

# Analiza oddziaływania zużycia ściernicy z korundu monokrystalicznego na siłę szlifowania i chropowatość powierzchni w procesie szlifowania obwodowego stali 100Cr6

Analysis of influence of the mono-crystalline corundum grinding wheel wear on grinding forces and roughness parameters in peripheral surface grinding of 100Cr6 steel

MARCIN ŻÓŁKOŚ  
WITOLD HABRAT  
JANUSZ ŚWIDER  
ELŻBIETA SOCHA\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.8-9.110>

W artykule przedstawiono warunki i wyniki badań doświadczalnych dotyczących zużycia ściernicy monokorundowej ze spoiwem ceramicznym M3X60K5VE01-35 podczas szlifowania obwodowego stali 100Cr6. Analizowano oddziaływanie zużycia ściernicy na wartości składowych siły szlifowania oraz parametry chropowatości powierzchni. Zużycie określano poprzez pomiar profili czynnej powierzchni ściernicy z zastosowaniem czujnika indukcyjnego. Wykazano, że przyrost składowej normalnej siły szlifowania w czasie procesu może stanowić kryterium zużycia ściernicy ze względu na charakter zmian w czasie.

**SŁOWA KLUCZOWE:** szlifowanie obwodowe płaszczyzn, 100Cr6, zużycie, M3X60K5VE01-35

*The paper presents the experimental study conditions and results of M3X60K5VE01-35 monocorundum with vitrified bond grinding wheel wear in 100Cr6 steel peripheral grinding process. The effect of grinding wheel wear on the values of grinding force components as well as surface roughness parameters was analyzed. The grinding wheel wear was determined by profile measurement of the active grinding wheel surface using an inductive sensor. It was shown that the increase in the normal component of the grinding force during the process can be an acceptable criterion for wear of the grinding wheel due to the quasi-linear changes over time.*

**KEYWORDS:** peripheral surface grinding, 100Cr6, wear, M3X60K5VE01-35

W procesie szlifowania istotną rolę odgrywa zjawisko zużycia ściernicy, które wpływa na wydajność procesu, wartości składowych siły szlifowania i jakość powierzchni po obróbce [1, 2]. Ważne jest zatem, aby w całym okresie trwałości ściernica nie traciła makrogeometrii nadanej podczas procesu obciążania. Zapewnia to uzyskiwanie zakładanego kształtu obrabianej części i przekłada się na rzadsze przywracanie pierwotnego profilu czynnej powierzchni ściernicy. Wiąże się to nierozzerwalnie ze wzrostem wydajności procesu szlifowania dzięki zmniejszeniu stosunku czasów przygotowawczych do czasów obróbkowych.

\* Mgr inż. Marcin Żółkoś (markos@prz.edu.pl), dr inż. Witold Habrat (witekhab@prz.edu.pl) – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej; dr inż. Janusz Świder (swider@cerel.pl) – Instytut Energetyki Oddział Ceramiki CEREL; dr inż. Elżbieta Socha (elzbieta.socha@andre.com.pl) – Andre Abrasive Articles

Przebieg zużycia ściernicy zależy od zastosowanego ziarna ściernego, składu spoiwa oraz sposobu wytwarzania [1, 2]. Dążenie do zwiększenia wydajności poprzez ograniczenie zużycia ściernicy ma różne formy i polega m.in. na opracowywaniu nowych odmian materiałów ściernych, rozwijaniu oraz modyfikacjach materiałów istniejących lub stosowaniu różnych mieszanek ziaren ściernych.

Spoiwa ceramiczne są jednymi z najczęściej wykorzystywanych spoiw do produkcji ściernic. Taki stan rzeczy zawdzięczają takim własnościom, jak odporność na wysoką temperaturę, nieelastyczność i odporność na wpływ chłodziwa. Dzięki wysokiej wytrzymałości pozwalają na tworzenie ściernic o zróżnicowanej porowatości, a także umożliwiają uzyskanie najszerzej skali twardości [1, 3]. Dodatkowo są twarde i nie mięknią pod wpływem wysokiej temperatury, przez co zapewniają ściernicom dobrą zdolność do utrzymywania nadanego im kształtu. Z tego względu ściernice o spoiwie ceramicznym służą zazwyczaj do precyzyjnego szlifowania płaszczyzn, wałków, otworów i profili.

W artykule przeanalizowano wpływ zużycia ściernicy monokorundowej ze spoiwem ceramicznym na siłę szlifowania i chropowatość powierzchni w procesie szlifowania obwodowego stali 100Cr6. Tę analizę oparto na pomiarach: profili czynnej powierzchni ściernicy, składowych siły szlifowania oraz chropowatości powierzchni.

## Warunki badań doświadczalnych

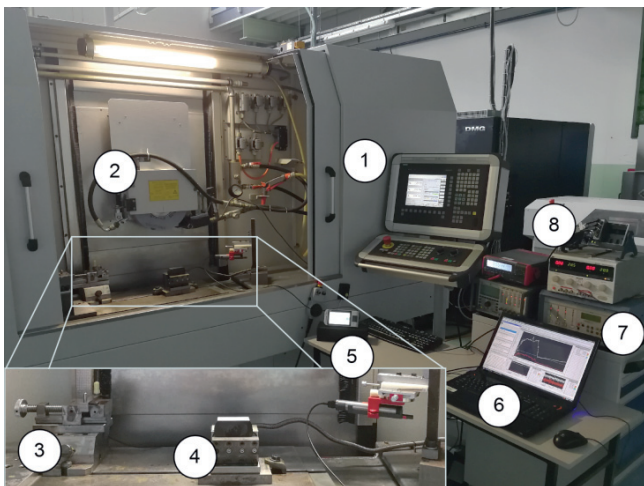
Badania doświadczalne procesu szlifowania obwodowego płaszczyzn przeprowadzono w laboratorium Katedry Techniki Wytwarzania i Automatyzacji na stanowisku badawczym (rys. 1), którego podstawową częścią jest szlifierka do płaszczyzn FS 640 firmy Geibel & Hotz GmbH. Stanowisko zostało wyposażone w siłomierz piezoelektryczny typu 9121 firmy Kistler, pozwalający na pomiar składowych siły szlifowania. Do pomiaru chropowatości powierzchni wykorzystano profilometr MarSurf PS 10 firmy Mahr. Pomiaru czynnej powierzchni ściernicy wykonywano za pomocą stykowego czujnika indukcyjnego TESA GT21.

Materiałem obrabianym była stal 100Cr6, hartowana na wskroś i odpuszczana do twardości 58 HRC. Do badań użyto ściernicy firmy Andre Abrasive Articles (typu 7),

z dwustronnym wybraniem walcowym o zarysie A (według katalogu firmy [4]). Badana ściernica o oznaczeniu M3X60K5VE01-35 ma ziarna ściernic średniej wielkości z monokrystalicznego korundu, z 30-procentowym udziałem elektrokorundu mikrokrystalicznego, wiązane spoiwem ceramicznym.

Badania przeprowadzono w układzie przeciwbieżnego szlifowania obwodowego płaszczyzny o szerokości 30 mm i długości 50 mm.

Przed procesem zużywania ściernicy następowało jej obciążenie za pomocą obciążacza diamentowego jednoziarnistego, a następnie w kolejnych przejściach obróbkowych – usuwanie materiału. Jedno przejście obróbkowe składało się z czterech przejść składowych. W pierwszym przejściu następowały dosuw i usunięcie większości materiału, natomiast trzy kolejne stanowiły przejścia wyiskrzające. Szlifowanie wykonywano ze stałymi parametrami technologicznymi, których wartości przedstawiono w tablicy. W trakcie obróbki wykorzystywano układ chłodzenia wysokociśnieniowego, w którym chłodziwo w postaci 5-procentowej emulsji syntetycznej było podawane



Rys. 1. Widok stanowiska badawczego: 1 – szlifierka FS 640 Z; 2 – ściernica referencyjna; 3 – obciążacz diamentowy i stykowy czujnik indukcyjny; 4 – materiał obrabiany, zamocowany w siłomierzu; 5 – profilometr MarSurf PS 10 w regulowanym uchwycie; 6 – komputer z oprogramowaniem LabVIEW SignalExpress; 7 – wzmacniacz Kistler 5019 A; 8 – karta pomiarowa NI 9215

**TABLICA. Warunki badań doświadczalnych**

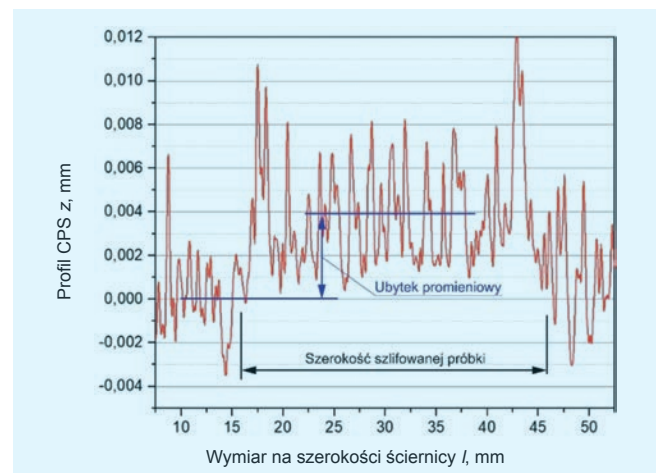
Obrabiarka	G+H FS 640 Z
Rodzaj obróbki	przeciwbieżne szlifowanie obwodowe płaszczyzny
Materiał obrabiany	stal 100Cr6, 58 HRC
Badana ściernica	ściernica obwodowa 7-300x50x76.2 P100;F10;G10 M3X60K5VE01-35
Średni rozmiar ziarna ściernego $F$ , $\mu\text{m}$	275
Liczba przejść obróbkowych	1
Liczba przejść wyiskrzających	3
Długość szlifowania $l_s$ , mm	50
Szerokość szlifowania $a_p$ , mm	30
Chłodzenie procesu	zalewowe
Ciśnienie PCS $p$ , MPa	1
Wydatek PCS $q$ , l/min	22
Chłodziwo	emulsja syntetyczna 5%
Prędkość obwodowa dla szlifowania $v_s$ , m/s	30
Posuw $v_f$ , mm/min	4000
Dosuw szlifowania $a_e$ , mm	0,02
Prędkość obwodowa dla obciążania $v_{oi}$ , m/s	25
Dosuw obciążania $a_{ei}$ , mm	0,02
Liczba przejść dla obciążania	3
Wskaźnik pokrycia przy obciążaniu $k_d$	6

do strefy szlifowania za pomocą dyszy igłowej pod ciśnieniem 1 MPa, co odpowiadało wartości przepływu równej 22 l/min [5, 6].

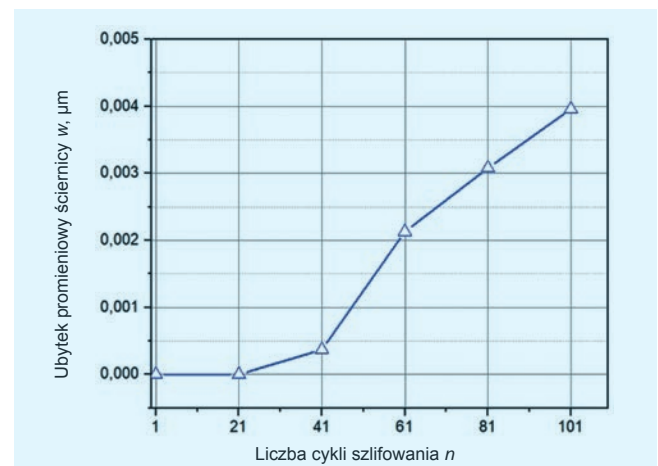
Wartości składowych siły szlifowania były rejestrowane dla każdego przejścia obróbkowego, natomiast pomiary chropowatości powierzchni oraz czynnej powierzchni ściernicy były wykonywane po pierwszym przejściu (traktowano je jako wartości odniesienia), a następnie – co każde 20 przejść obróbkowych.

## Wyniki badań doświadczalnych

Głównym celem badań było określenie oddziaływania zużycia ściernicy z korundu monokrystalicznego na składowe siły szlifowania i chropowatość powierzchni w procesie szlifowania obwodowego płaszczyzny próbki ze stali 100Cr6. W ramach badań ocenie poddano proces zużycia ściernicy M3X60K5VE01-35. Ocenę przeprowadzono na podstawie pomiarów chropowatości powierzchni oraz wartości składowych siły szlifowania w trakcie zużycia ściernicy, określanego przez pomiar ubytku promieniowego. Ubytek promieniowy określono na podstawie profilu czynnej powierzchni ściernicy (CPS) zgodnie z rys. 2. Przebieg zmian mierzonych wielkości wyjściowych określono w czasie, odnosząc się do liczby cykli szlifowania. Łącznie wykonano 101 cykli obróbkowych, w trakcie których usunięto 3030 mm<sup>3</sup> objętości materiału próbki. Zmianę ubytku promieniowego ściernicy w czasie wykonywania 101 cykli szlifowania przedstawiono na rys. 3.

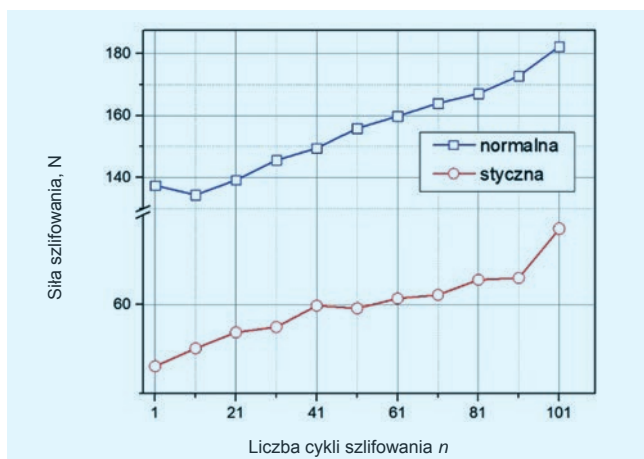


Rys. 2. Pomiar profilu CPS po 101 przejściach – na wykresie widoczny jest ubytek promieniowy ściernicy  $w = 0,0038$  mm

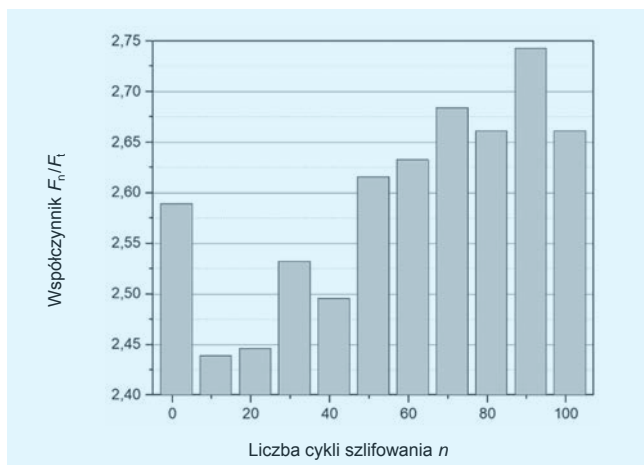


Rys. 3. Zmiany ubytku promieniowego ściernicy w okresie 101 cykli szlifowania

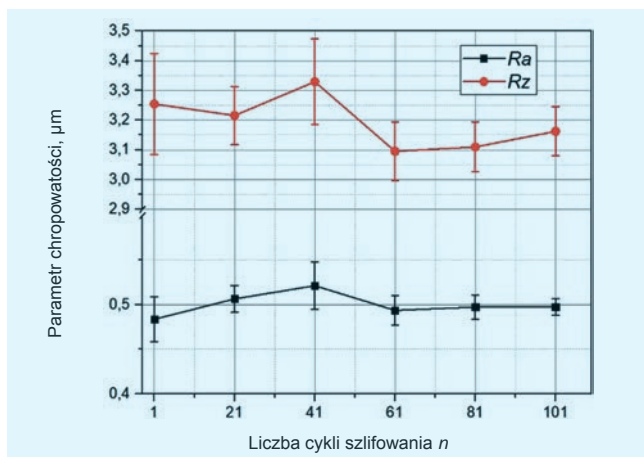
W okresie do 41. cyklu szlifowania zużycie charakteryzowało się niewielkim ubytkiem promieniowym. Po tym cyklu nastąpił znaczący wzrost intensywności zużycia, co prawdopodobnie było związane z procesem samoostrzenia poprzez wykruszanie się ziaren ściernych. Analizując zmiany składowych siły szlifowania, można zauważyć, że przyrost składowej normalnej w okresie pierwszych 40 cykli był o ponad 30% mniejszy niż dla kolejnych 40 cykli (rys. 4). Inną zależność otrzymano dla składowej



Rys. 4. Zmiana składowej normalnej i stycznej siły szlifowania przy ustalonych parametrach procesu ( $v_s = 30$  m/s,  $v_f = 4000$  mm/min,  $a_e = 0,02$  mm) w wyniku zużycia ściernicy w okresie 101 cykli szlifowania



Rys. 5. Zmiana stosunku składowej normalnej  $F_n$  do składowej stycznej  $F_t$  siły szlifowania w wyniku zużycia ściernicy w okresie 101 cykli szlifowania



Rys. 6. Zmiana parametrów chropowatości  $R_a$  i  $R_z$  w wyniku zużycia ściernicy w okresie 101 cykli szlifowania

stycznej – w tym przypadku przyrost dla kolejnych 40 cykli był o 57% mniejszy niż w początkowej fazie zużycia. Zmiana mechanizmu zużycia (następująca w okolicy 41. cyklu) objawia się zmianą stosunku wartości składowej normalnej siły szlifowania do składowej stycznej (rys. 5).

Zmiana mechanizmu zużycia – ze stępienia ziaren monokorundowych w początkowej fazie na wykruszanie i otwieranie nowych krawędzi skrawających w drugiej fazie zużycia – ma odzwierciedlenie w przyroście składowych siły szlifowania (w odróżnieniu od kształtowania chropowatości powierzchni). W trakcie analizowania przebiegu zmian chropowatości powierzchni w rozpatrywanym okresie trwałości ściernicy nie zaobserwowano istotnych zmian w zakresie parametrów  $R_a$  i  $R_z$  (rys. 6). Ściernice z ziarnem z korundu monokrystalicznego, w odróżnieniu od ściernic z korundu spiekane SG, nie mają możliwości uzyskania mikroostrzy w wyniku wykruszania się mikroziaren – składowych ziaren SG.

## Podsumowanie

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań można stwierdzić, że ściernica ze spoiwem ceramicznym VE01 przy przyjętych parametrach obciążania i szlifowania wykazuje dwa zależne od mechanizmu zużycia obszary w okresie trwałości. Pierwszy obszar obejmuje zużycie ziaren ściernych przez zmniejszenie ich ostrości (większy przyrost składowej stycznej siły szlifowania). W drugim obszarze wykruszenie ziaren ściernych powoduje ubytek promieniowy ściernicy, który mierzono z zastosowaniem czujnika indukcyjnego z końcówką walcową, w celu zsumowania profilu CPS.

Zużycie ściernicy silnie oddziałuje na składowe siły szlifowania – zarówno normalną, jak i styczną. Zmiana mechanizmu zużycia jest zauważalna poprzez zmianę przyrostu składowych w okresie trwałości ściernicy.

Zużycie ściernicy nie wykazało istotnego wpływu na parametry chropowatości powierzchni  $R_a$  i  $R_z$  po szlifowaniu.

Przedstawione badania potwierdziły możliwość zastosowania pomiaru składowych siły szlifowania jako pośredniej metody oceny zużycia ściernic z ziarnem z korundu monokrystalicznego.

**Badania współfinansowane w ramach projektu pt. „Ściernice do wysokowydajnościowego szlifowania z zastosowaniem nowej generacji szklanokrystalicznych spoiw ceramicznych” WRPO na lata 2014–2020, Działanie 1.2 Wzmocnienie potencjału innowacyjnego przedsiębiorstw Wielkopolski, wariant 1. Projekty polegające na prowadzeniu prac B+R.**

## LITERATURA

- Jackson M.J., Mills B. "Microscale wear of vitrified abrasive materials". *Journal of Materials Science*. 39, 6 (2004): s. 2131–2143.
- Jackson M.J., Mills B., Hitchiner M.P. "Controlled wear of vitrified abrasive materials for precision grinding applications". *Sadhana*. 28, 5 (2003): s. 897–914.
- Toenshoff H.K., Denkena B. "Basics of Cutting and Abrasive Processes". Berlin, Heidelberg: Springer, 2013.
- www.andre.com.pl (dostęp: 20.05.2018 r.).
- Babiarz R., Żyłka Ł., Płodzień M. „Koncepcja budowy układu wysokoociśnieniowego chłodzenia procesu szlifowania stopów lotniczych”. *Mechanik*. 87, 8–9 CD (2014): s. 4–7.
- Kieraś S., Nadolny K., Wójcik R. „Aktualny stan wiedzy i techniki w zakresie chłodzenia i smarowania strefy obróbki w procesach szlifowania”. *Mechanik*. 88, nr 8–9 CD1 (2015): s. 204–211.