

Siły w skrawaniu swobodnym

Cutting forces in unconstrained machining

BORYS STORCH
ANNA ZAWADA-TOMKIEWICZ *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.430

Omówiono wyniki badań składowych siły skrawania w toczeniu swobodnym. Uogólniono równania dla zmiennych grubości warstwy skrawanej i prędkości skrawania przy ustalonej szerokości skrawania dla wybranych materiałów obrabianych. Współczynniki w równaniach liniowych wyznaczone dla ustalonej temperatury pozwalają na interpretację fizyczną zjawisk przykrawędziowych. **SŁOWA KLUCZOWE:** składowe siły skrawania, zjawiska przykrawędziowe, ekstrapolacja liniowa.

The paper concerns the analysis of the components of cutting force in unconstrained turning. The equations were generalized for variable thickness of cut and the cutting speed at a fixed width of cut for selected materials. Coefficients in linear equations, calculated for a fixed temperature, allow for the interpretation of physical edge phenomena during cutting
KEYWORDS: components of cutting force, cutting edge phenomena, linear extrapolation.

Toczenie jest tym ze sposobów obróbki, który charakteryzuje się udziałem pojedynczej krawędzi skrawającej w ostrzu o ustalonych dokładnie parametrach geometrycznych. Złożoność zjawisk towarzyszących toczeniu wynika z dużej liczby czynników wpływających na jego przebieg. Nawet gdy są ustalone takie czynniki technologiczne, jak: sposób obróbki, typ i rodzaj obrabiarki, typ narzędzia, uchwyt przedmiotu, to zostaje jeszcze duża grupa czynników nazywanych fizykalnymi zjawiskami obróbki.

■ **Skrawanie swobodne.** Cechą charakterystyczną tego sposobu toczenia jest udział w zdejmowaniu warstwy materiału z przedmiotu tylko jednej, prostoliniowej krawędzi skrawającej. Pole przekroju warstwy skrawanej dla toczenia prostokątnego A_{sw} :

$$A_{sw} = b \cdot h \text{ [mm}^2\text{]} \quad (1)$$

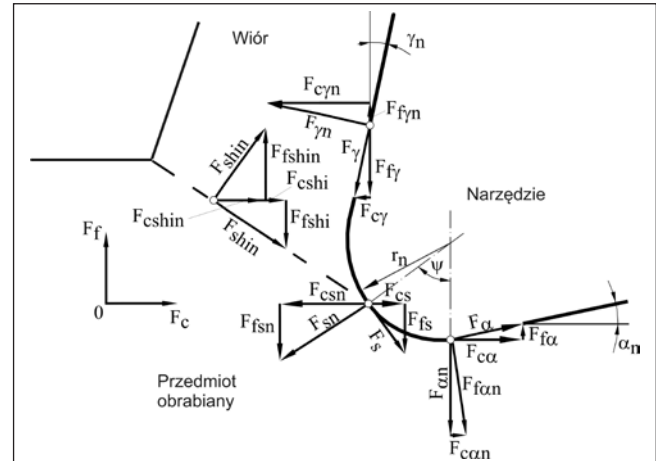
gdzie: b – szerokość skrawania; h – grubość warstwy skrawanej.

Składowe siły, które biorą udział w tworzeniu wióra w przyjętym modelu (rys. 1), można rzutować na dwa kierunki prostopadłe. Otrzymuje się wtedy dwa równania sił wypadkowych.

$$F_c(h) = F_{c\alpha} + F_{c\alpha n} + F_{cs} - F_{csn} - F_{cy} + F_{cyn} + F_{cshin} + F_{cshi} \quad (2)$$

$$F_f(h) = F_{f\alpha} + F_{f\alpha n} + F_{fs} - F_{fsn} - F_{fy} - F_{fyn} - F_{fshin} + F_{fshi} \quad (3)$$

gdzie indeksy odnoszą się do: n – powierzchni natarcia; f – powierzchni przyłożenia; s – powierzchni zaokrąglenia krawędzi skrawającej; shi – hipotetycznej płaszczyzny ścinania.



Rys. 1. Elementarne siły w płaszczyźnie skrawania

Zaproponowany model uwzględnia osiem składowych sił skrawania, działających na powierzchniach natarcia i przyłożenia, na zaokrągleniu krawędzi skrawającej oraz w płaszczyźnie ścinania. Siły te oznaczono w sposób następujący:

- F_{gn} – normalna do powierzchni natarcia,
- F_{γ} – styczna do powierzchni natarcia,
- F_{sn} – normalna do zaokrąglenia krawędzi skrawającej,
- F_s – styczna do zaokrąglenia krawędzi skrawającej,
- F_{an} – normalna do powierzchni przyłożenia,
- F_{α} – styczna do powierzchni przyłożenia,
- F_{shin} – normalna do płaszczyzny ścinania,
- F_{shi} – styczna do płaszczyzny ścinania,
- F_c – wypadkowa składowa siła obwodowa,
- F_f – wypadkowa składowa siła posuwowa.

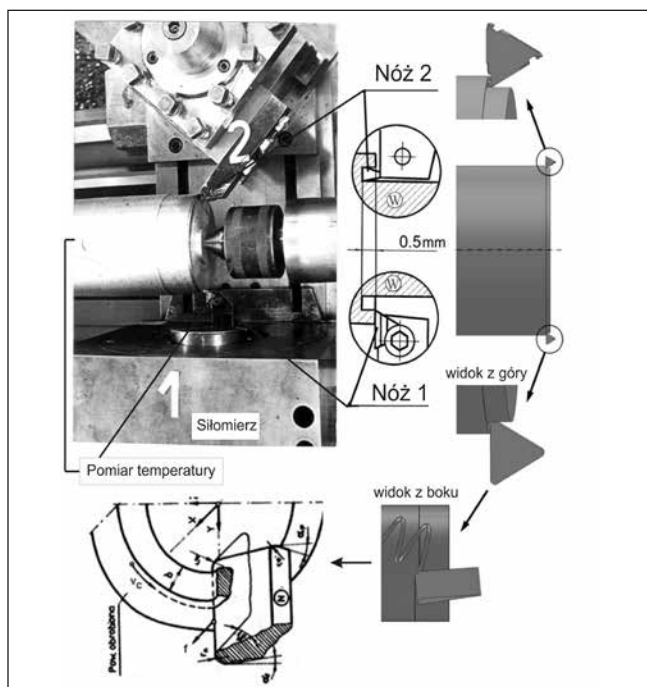
W równaniach (2) i (3) nieznanne są wartości poszczególnych składowych. Próbowano je wyliczać teoretycznie, na przykład na powierzchni przyłożenia [3] lub powierzchni natarcia [1, 2]. Duża szybkość odkształceń, wysokie temperatury oraz jednocześnie umocnienie materiału skrawanego powodują zmiany jego własności fizycznych.

Model ten zakłada, że w skrawaniu swobodnym mamy do czynienia z płaskim stanem naprężeń, stąd uwzględnia on tylko siły działające w jednej płaszczyźnie, prostopadłej do krawędzi skrawającej.

■ **Stanowisko badawcze.** Mając na uwadze realizację planu eksperymentu w warunkach toczenia swobodnego, zestawiono stanowisko z dwóch noży, z których jeden, oznaczony 2, podcinał kanałek, pozostawiając warstwę o szerokości $b = 1$ mm, drugi zaś, oznaczony 1, skrawał tę warstwę z różnymi posuwami – w tym przypadku $f = h$. Podczas skrawania nóż tokarski 2 przemieszcza się po każdym obrocie przedmiotu o wielkość posuwu f . W ten sposób ostrze 1 (przy prawych obrotach toczenia) wyprzedza ostrze 2 o wysunięcie wynoszące ok. 0,5 mm z wyprzedzeniem o pół obrotu przedmiotu obrabianego.

* Prof. dr hab. inż. Borys Storch (borys.storch@tu.koszalin.pl), prof. nadzw. dr hab. inż. Anna Zawada-Tomkiewicz (anna.zawada-tomkiewicz@tu.koszalin.pl) – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Zakład Monitorowania Procesów Technologicznych

W wyniku tego ostrze 1 usuwa warstwę z posuwem f , przy czym grubość warstwy skrawanej równa jest posuwowi $f = h$ i szerokość skrawania $b = 1$ mm (rys. 2).

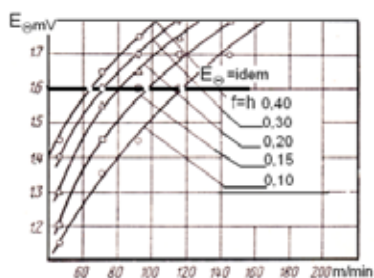


Rys. 2. Stanowisko badawcze

Dla danych parametrów skrawania v_c i h na rys 4 wyznaczono równania charakterystyczne składowych F_c i F_f w funkcji posuwów $f = h$.

Przebadano wybrane materiały obrabiane: stale, stopy aluminium i mosiądzu. Wyniki zamieszczono na rys. 3. W przyjętej w opisanych badaniach metodzie aproksymacji wymagane jest, ażeby wartości sił F_c i F_f zostały zmierzone z zachowaniem ustalonej temperatury skrawania, pomimo zmiennych parametrów skrawania v_c i h .

Temperaturę, jej równoważnik $E_{\Theta} = idem$, wyznaczano przez jej pomiar i ustalono dla par f i v_c spełniających założony warunek zilustrowany na rys. 3.



Rys. 3 Wyznaczenie $E_{\Theta} = idem$ dla zmiennych f , v_c

Podobnie, stereometria ostrza oraz jego materiał, materiał skrawany pozostawały niezmiennie podczas pomiarów składowych siły skrawania.

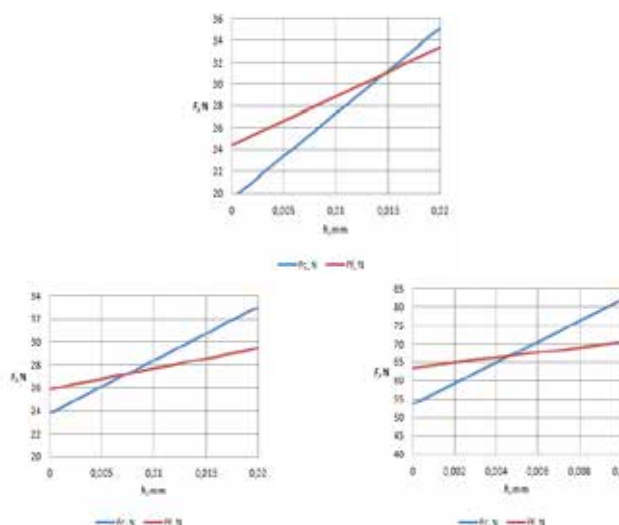
Metodyka badań. W artykule zaproponowano metodę aproksymacji i , gdzie do wyznaczonych zależności składowych siły skrawania F_c i F_f , (rys. 4), które są równaniami liniowymi w funkcji grubości warstwy skrawanej h , podstawiano jej zmienne wartości.

Wyniki badań. Przeprowadzone badania składowych siły pozwoliły na opracowanie zależności, których graficzną ilustrację pokazano na rys. 4 w formie tabeli.

Materiał obrabiany - narzędzia	Warunki toczenia		Równanie aproksymacji					
	Zakres zmian posuw f mm/obr	prędkość v_c m/min	promień r_n mm	$F_c = A_1 h + B_1$ N	$F_f = A_2 h + B_2$ N	A_1/A_2	Ψ_{opt}	E_{Θ} mV
stal55 - S30S	0,08-0,24	50-150	0,05	$1650h + 36,5$	$759,5h + 94,4$	0,46	65,3	7,6
PA6 - S20S	0,08-0,24	50-150	0,41	$782,4h + 19,5$	$449,5h + 24,4$	0,57	60,1	2,5
MO59 - S20S	0,08-0,24	50-150	0,46	$396,7h + 29,8$	$145,3h + 25,9$	0,36	69,8	2,1

Rys. 4. Wyniki badań eksperymentalnych

Na rys. 5 zestawiono wyniki z pomiarów składowych siły skrawania F_c i F_f w funkcji grubości warstwy skrawanej h , w postaci równań liniowych (do których odwołują się także inni autorzy [4]), promienia zaokrąglenia promienia krawędzi skrawającej r_n , wartości SEM dla temperatury mierzonej obcym termoelementem mocowanym pod płytką skrawającą. Graficzną ilustracją wyników dla składowych sił F_c i F_f są wykresy dla trzech różnych badanych materiałów stali 55 – S10S PA6 – S20S, MO59 – S30S, które skrawano ostrzami ze spieków twardych.



Rys. 5. Składowe siły skrawania dla: a) stal 55, b) PA6, c) MO59

W artykule [1] wykorzystano uzyskane dane do wyliczenia naprężeń i jednostkowych sił elementarnych na powierzchni zaokrąglenia krawędzi skrawające s . W pozycji [2] wyprowadzono równanie dla tak zwanego h_{min} , który, jak wynika, zależał od wyróżnionych w tabeli na rys 4, ilorazów A_1/A_2 , współczynników kierunkowych równań liniowych. Artykuł z pozycji [3] i wyniki tam przedstawione potwierdzają wykorzystanie aproksymacji liniowymi przebiegami zależności sił.

Podsumowanie. Charakterystyczne jest to, że proste zestawione parami F_c i F_f dla każdego z materiałów przecinają się przy wartościach h mniejszych 0,015 mm, czyli poniżej wartości promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej r_n , stanowiącego około 20% wartości r_n . Dla wartości h mniejszej od odciętej punktu przecięcia wartości składowej odporowej są większe niż obwodowej.

LITERATURA

1. Storch B., Zawada-Tomkiewicz A. „Distribution of unit forces on the tool nose rounding in the case of constrained turning”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. Vol. 57 (2012): pp. 1÷9.
2. Popke H., Storch B. „Matematische beschreibung der entstehung mechanik von werkstueckberflaschen beim feindreihen”. *Gestaltung von fertigungsprozessen im maschinenbau, Vortrag, Fachsekt IV Abspan und Abtrag technik*. (1985).
3. Degner W., Ham N.C. “Untersuchungen beim Spannen mit Kleinen Spannungsdicken”. *Fertigungstechnik und Betrieb*. 1973, 23.