f = 710$ mm/min, c) $v_f = 1120$ mm/min