

Michał Dobrzyński<sup>1)</sup>, Piotr Marszałek<sup>2)</sup>

## WYBRANE ASPEKTY ZUŻYCIA OSTRZY SKRAWAJĄCYCH WYKONANYCH Z PcBN

**Streszczenie:** Obróbka materiałów twardych związana jest z obróbką materiałów o twardości powyżej 50 HRC. Obróbka ta może być obróbką wykończeniową ze względu na możliwość osiągnięcia wysokiej jakości i dokładności przedmiotów obrabianych po tej operacji. Obróbka materiałów w stanie twardym lub utwardzonym związana jest z zastosowaniem specjalnych narzędzi, które są wykonane z nowych materiałów, takich jak PcBN. W artykule zaprezentowano wybrane wyniki z badań nad zużyciem narzędzi podczas obróbki toczeniem.

**Słowa kluczowe:** toczenie materiałów twardych, zużycie narzędzi, regularny azotek boru (CBN)

### WSTĘP

Obróbka wykończeniowa toczeniem materiałów twardych jest alternatywą wobec operacji szlifowania i coraz częściej zostaje wybierana przez producentów części maszyn ze względu na szereg cech usprawniających proces produkcyjny. Narzędzia do obróbki toczeniem dzięki zastosowaniu programowania CNC mogą obrabiać złożone kształty. Zastosowanie w tym przypadku narzędzi ściernych wymagałoby czasochłonnego i kosztownego ostrzenia, ponadto nie gwarantowałyby utrzymania pożądanych tolerancji wymiarowych gotowych produktów. Toczenie wykończeniowe charakteryzuje się prostotą operacji, elastycznością produkcji oraz pozwala uzyskać wyższą dokładność obróbki przy niższym koszcie jednostkowym produktu. Zapewnienie oczekiwanej jakości produktu związane jest ze ścisłą kontrolą procesu zużywania się płytki skrawającej [1, 3, 5].

### MATERIAŁY W STANIE UTWARDZONYM

Obróbka stali o twardości powyżej 45 HRC, a typowo w zakresie 55÷68 HRC jest zdefiniowana jako obróbka materiałów twardych. Do materiałów tych zaliczamy głównie stale ulepszone cieplnie, jak również wszelkie materiały metaliczne, ceramiczne oraz kompozytowe o twardości 45÷68 HRC. Powszechnie stosowane w przemyśle maszynowym i najczęściej obrabiane materiały to: stal do

---

<sup>1</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji.

<sup>2</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Koło Naukowe „Mechanik”.

nawęglania, stal łożyskowa, stal narzędziowa, żeliwo białe, stal manganowa, stelit, spieki z proszków metali oraz węglik spiekane. Metodę toczenia wykończeniowego najczęściej stosuje się w przemyśle motoryzacyjnym. Typowymi produktami wytwarzanymi w ten sposób są: korpusy skrzyń biegów, gniazda zaworowe, przekładnie, kolumny kierownicy, tuleje cylindrowe, tarcze hamulcowe, obudowy sprzęgieł i wały napędowe [2].

## TYP I WŁAŚCIWOŚCI BADANYCH OSTRZY SKRAWAJĄCYCH

Przy toczeniu wykończeniowym materiałów twardych (powyżej 50 HRC), najczęściej stosuje się płytki z polikrystalicznego, regularnego azotku boru (PcBN), ponieważ materiał ten posiada szereg cech idealnie pasujących do warunków panujących w obszarze skrawania. Wysoka twardość na gorąco umożliwia toczenie przy bardzo wysokich prędkościach skrawania, ponadto PcBN posiada również dobrą udarność i odporność na szok termiczny, co sprawia, że jest on najwyższej klasy materiałem narzędziowym do obróbki tego typu materiałów [7, 8].

Podczas prób użyto płytek 6 ostrzowych o kształcie trygonalnym, typu WN-GA080408T01030AWH, wykonanych z materiału CB7015 i przeznaczonych do obróbki ciągłej oraz lekko przerywanej. W zastosowanym na ostrze materiale zawartość CBN wynosiła 50% a jako spoiwo użyto TiCN i  $AL_2O_3$ . Materiał ten posiadał średnio-drobne wielkości ziarna, a pokrycie wykonane było metodą PVD.

Płytki wykorzystywane były podczas obróbki powierzchni czołowej koła zębatego jak również do wytaczania otworu w dwóch przejściach. Otwór koła zębatego należało wykonać w IT6 na długości powierzchni wytaczanej wynoszącej 41,6mm. Element wykonany został ze stali stopowej 14NiCrMo12-14 (DIN) nawęglanej i hartowanej do twardości  $60 \pm 2$  HRC. Głębokość warstwy nawęglonej wynosiła  $\geq 0,86$ mm. Eksperyment odbywał się w stałych warunkach obróbki, gdzie zastosowano następujące parametry wytaczania otworu w kole zębatym:

- prędkość skrawania ( $v_c$ ):  $130 \pm 160$  m/min
- posuw (f):  $0,06 \pm 0,15$  mm/obr
- głębokość skrawania ( $a_p$ ): 0,05 mm

## CECHY PROCESU TOCZENIA MATERIAŁÓW W STANIE TWARDYM

W miejscu kontaktu wióra i przedmiotu obrabianego z narzędziem skrawającym występuje znaczne obciążenie mechaniczne (wysokie naprężenia styczne i normalne) oraz cieplne. Wobec tego proces zużywania się ostrza przyjmuje charakter złożony, wynikający nie tylko z oddziaływań siłowych materiału toczzonego na płytkę skrawającą, ale również oddziaływania wysokich temperatur w miejscu skrawania, zjawisk adhezyjnych, utleniania, dyfuzji, ścierania czy wykruszeń.

Zjawiska te posiadają różne nasilenie, w zależności od przyjętych parametrów i warunków obróbki, a także właściwości materiału, z jakiego zostało wykonane ostrze i cech materiału toczzonego. Specyficzne warunki tarcia w procesie toczenia materiałów utwardzonych to przede wszystkim bardzo duże naciski jednostkowe na czystych chemicznie powierzchniach materiałów, odkształcenia plastyczne warstwy wierzchniej materiału i wióra, co prowadzi do zjawiska umacniania się materiału obrabianego. Wysokie temperatury w polu tarcia sprzyjają tworzeniu się narostu na płytce, a brak cieczy chłodzącej uniemożliwia utworzenie warstewki smarnej. Podczas obróbki materiałów utwardzonych, w przypadku powstawania wióra „odłamkowego”, inny jest procentowy udział źródeł ciepła. Dominującą rolę w tym przypadku odgrywa tarcie powierzchni ostrza o materiał obrobiony, natomiast praca odkształceń plastycznych i praca tarcia wióra o powierzchnię natarcia nie odgrywają istotnej roli. Ciepło powstające w procesie skrawania jest odprowadzane głównie przez wiór (75%) oraz przez przedmiot obrabiany (15%), narzędzie (8%), innymi drogami (2%). Operacja toczenia materiałów utwardzonych wymaga od obrabiarki wysokiej mocy, gdyż opór właściwy skrawania dla tych materiałów wynosi  $2550 \pm 4870 \text{ N/mm}^2$ , odbywa się ona najczęściej na nowoczesnych centrach tokarskich sterowanych numerycznie. Kluczowymi czynnikami przy tego typu obróbce jest stabilność oraz sztywność układu obrabiarki [4, 6].

## POMIAR ŻUŻYCIA OSTRZA SKRAWAJĄCEGO

Toczenie materiałów utwardzonych jest procesem specyficznym ze względu na rodzaj zużycia ostrzy skrawających. Wysokie temperatury powstające w strefie obróbki znacznie obniżają siły skrawania, przez co obróbka przy zbyt niskich prędkościach może doprowadzić do katastroficznego zużycia ostrza w wyniku małej ilości ciepła dostarczonego do materiału PcBN.

Dominującymi rodzajami zużycia w tej operacji są starcia na powierzchni przyłożenia, powstałe w wyniku naturalnych procesów trybologicznych między narzędziem a obrabianym materiałem. Wraz z wzrostem prędkości skrawania zjawisko to maleje. Efekt ścierania nie pozwala na uzyskanie wymiarów obrabianych przedmiotów w założonych tolerancjach.

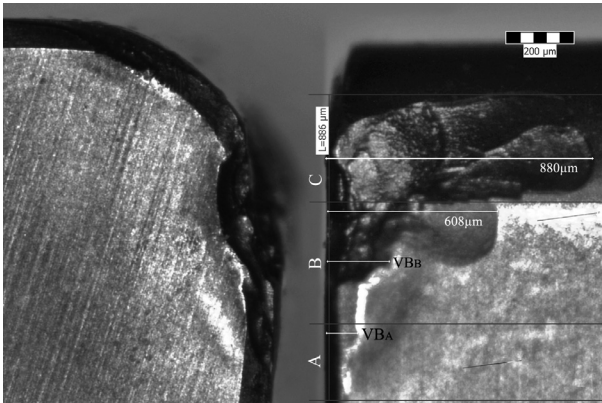
Wzrost prędkości skrawania powoduje silniejsze wykruszanie (wyrwanie) części wykonanej z polikrystalicznego regularnego azotku boru, co zmniejsza wytrzymałość płytki i może doprowadzić do jej pęknięcia. Wykruszenia i wyrwania nie są jedynymi czynnikami decydującymi o jakości wykończenia powierzchni, ponieważ podczas obróbki materiałów twardych zachodzi szereg zjawisk.

Norma PN-ISO 3685 określa sposób pomiaru zużycia ostrza. W normie tej dokonany został podział głównej krawędzi skrawającej na trzy następujące strefy:

- *strefa C* obejmuje krzywoliniową część krawędzi skrawającej przy narożu.
- *strefa B* obejmuje pozostałą prostoliniową część krawędzi skrawającej pomiędzy strefami C i A.

- *strefa A* obejmuje 1/4 długości zużytej krawędzi, najbardziej oddalonej od naroża.

Szerokość pasm zużycia  $VB_B$  powinna być badana w zakresie strefy B, w płaszczyźnie krawędzi skrawającej, prostopadle do głównej krawędzi skrawającej. Szerokość pasma zużycia powinna być mierzona względem pierwotnego położenia krawędzi skrawającej. Typowymi kryteriami trwałości narzędzi z ostrzy ceramicznych (norma dotyczy między innymi tego typu materiału narzędziowego) jest największa szerokość pasma zużycia ciernego na powierzchni przyłożenia  $VB_{Bmax}=0,6$  mm - w przypadku nieregularnego pasma na powierzchni przyłożenia w strefie B oraz średnia szerokość pasma zużycia ciernego na powierzchni przyłożenia  $VB_B=0,3$  mm - w przypadku regularnego pasma zużycia na powierzchni przyłożenia w strefie B, zgodnie z normą PN-ISO 3685.



**Rys. 1.** Widok płytki WGA080408T01030AWH z naniesionymi wartościami średniego zużycia w poszczególnych strefach

**Fig. 1.** View of the WNGA080408T01030AW H insert with mean values of the wear in selected areas

Na rysunku 1 przedstawiono widoki badanej płytki, na których wskazano strefy podziału głównej krawędzi skrawającej zgodnie z normą PN-ISO 3685 oraz miejsca średniego zużycia jak również wartości maksymalnych wykruszeń. Wyniki pomiarów pasm zużycia zamieszczono w tabeli 1. Pomiarów poszczególnych wartości przeprowadzono w 6 kolejnych przekrojach kolejnych stref. Wyniki zostały poddane ocenie poprzez obliczenia podstawowych statystyk testowych dla błędów grubych czy też sprawdzeniu hipotezy, że mierzona cecha ma rozkład normalny.

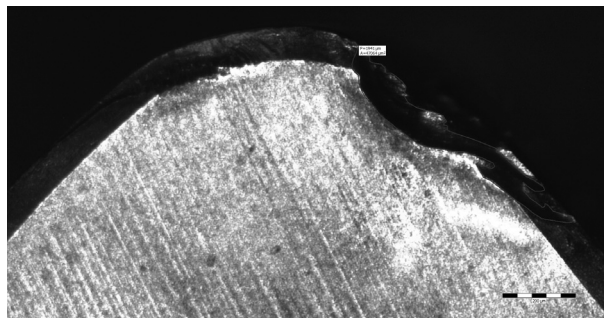
Do oceny błędów grubych zastosowano test Grubbsa, w którym porównano obliczone statystyki dla największej i najmniejszej wartości z pomiaru ( $B_{max}$  i  $B_{min}$ ) z wartością krytyczną dla przyjętego poziomu istotności i liczności próby. Dla oceny czy dana próbka ma cechy rozkładu normalnego, wykonano test normalności *Shapiro-Wilka*. Ponieważ obliczona statystyka testowa jest większa od wartości krytycznej odniesionej do poziomu istotności i licznosc próby, to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności rozkładu badanej próby. Dla wyników pomiarów obliczono także podstawowe miary położenia (średnia arytmetyczna i mediana) oraz rozproszenia (odchylenie standardowe i rozstęp). Dla wszystkich analiz i obliczeń przyjęto poziom istotności  $\alpha=0,05$ . Dla tego poziomu

obliczono także przedział ufności - przedział, w którym powinna mieścić się średnia z populacji. Ze względu na małą licznosc próby, do obliczenia przedziału ufności posłużono się statystyką *t-Studenta*.

Tabela 1. Wybrane wartości zużycia ostrza skrawającego

Table 1. Selected values of the tool wear

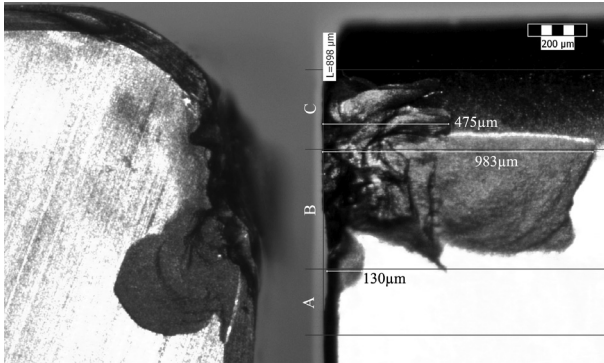
L p.	VB <sub>A</sub> [μm]	VB <sub>B</sub> [μm]	Miary zmienności i rozproszenia z obliczonymi statystykami		VB <sub>A</sub>	VB <sub>B</sub>
1	59	118	Średnia arytmetyczna	[μm]	85.00	194.33
2	78	142	Mediana		89.50	190.50
3	87	167	Rozstęp		40.00	180.00
4	99	298	Odchylenie standard. (skorygowane)		14.66	65.59
5	95	214				
6	92	227	Przedział ufności		15.38	68.84
Wartość krytyczna testu <i>Studenta</i> $t_{0,05;5}$					2,571	
Wartość krytyczna testu <i>Grubbsa</i> $B_{0,05;6}$					1,996	
Statystyka testowa <i>Grubbsa</i> $B_1$ i $B_2$					$B_{max} = 0,955$ $B_{min} = 1,774$	$B_{max} = 1,580$ $B_{min} = 1,164$
Wartość krytyczna testu <i>Shapiro-Wilka</i> $W_{6;0,05}$					0,788	
Statystyka testowa <i>Shapiro-Wilka</i> $W$					0,891	0,960



**Rys. 2.** Widok powierzchni natarcia płytki WNGA080408T01030AWH  
**Fig. 2.** View of the rake surface of the WNGA080408T01030AWH insert

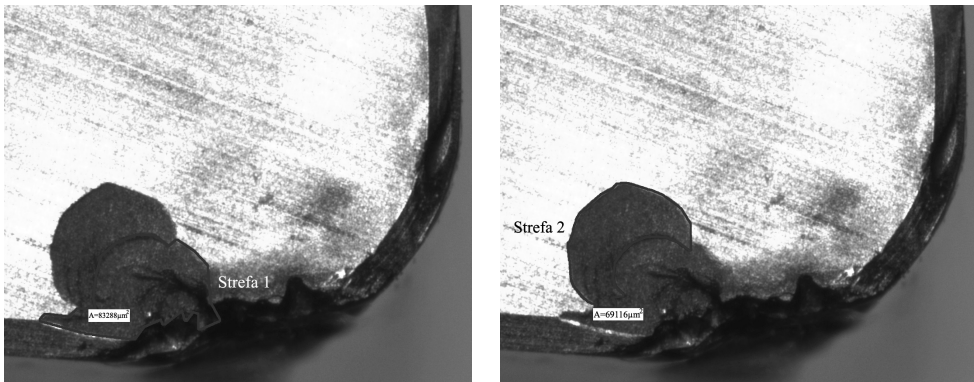
Podczas obróbki materiałów twardych powstaje wyraźne zużycie w postaci krateru na powierzchni natarcia (rys. 2). Po przekroczeniu wartości zużycia ściernego VB<sub>B</sub> około 170- 200 μm następowały gwałtowne wykruszenia w pobliżu krateru. Wykruszenia te występowały najintensywniej w strefie A (wierzchołek ostrza) i wraz z postępem obróbki i zużycia narzędzia miały wartości kolejno około 400 μm, 600 μm i 880μm (rys. 1). Metodyka pomiaru zużycia ostrza zdefiniowana w normie PN-ISO 3685 pozwala w większości badanych przypadków wskazać maksymalną szerokość pasm zużycia ostrza VB<sub>Bmax</sub>, skupia się ona przede wszystkim na zużyciu głównej krawędzi skrawającej oraz głównej powierzchni przyłożenia. Trudno stosować normę do ostrzy wykonanych z polikrystalicznego regularnego azotku boru (PcBN), gdyż podczas skrawania materiałów twardych proces zużywania następuje nie tylko na powierzchniach ujętych w

normie, ale również na wierzchołku ostrza, powierzchni natarcia oraz pomocniczej krawędzi skrawającej. Uwarunkowane jest to tym, iż geometria ostrzy PcBN znacznie różni się od geometrii ostrza znormalizowanego. Utrudnia to wykonanie dokładnego pomiaru, dlatego aby uwidocznić wszelkie oznaki zużycia narzędzia, należy dokonać pomiarów w obrębie pełnej geometrii ostrza.



**Rys. 3.** Widok płytki WNGA080408T01030AWH z naniesionymi wybranymi wartościami zużycia  
**Fig. 3.** View of the WNGA080408T01030AWH insert and selected values of the wear

Dalsza intensywna obróbka po przekroczeniu zużycia katastroficznego doprowadza do dalszych intensywnych wykruszeń na powierzchni przyłożenia i w efekcie złamania płytki (rys. 3). Wartość tego złamania wyniosła blisko 0,1 mm i dotyczyło granicy strefy B i C. Podczas obróbki wystąpiły również dwa odłamania, odłupania części ostrza na powierzchni natarcia (rys. 4). Odłupania części ostrza wystąpiły w wyniku zbyt dużej siły odporowej podczas obróbki. Gwałtowny jej wzrost wystąpił wraz ze wzrostem zużycia na powierzchni przyłożenia. Wyniki pomiarów powierzchni tych odłamów wraz z podstawową analizą zamieszczono w tabeli 2.



**Rys. 4.** Widok powierzchni natarcia płytki WNGA080408T01030AWH z zaznaczonymi strefami odłupania części ostrza: po lewej -strefa 1, po prawej - strefa 2

**Fig. 4.** View of the rake surface of the WNGA080408T01030AWH insert with indicated chipped areas: left - Area 1, right - Area 2

Tabela 2. Wartości powierzchni odłupania na powierzchni natarcia  
Table 2. Values of the chipped areas on the rake surface

Lp.	$A_{\text{Strefa1}}$ [ $\mu\text{m}^2$ ]	$A_{\text{Strefa2}}$ [ $\mu\text{m}^2$ ]	Miary zmienności i rozproszenia z obliczonymi statystykami		$A_{\text{Strefa1}}$	$A_{\text{Strefa2}}$
1	83633	68743	Średnia arytmetyczna	[ $\mu\text{m}^2$ ]	83288	69116
2	78441	69257	Mediana		83567	69099
3	85764	69470	Rozstęp		7323	1117
4	83005	68585	Odchylenie standard. (skorygowane)		2618	434
5	85386	69702				
6	83500	68941	Przedział ufności		2747	455
Wartość krytyczna testu <i>Studenta</i> $t_{0,05,5}$					2,571	
Wartość krytyczna testu <i>Grubbsa</i> $B_{0,05,6}$					1,996	
Statystyka testowa <i>Grubbsa</i> $B_1$ i $B_2$					$B_{\text{max}} = 0,945$ $B_{\text{min}} = 1,851$	$B_{\text{max}} = 1,350$ $B_{\text{min}} = 1,225$
Wartość krytyczna testu <i>Shapiro-Wilka</i> $W_{6,0,05}$					0,788	
Statystyka testowa <i>Shapiro-Wilka</i> $W$					0,847	0,959

## PODSUMOWANIE

Norma PN-ISO 3685 nie precyzuje dokładnie sposobu pomiaru płytek wykonanych z polikrystalicznego regularnego azotku boru (PcBN), ze względu na ich odrębną geometrię. Metoda adaptacji normy do pomiarów zapewniła rzetelne wyniki, posiadające niewielki błąd pomiarowy. Należy zauważyć, że pomiary wykonywane zgodnie z normą nie ujawniają wszystkich obszarów zużycia ostrza. Pracownik przy określaniu zużywania się narzędzi skrawających powinien nie tyle sugerować się normą, co wizualnymi oględzinami całej płytki skrawającej. Niewątpliwie wszelkie zalety, jakie posiadają ostrza wykonane z PcBN, znacznie skracają czas produkcji i zwiększają zyski, lecz aby produkcja spełniała założone kryteria jakościowe, należy kontrolować czas pracy ostrza oraz jego stan, aby zapobiec katastroficznemu zużyciu płytki, co doprowadziłoby do zniszczenia materiału obrabianego oraz oprawki narzędziowej, przerywając całą produkcję.

## PIŚMIENNICTWO

1. Chou K.Y., Evans C.J.: Tool wear mechanism in continuous cutting of hardened tool steels. *Wear*, 212, 1997, pp. 59-65.
2. Dobrzyński M., Orłowski K.: Toczenie wykończeniowe powierzchni otworów w stanie utwardzonym. Obróbka skrawaniem: Zaawansowana technika/pod red. H. Latosia, Szkoła Obróbki Skrawaniem, nr 3, Bydgoszcz, 2009, s. 41-48.
3. Grzesik W.: Wear development on wiper  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -TiC mixed ceramic tools in hard machining of high strength steel. *Wear*, 266, 2009, pp. 1021-1028.
4. Grzesik W.: Podstawy skrawania materiałów metalowych. Wydawnictwa Naukowo-techniczne, Warszawa 1998.

5. Kawalec M.: Skrawanie ostrzami zdefiniowanymi geometrycznie zahartowanych stali. Obróbka skrawaniem: Zaawansowana technika/pod red. H. Latosia, Szkoła Obróbki Skrawaniem, nr 3, Bydgoszcz, 2009, s. 9÷30
6. Żebrowski H.: Techniki wytwarzania. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2004.
7. Katalogi firmy Sumitomo.
8. Katalog Sandvik Coromant, Zaawansowane materiały narzędziowe.

## **SELECTED ASPECTS OF PCBN TOOLS WEAR**

### **Summary**

Hard part machining is related to a process of cutting of hard materials (over 50 HRC). This process can be used as a finishing process, because of achieving high quality and accuracy of workpieces after the operation. Cutting of hard materials requires special tools, which are made of a new materials such as PcBN. This paper presents selected results of investigation under tool wear during turning of hard materials.

**Keywords:** hard part turning, tool wear, Cubic Boron Nitride (CBN).