



Porównanie wybranych właściwości użytkowych ściernic ze spoiwem żywicznym do przecinania węglików spiekanych

Comparison of selected properties of diamond grinding wheels with resinoid bond for cutting through cemented carbides

Joanna Bojanowska
Miroslaw Urbaniak*

W procesach przecinania ściernicowego istotna jest efektywność ekonomiczna w przypadku obróbki zgrubnej, ale również wpływ tych operacji na stan warstwy wierzchniej przedmiotów po obróbce dokładnej. Niniejsze opracowanie zawiera sposób i wyniki porównania właściwości użytkowych dwóch przykładowych ściernic diamentowych. Ocenę tych właściwości zrealizowano mierząc składową styczną siły w procesie, wydajność właściwą, przyrost temperatury przedmiotu oraz chropowatość powierzchni po przecinaniu. Na tej podstawie rekomendowano korzystniejsze narzędzie do zastosowań praktycznych.

SŁOWA KLUCZOWE: ściernice diamentowe, spoiwa żywiczne, przecinanie ściernicowe, węgliki spiekane

Economic efficiency is important for roughing in cutting processes, but also important is their impact on the state of the surface layer after finishing treatment. The present publication contains the description of both the method and results of comparison properties of two diamond wheels. The assessment of the wheels was carried out by measuring the component of process tangential force, specific process efficiency, workpiece temperature increment and surface roughness after treatment. Following these findings, a more useful, reliable tool was recommended for practical uses.

Keywords: diamond wheels, resinoid bond, cutting-off, cemented carbides

Przecinanie ściernicowe – jest to technika obróbki ścierniej stosowana przy rozdzielaniu materiału na zimno [1]. Cechuje się uniwersalnością oraz wysoką wydajnością. Swoje zastosowanie odnajduje w produkcji wielkoseryjnej i masowej, jak również w jednostkowej. Możliwe jest zastosowanie tej techniki dla materiałów o różnorodnych właściwościach. W procesie przecinania aspekt termiczny procesu

dominuje nad aspektem mechanicznym [2], przy czym główna strefa nagrzewania jest następnie usuwana z materiału w postaci wiórów [3]. Pomimo tego temperatura nagrzewania warstwy wierzchniej przedmiotów po przecinaniu może mieć znaczenie w eksploatacji części maszyn i w razie potrzeby usuwa się ją w dalszej części procesu technologicznego.

Rośnie tendencja zastosowania narzędzi wykonanych z supertwardych materiałów ściernych (głównie ze ścierniwa diamentowego oraz z regularnego azotku boru), które spojone są elastycznym spoiwem żywicznym [4]. Ściernice takie są znacznie tańsze od spojonych ceramiką lub metalem.

Supertwarde materiały ściernie charakteryzują się przede wszystkim dużą żywotnością przy jednoczesnym zachowaniu profilu narzędzia [3] oraz umożliwiają uzyskanie względnie krótkiego czasu obróbki. Ściernice z wymienionych wyżej materiałów pozwalają również na uzyskanie niższej temperatury w strefie szlifowania w stosunku do innych konstrukcji narzędzi ściernych, co znacząco wpływa na ograniczenie uszkodzeń termicznych obrabianych przedmiotów oraz powstawanie niekorzystnych naprężeń w ich warstwie wierzchniej.

Ściernice diamentowe wykorzystywane są przede wszystkim w obróbce ceramiki, szkła, grafitu, węglików, włókna szklanego itp. [3]. Ściernice z regularnym azotkiem boru używane są głównie do obróbki stali stopowych, materiałów magnetycznych oraz stopów metali nieżelaznych.

Najpopularniejszym materiałem spajającym, stosowanym do produkcji ściernic ze spoiwem żywicznym są żywice fenolowo – formaldehydowe, a wprowadzane są już żywice poliimidowe o wyższej dopuszczalnej temperaturze pracy [4]. Cechą spoiw żywicznych jest znaczna elastyczność utwardzenia ziaren ściernych narzędzia, co umożliwia łatwiejsze uzyskiwanie mniejszych chropowatości powierzchni szlifowanych. Ścieralność spoiw pozwala osiągnąć korzyst-

*inż. Joanna Bojanowska (joanna.bojanowska@tlen.pl),
dr hab. inż. Miroslaw Urbaniak (miroslaw.urbaniak@p.lodz.pl)

ne właściwości skrawnych przy zachowaniu wysokiej wydajności obróbki, powstawanie mniejszych sił skrawania w porównaniu do ściernic konwencjonalnych oraz niższy gradient temperatury w trakcie procesu [4]. Ściernice takie stosowane są zarówno w przypadku obróbki zgrubnej jak i dokładnej oraz ultra precyzyjnej, w tym również do obróbki materiałów trudnoobrabialnych.

Metodyka i program badań

Właściwości użytkowe ściernic są podstawowym miernikiem przydatności tych narzędzi do realizacji operacji obróbkowych. Z uwagi na różne wymagania stawiane narzędziom przez technologów, różne też są kryteria ich oceny. Stąd najczęściej stosuje się ocenę kilku wielkości istotnych dla przebiegu i wyniku szlifowania [5], do których powszechnie należą: wartości składowych sił, mocy czynnej i temperatury w procesie przecinania ściernicowego oraz zużycia ściernic, wydajności i stanu warstwy wierzchniej (głównie chropowatości powierzchni i naprężeń poobrobkowych). Wielkości te są określane najczęściej laboratoryjnie. Dla warunków przemysłowych wygodne może być wyznaczanie wydajności przecinania oraz temperatury przedmiotów przecinanych w wybranym miejscu z wykorzystaniem dość popularnych pirometrów punktowych.

W doborze ściernicy do operacji obróbkowej uwzględnia się materiał przedmiotu szlifowanego i jego stan po obróbce cieplnej [6]. Duża ilość różnych wielkości wejściowych procesu sprawia, że o jego wyniku trudno prognozować bez wykonania eksperymentu przy podejmowaniu nowych zadań technologicznych. Stąd też najkrótszą i często najbardziej ekonomiczną drogą są badania porównawcze wybranych narzędzi.

Rozważania te dotyczą również przecinania ściernicowego. W tym zakresie najczęściej użytkownikowi zależy na małej sile przecinania, niskiej temperaturze operacji i dużej wydajności. Gdy przecina się przedmioty "na gotowo", istotna jest również chropowatość powierzchni przecinanej. Mając na uwadze takie wymagania, wykonano porównawcze badania dwóch ściernic diamentowych ze spoiwem żywicznym różnych producentów o podobnej charakterystyce, dedykowanej do przecinania węglików wolframowych.

W pracy realizowano przecinanie wgłębne z ustaloną grawitacyjnie siłą normalną docisku ściernic do przedmiotów, a rejestrowano siłę styczną przecinania pręta z węglika wolframu WC o średnicy 10 mm siłomierzem Megatron KT302. Temperaturę w procesie określano stosując punktowy pomiar radiacji odcinanego elementu pręta o grubości 5 mm piometrem LT20 firmy Optiris.

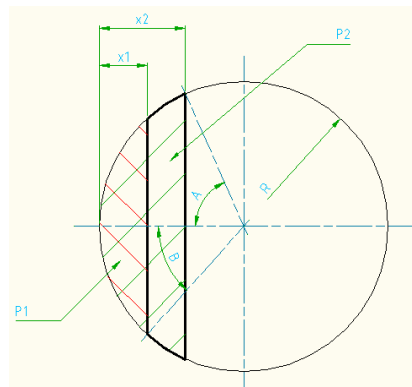
Precyzyjne określenie temperatury w strefie szlifowania jest zagadnieniem trudnym. Wykonano w tym zakresie wiele prac, których podsumowaniem było szerokie opracowanie S. Malkina [7]. Zwrócono tam uwagę na duży wpływ otoczenia strefy szlifowania na wyniki pomiarów i obliczeń. Tu w praktycznym podejściu do porównawczego wyboru lepszego narzędzia przyjęto uproszczenie problemu, przydatne w praktyce warsztatowej realizując badania w takich samych warunkach dla obydwu ściernic. Stąd można spodziewać się podobnego przekazywania ciepła do przedmiotu, uchwytu i otoczenia.

Wszystkie próby były wykonywane po uprzednim schłodzeniu stanowiska badawczego do temperatury otoczenia 22-24°C, a do porównań posługiwano się przyrostami jej wartości względem temperatury początkowej.

Dla celu określenia wydajności przecinania zastosowano czujnik przemieszczeń typu WA20T firmy HBM wykorzystując próbkowanie karty AC komputera jako miernik czasu.

Obliczano ją jako pole powierzchni przekroju pręta przecinanego pomiędzy kolejnymi impulsami próbkowania (Rys.1):

$$P = P_2 - P_1 [mm^2]$$



Rys.1. Pole przekroju cięcia w kolejnych chwilach pomiaru wartości dosuwu x_1 i x_2 .

Do oceny chropowatości powierzchni po przecinaniu użyto profilometru PGM-C firmy IOS.

Badania wykonano na szlifierce narzędziowej Tacchella 4AM w dwóch etapach poprzedzonych cechowaniem przyrządów [8]. Ściernice do każdej próby ostrzono z pomocą ośki elektrokorundowej o ziarnistości 60. Wyniki rejestrowano z pomocą karty przetwarzania danych KUSB-3108 firmy Keithley i zapisywano na dysku komputera klasy PC. W pierwszym etapie prac zweryfikowano aparaturę i określono wymaganą krotność powtórzeń na poziomie istotności $\alpha=0,05$, która wyniosła 3 [8].

Badania zasadnicze wykonano na dwóch dostępnych w laboratorium ściernicach o charakterystykach:

- symbol **A** - A1x100x15x5x20 D126 K75 MBs,
- symbol **B** - A1x150x0,8x5x20 D126 K75 MBs.

Ściernice różniły się wymiarami (wysokością i średnicą), więc ustalono odpowiednie obciążenia normalne tak, aby uzyskać takie same obciążenia właściwe siłą normalną oraz porównywalne prędkości przecinania dobierając odpowiednie prędkości obrotowe wrzeciona. Warunki badań zawiera tabela 1. Otrzymane wyniki badań uśredniano z trzech powtórzeń.

Tab. 1. Program badań

Prędkość szlifowania v_s	24, 34 [m/s]
Obciążenie F'_n	6, 12 [N/mm]
Chłodzenie	Przecinanie na sucho

Wzrosty wartości temperatury nie były odnoszone do wysokości ściernicy. Według modelu rozkładu temperatury w przedmiocie przecinanym [9] główny strumień ciepła skierowany jest zgodnie z kierunkiem przecinania, a tylko jego mała część przechodzi do przedmiotu [9], którą przyjęto zgodnie z modelem, jako mało zależną od szerokości przecinania.

Analiza wyników badań

Wyniki badań zestawiono tabelarycznie dla obydwu ściernic wstawiając wartości kolejnych wielkości mierzonych i obliczanych. W pierwszej kolejności ocenie poddano wartości siły stycznej przecinania, zamieszczone w tabeli 2.

Tab. 2. Zestawienie wartości siły stycznej przecinania

Ściernica	Prędkość v_s [m/s]	Właściwa siła styczna F'_t [N]	
		Dla $F'_n=6$ [N]	Dla $F'_n=12$ [N]
A	24	6,3	9,3
	34	6,0	8,7
B	24	5,7	9,3
	34	4,7	7,3

Wartości te były większe przy większym obciążeniu normalnym i zmniejszały się dla większej prędkości przecinania. Porównanie odpowiadających sobie warunków prób (prędkość i obciążenie) wskazuje na nieco korzystniejsze efekty przecinania otrzymane ściernicą **B**, a wyraźniejsze podczas większych prędkości szlifowania.

Przyrosty wartości temperatury próbek podczas operacji przecinania zestawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Zestawienie wartości przyrostu temperatury

Ściernica	Prędkość v_s [m/s]	Przyrost temperatury [$^{\circ}$ C]	
		Dla $F'_n=6$ [N]	Dla $F'_n=12$ [N]
A	24	41,9	76,3
	34	53,7	87,9
B	24	20,6	35
	34	48,8	85,6

Wzrost prędkości szlifowania i obciążenia normalnego skutkował większą temperaturą przedmiotów, co związane było z większą energią procesu. Porównanie uzyskanych wyników wskazuje, że ściernica **B** wypadła korzystniej. Generowała mniej ciepła prawdopodobnie przez mniejszy udział spoiwa w kontakcie z przedmiotem.

Po operacjach przecinania określano wydajność obróbki i chropowatość powierzchni przecinanych. W tabeli 4 zestawiono wyniki obliczeń wydajności obróbki.

Tab. 4. Wydajność obróbki

Ściernica	Prędkość [m/s]	Wydajność Z' [mm ² /s]	
		Dla $F'_n=6$ [N]	Dla $F'_n=12$ [N]
A	24	0,52	1,08
	34	0,28	0,82
B	24	0,79	1,67
	34	0,41	2,18

Pod tym względem ściernica **B** również okazała się korzystniejsza. Charakteryzowała się przynajmniej 50% większą wydajnością w każdym porównaniu. Pod kątem chropowatości powierzchni przecinanych korzystniejsze właściwości eksploatacyjne wykazała podobnie ściernica **B**, co przedstawiono w tabeli 5.

Tab. 5. Średnie wartości chropowatości powierzchni czolowych po przecinaniu,

Ściernica	Prędkość v_s [m/s]	Chropowatość R_a [μ m]	
		Dla $F'_n=6$ [N]	Dla $F'_n=12$ [N]
A	24	0,267	0,290
	34	0,222	0,212
B	24	0,128	0,235
	34	0,151	0,116

W porównaniu ze ściernicą **A** wartości parametru R_a były mniejsze o około 20 – 50% dla ściernicy **B**. Większa wartość chropowatości po przecinaniu ściernicą **B** z prędkością 24 m/s i obciążeniem 12 N była wynikiem większej amplitudy drgań w procesie przecinania w takich warunkach.

Zestawiając wartości kolejnych wielkości mierzonych i poczynione na ich podstawie oceny dla obydwu ściernic można stwierdzić, że ściernica **B** była lepszym narzędziem do wypełnienia zadania technologicznego, najbardziej czułym parametrem oceny była temperatura przedmiotów przecinanych.

Mając na uwadze praktyczny dobór narzędzi do produkcji w zakresie przecinania ściernicowego przez porównanie ich pracy warto wykorzystać ten wniosek, szczególnie w sytuacji, gdy są łatwo dostępne przenośne pirometry punktowe. Przydatność takiego postępowania przeanalizowano wykonywując wyniki prezentowanych wyżej badań.

Moc szlifowania potrzebna do przecinania w narzuconych warunkach obciążenia i kinematyki procesu w znacznej części zamieniana jest w strumień ciepła pochłaniany przez układ obrabiarka-uchwyt-przedmiot-narzędzie. O intensywności tego strumienia świadczy przyrost temperatury części składowych układu.

W badaniach mierzono i rejestrowano przyrosty temperatury przedmiotu, jako miejsca akumulacji ciepła. Warto więc sprawdzić, jak uzależniony jest przyrost temperatury przedmiotu od mocy szlifowania. W tym celu obliczono właściwą moc szlifowania dla kolejnych wariantów badań stosując zależność:

$$P'_s = F'_t v_s, \quad (1)$$

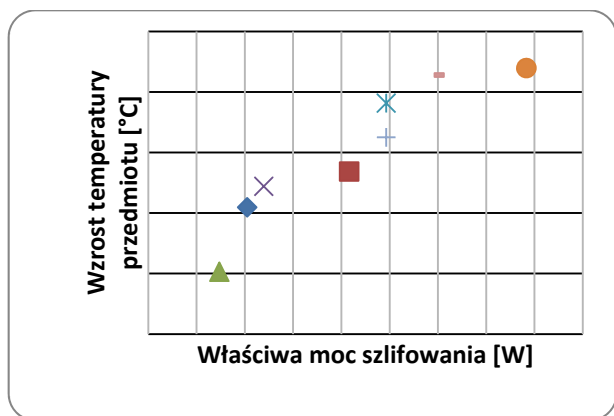
a wyniki zamieszczono w tabeli 6.

Tab. 6. Zestawienie wartości mocy właściwej szlifowania

Ściernica	Prędkość [m/s]	Moc właściwa P'_s [W]	
		Dla $F'_n=6$ [N]	Dla $F'_n=12$ [N]
A	24	151,2	223,2
	34	204	295,8
B	24	136,8	223,2
	34	159,8	248,2

Mniejsze zapotrzebowanie mocy szlifowania w procesie przecinania wystąpiło zasadniczo dla ściernicy **B**. Pokrywa się ono z najmniejszymi przyrostami wartości temperatury przedmiotów podczas przecinania tą ściernicą (tab. 3).

Celem określenia zależności pomiędzy tymi wielkościami procesu wykonano zestawienie porównawcze pomiędzy potrzebną mocą przecinania, a wzrostem temperatury przedmiotu w trakcie trwania operacji, co pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Zależność przyrostu temperatury przedmiotu od właściwej mocy przecinania

Badania wykazały, że większa moc szlifowania wywoła większy strumień energii cieplnej, ale ponadto okazało się, że korelacja pomiędzy tymi wielkościami jest silna i wynosi dla uzyskanych wyników badań przy zależności proporcjonalnej $r=0,902$. Wynik ten oprócz informacji o mniejszym nagrzewaniu warstwy wierzchniej przedmiotów informuje również o proporcjonalnie mniejszym zapotrzebowaniu mocy bez potrzeby używania innych przyrządów pomiarowych. Stąd też, warto wykorzystać ten aspekt badań do uzasadnionego stosowania przenośnych pirometrów punkt porównawczej oceny i wyboru ściernicy dla operacji przecinania.

Podsumowanie

Z analizy wyników badań przydatności eksploatacyjnej dwóch dostępnych, porównywalnych ściernic diamentowych ze spoiwem żywicznym wynika, że lepsze właściwości skrawne wykazała ściernica **B** o wymiarach 150x20x0,8. Wartości składowej siły stycznej dla tej ściernicy były do 15% mniejsze. Wzrost temperatury był wyraźnie mniejszy dla tej ściernicy, nawet dwukrotnie, co ma bezpośredni wpływ na stan warstwy wierzchniej przedmiotów przecinanych.

Wyniki operacji przecinania określone jej wydajnością i chropowatością wskazały również na korzystniejsze zastosowanie ściernicy **B**. Wydajność obróbki była o połowę większa, a chropowatość powierzchni po przecinaniu o klasę mniejsza.

Dodatkowa analiza wykazała silną korelację pomiędzy zaangażowaną mocą szlifowania a wzrostem temperatury przedmiotów przecinanych. Można to wykorzystać do praktycznej oceny porównawczej przydatności narzędzi diamentowych ze spoiwem żywicznym do operacji przecinania pod kątem cieplnych i energetycznych warunków procesu za pomocą popularnych przenośnych pirometrów punktowych.

LITERATURA

1. Niżankowski C., Misiura A.: Ocena rangi przyczyn uszkodzenia ściernic w procesie przecinania ściernicowego przy wykorzystaniu ważonego diagramu Ishikawy [online] [dostęp: 14-11-2013]. Dostępny w Internecie: http://www.ptzp.org.pl/files/konferencje/kzz/artyk_pdf_2009/087_Nizankowski_Misiura.pdf
2. Biegalski H.: Metoda prognozowania właściwości użytkowych i jakości ściernic do przecinania. Gdańsk: Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, 2010.
3. Oczko K., Porzycki J.: Szlifowanie, Podstawy i technika, WNT Warszawa 1986.
4. Urbaniak M.: System projektowania i oceny ściernic supertwardych ze spoiwem żywicznym, Monografie Politechniki Łódzkiej, Łódź 2013.
5. Praca zbiorowa: Process monitoring in Grinding. Annals of the CIRP vol. 51/2/2002.
6. König W. Messer J.: Influence of the composition and structure of steels on grinding process. Annals of the CIRP1981, No 2.
7. Malkin S., Guo C.: Thermal analysis of grinding. Annals of CIRP 760 – 782, vol. 56/2/2007.
8. Bojanowska J.: Ocena porównawcza przydatności wybranych ściernic diamentowych ze spoiwem żywicznym do przecinania węglików spiekanych, Praca inżynierska, Politechnika Łódzka.
9. Snoeys R., Maris M., Peters J.: Thermally induced damage in grinding, Annals of the CIRP 1978, No 2.