

Research on the stages of the wear of the tip cutting edge with a rounding radius based on the mathematical and geometric model

Badania etapów zużycia wierzchołka ostrza z promieniem zaokrąglenia z wykorzystaniem modelu matematycznego i geometrycznego

BORYS STORCH
ŁUKASZ ŻURAWSKI*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.11.93>

In modern multiuse cutting tools with exchange plate (e.g. with superfinishing edge or Wiper), the cutting edge is made without documenting the basis for optimizing its dimensions. The article presents a generalized edge wear model surrounded by a rounded tip. The proposed solution allows such a modification of edge corner – by determining the conditions of its work – to adapt the tool to stabilize the process of shaping the machined surface.

KEYWORDS: cutting edge, edge wear model

W nowoczesnych, wielozadaniowych narzędziach skrawających z płytą wymienną (np. z powierzchnią dogładającą lub wiper) krawędź skrawającą wykonuje się bez udokumentowania podstaw optymalizacji jej wymiarów. W artykule przedstawiono uogólniony model zużycia ostrza w otoczeniu zaokrąglonego wierzchołka. Zaproponowane rozwiązanie umożliwia taką modyfikację naroża ostrza – przez określenie warunków jego pracy – aby zaadaptować narzędzie do ustabilizowania procesu kształtowania obrabianej powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE: krawędź skrawająca, model zużycia ostrza

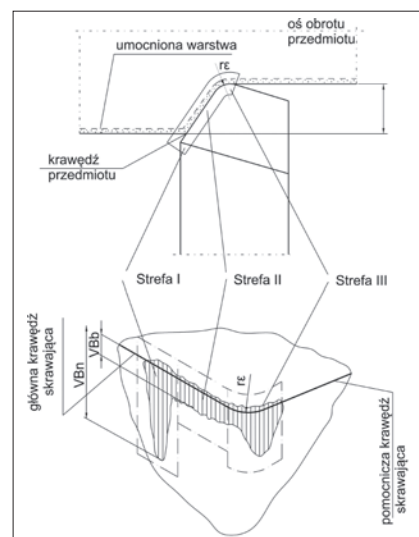
Wprowadzenie

Wraz z czasem skrawania na czynnych powierzchniach ostrza pojawiają się ślady zużycia [1, 2], a ich obraz zależy od geometrycznego ukształtowania naroża ostrza.

Rozpatrzono najogólniejszy przypadek ostrza tokarskiego z narożem w kształcie wycinka okręgu. Zaobserwowane ślady zużycia pokazano na rys. 1. Zaznaczono na nim trzy strefy, charakteryzujące się odmienną mechaniką powstawania i odmiennym obrazem tych śladów. Co charakterystyczne, zużycie jest skoncentrowane na powierzchni przyłożenia, a na powierzchni natarcia brak jest żłobkowego śladu. W warstwie skrawanej pod zaokrągleniem krawędzi skrawającej znajduje się warstwa plastycznie odkształconego materiału, której głębokość dochodzi do ok. 0,2 mm (na rysunku zaznaczono ten obszar jako umocnioną warstwę, a jej granicę obwiedziono linią przerywaną). W miarę wzrostu zużycia w strefie I pojawia się charakterystyczny punkt, w którym krawędź skrawająca przecina odkształconą warstwę. Jego położenie wyznacza głębokość skrawania. Wokół tego punktu pojawia się skoncentrowany ślad zużycia, którego szerokość jest związana z głębokością umocnionej warstwy. Podwyższona temperatura oraz dostęp powietrza od swobodnej strony ostrza intensyfikują proces zużycia, co ujawnia się długim lokalnym śladem starcia.

Fig. 1. Wear marks on the tool's working surfaces

Rys. 1. Ślady zużycia na roboczych powierzchniach ostrza



W strefie II ślad zużycia ma kształt prostokątnego paska, który zwiększa swoją szerokość w miarę upływu czasu skrawania. W strefie III obraz zużycia jest wynikiem bardzo złożonych mechanizmów. Grubość warstwy w strefie skrawania zmienia się tak, że $h < h_{min}$, zwłaszcza gdy posuw jest niewielki, tj. $f < 0,2$ mm/obr [3, 4]. Wprowadzenie uporządkowanych wartości grubości warstwy skrawanej z przedziału od h_{min0} do h_{min1} i kątów Ψ_{kryt} z przedziału od 67,50 do 77,50 pozwala na wyznaczenie prawdopodobnych wartości grubości warstwy skrawanej [5]. Dla takich warunków geometrycznych prześledzono mechanikę zmian geometrii wierzchołka naroża ostrza.

Analityczny model zużycia ostrza

Do budowy analitycznego modelu zużycia przyjęto następujące geometryczne warunki początkowe:

- ostrze ma naroże o promieniu r_ϵ ,
- powierzchnie przyłożenia są opisane kątami α_p i α_t ,
- powierzchnia natarcia jest opisana kątem γ_f .

Ponadto założono, że wskutek zużycia ostrze skraca się o wartość KE .

Model geometryczny wierzchołka ostrza i obrabianego przedmiotu

W ogólnym przypadku można przyjąć, że naroże ostrza jest wycinkiem powierzchni walcowej o promieniu r_ϵ . Wynika to stąd, że w układzie narzędzia promień r_ϵ jest

* Prof. dr hab. inż. Borys Storch, borys.storch@tu.koszalin.pl, <https://orcid.org/0000-0001-8576-5894> – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych, Zespół Badawczo-Dydaktyczny Monitorowania Procesów Technologicznych, Koszalin, Polska

Dr inż. Łukasz Żurawski, lukasz.zurawski@tu.koszalin.pl, <https://orcid.org/0000-0002-1158-1811> – Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Systemów Technicznych i Informatycznych, Zespół Badawczo-Dydaktyczny Monitorowania Procesów Technologicznych, Koszalin, Polska

kształtowany w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny podstawowej.

Przez przeszlifowanie głównej i pomocniczej powierzchni przyłożenia walec opisany na tym narożu zostaje obrócony w płaszczyźnie P_f o kąt α_f oraz w płaszczyźnie P_p o kąt α_p .

Ogólny przypadek układu

Podczas toczenia przedmiot jest powierzchnią walca o promieniu równym połowie średnicy toczenia $R = D/2$. W stosunku do tego walca w układzie współrzędnych XYZ zorientowano przestrzennie walec opisany na narożu o promieniu r_ϵ . Osie układu współrzędnych przechodzą w taki sposób, że pokrywają się z osiami symetrii przyjętych walców (rys. 2a).

Na powierzchni natarcia dla $\gamma_f > 0$ wpisano okrąg, którego środek leży w punkcie oznaczonym $S(S_x, S_y, S_z)$ (rys. 2b). Przez ten punkt przechodzi również oś walca opisanego na wierzchołku ostrza. Odległość między osiami walców, z uwzględnieniem wartości zużycia i wpływu kąta natarcia, wynosi:

$$S_y = R + r_\epsilon - \Delta \quad (1)$$

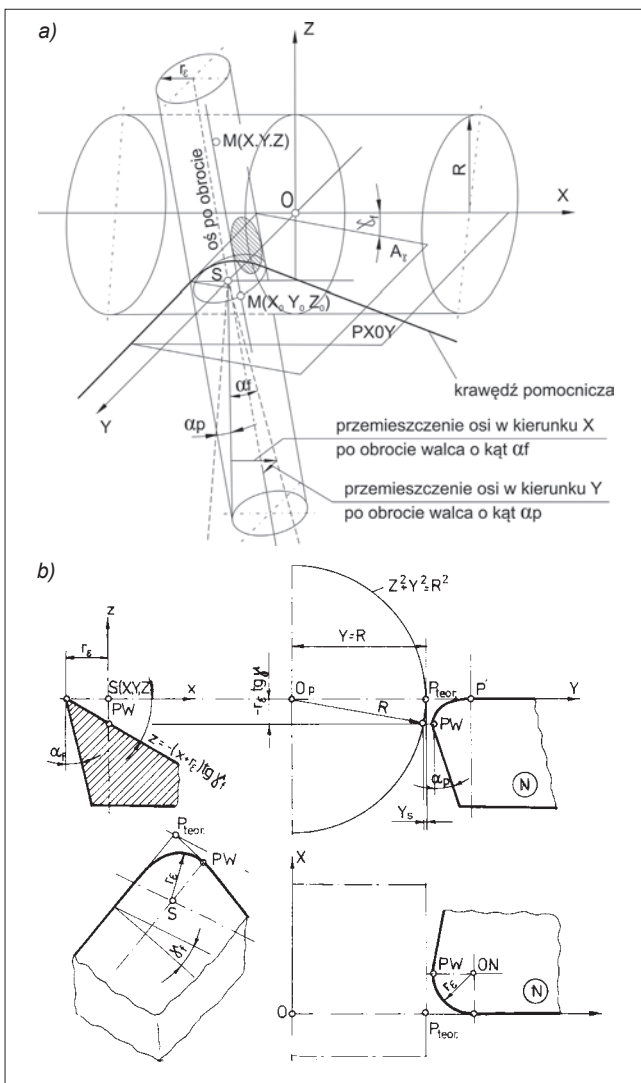


Fig. 2. Cutting part-workpiece geometrical system in an assumed coordinate system (a), and the location of characteristic points on the corner of the cutting edge relative to the workpiece axis (b)

Rys. 2. Układ geometryczny nóż–przedmiot w przyjętym układzie współrzędnych (a) oraz położenia charakterystycznych punktów na narożu ostrza względem osi obrabianego przedmiotu (b)

W równaniu (1) oprócz sumy promieni walców (R i r_ϵ) występuje wartość oznaczona jako Δ , będąca sumą wymuszonego przez zużycie, promieniowego dosunięcia KE i powodowanej przez kąt natarcia γ_f korekty Y_s (rys. 2a). Poszukiwana wartość $Y = Y_s$, o którą należy zmniejszyć odległość osi, jest równa:

$$Y_s = R - \sqrt{R^2 - r_\epsilon^2 \tan^2 \gamma_f} \quad (2)$$

W płaszczyźnie XOZ walec opisany na wierzchołku ostrza jest obrócony o kąt α_f , a tworcą tego walca powinna pod tym kątem przecinać oś Z . Podobnie w płaszczyźnie YOZ tworcą walca jest obrócona o kąt α_p . Równanie prostej przechodzącej przez dwa punkty – M i M' – które jest równaniem tworzącej walca, można wprowadzić z zależności:

$$\frac{X_0 - X}{0 - Z} = \tan \alpha_f \quad (3)$$

Po przekształceniu wzoru (3) uzyskuje się:

$$Z = \frac{X - X_0}{\tan \alpha_f} \quad (4)$$

Odpowiednia zależność w płaszczyźnie YOZ ma postać:

$$\frac{Y_0 - Y}{0 - Z} = \tan \alpha_p \quad (5)$$

Równanie prostej przechodzącej przez punkty M i M' oraz obróconej o kąty α_f i α_p można zapisać następująco:

$$Z = \frac{X - X_0}{\tan \alpha_f} = \frac{Y_0 - Y}{\tan \alpha_p} \quad (6)$$

Gdy każdy punkt na tworzącej leży również na powierzchni walca w przyjętym układzie nóż–przedmiot (rys. 2a), a równanie walca opisującego powierzchnię obrabianą przedmiotu ma formę:

$$\begin{cases} Z^2 + Y^2 = R^2 \\ (X + Z \tan \alpha_f)^2 + (Y + Z \tan \alpha_p - R - r_\epsilon + KE + Y_s)^2 = r_\epsilon^2 \end{cases} \quad (7)$$

wtedy rozwiązaniem jest zamknięta krzywa przestrzenna, będąca krawędzią przecięcia powierzchni przenikających się walców.

Uproszczony układ nóż–przedmiot

Gdy stosunek promieni r_ϵ do R jest mały, to można przyjąć, że walec opisany na promieniu wierzchołka jest przecięty płaszczyzną PY równoległą do płaszczyzny $PXOZ$. Płaszczyznę PY umieszczono w odległości $Y = R$ od początku układu współrzędnych. Przez naroże ostrza, dosuniętego przed zużyciem na odległość $Y = R$ od obrabianego przedmiotu, można – podobnie jak poprzednio – poprowadzić powierzchnię walcową obróconą o kąty α_f i α_p (rys. 2a). Równanie powierzchni walcowej ma więc postać:

$$(X + Z \tan \alpha_f)^2 + (Y + Z \tan \alpha_p - R - r_\epsilon + KE + Y_s)^2 = r_\epsilon^2 \quad (8)$$

Otrzymana krzywa (8) jest równaniem rzeczywistej elipsy.

