

Radosław ROSIK¹
Jakub ŚWIERCZYŃSKI¹

WPŁYW METODY MQL NA PARAMETRY KSZTAŁTOWANIA CZYNNEJ POWIERZCHNI ŚCIERNICY I CHROPOWATOŚĆ WARSTWY WIERZCHNIEJ PRZEDMIOTU OBRABIANEGO

Kształtowanie warstwy wierzchniej przedmiotu obrabianego podczas procesu szlifowania powierzchni płaskich, zależy od wzajemnych relacji pomiędzy parametrami obciągania oraz szlifowania. W opracowaniu przedstawiono wpływ oddziaływania czynnej powierzchni ściernicy (CPS) na szlifowaną warstwę wierzchnią materiału obrabianego z udziałem cieczy obróbkowej podawanej w postaci mgły olejowej (MQL) oraz optymalne warunki smarowania próbki, tak aby wykluczyć przypalenia, pęknięcia oraz związane z nimi odkształcenia. Do rozważań przyjęto parametry chropowatości Ra, Rz i falistość obrabianego materiału oraz wartości stycznych i normalnych sił skrawania.

1. WSTĘP

Kształtowanie warstwy wierzchniej obrabianych powierzchni w procesie szlifowania przedmiotów płaskich jest istotnym zagadnieniem. Uzyskanie korzystnych właściwości warstwy wierzchniej, przyczynia się do wydłużenia czasu pracy elementów współpracujących ze sobą powierzchniami uprzednio obrobionymi. Chropowatość obrabianych powierzchni w szlifowaniu wzdłużnym, uwzględniając zarówno parametry nastawne procesu obciągania jednoziarnistym obciągaczem diamentowym (f_{ad} – posuw obciągania, a_{ed} – dosuw obciągania) oraz parametry szlifowania (v_w – prędkość przedmiotu, a_e – rzeczywista głębokość szlifowania) posiadają między tymi parametrami pewne relacje, które mają wpływ na końcową warstwę wierzchnią. Podawanie cieczy obróbkowej w obszar szlifowania z minimalnym wydatkiem olejowym (MQL – minimal quantity lubrication) jest technologią, która pozwala na zmniejszenie kosztów produkcji. Stosowane oleje w systemie MQL są nieszkodliwe dla człowieka i środowiska.

W procesie szlifowania ważnym elementem jest dobór odpowiedniego smarowania oraz warunków skrawania, natomiast w procesie obciągania ważnym elementem jest odpowiednie chłodzenie diamentu. Diament podczas obciągania ściernicy nagrzewa się do bardzo wysokich temperatur, co może doprowadzić do jego przemiany w miękki grafit i utraty właściwości skrawnych. Dlatego racjonalnym rozwiązaniem jest, wykorzystanie metody MQL do smarowania, a przez to obniżenia temperatury pracy diamentu, co wpływa na wydłużenie jego czasu pracy podczas obciągania ściernicy.

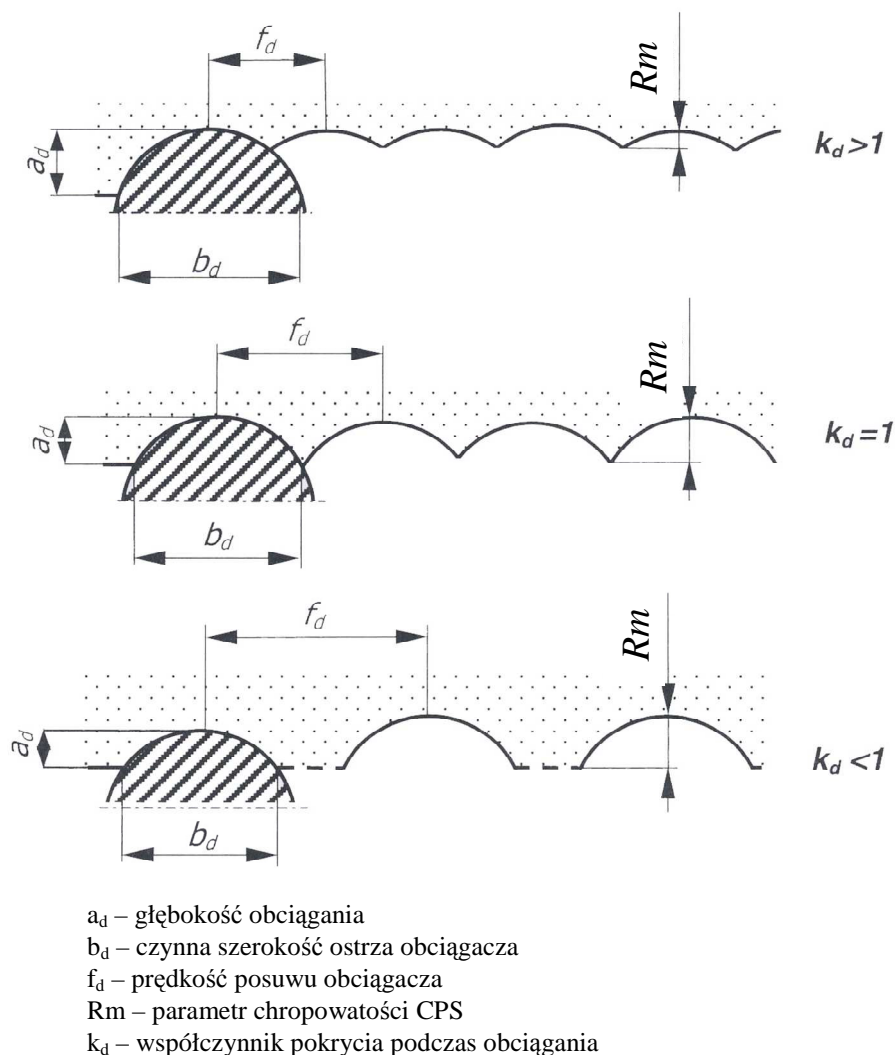
¹ Instytut Obrabiarek i TBM Politechniki Łódzkiej

W poniższym artykule poruszony jest jeden z ważnych problemów podczas procesu szlifowania: czy wyrównywanie czynnej powierzchni ściernicy, z użyciem systemu MQL do smarowania diamentu, ma bezpośredni wpływ na polepszenie jakości powierzchni obrabianej?

Na Politechnice Łódzkiej w Instytucie Obrabiarek i Technologii Budowy Maszyn realizowane są badania, obejmujące wpływ warunków obciążania ściernicy przy smarowaniu diamentu na końcową chropowatość powierzchni obrabianej przy użyciu systemu MQL podczas tych operacji.

2. KSZTAŁTOWANIE CZYNNEJ POWIERZCHNI ŚCIERNICY

Między procesem obciążania i procesem szlifowania istnieje ściśle powiązanie. W procesie obciążania, ściernica spełnia rolę przedmiotu obrabianego, zaś jej profil i topografia stanowią wielkości wyjściowe tego procesu. Wielkości wyjściowe procesu kształtowania czynnej powierzchni ściernicy stają się wielkościami wejściowymi procesu szlifowania [3].



Rys. 1. Wpływ wskaźnika pokrycia przy obciążaniu na topografię CPS [2]
 Fig. 1. Effect of the covered rate on the topography of the CPS by dressing process [2]

W procesie obciągania jednoziarnistym obciągaczem diamentowym, kształtowanie czynnej powierzchni ściernicy (CPS) następuje wzdłuż linii śrubowej wynikającej z posuwu osiowego obciągania f_{ad} , co powoduje, że uzyskany w takim procesie profil ściernicy ma charakter periodyczny [1]. Dodatkowe smarowanie przez system MQL powoduje lepszy poślizg diamentu. Powietrze z systemu MQL, które jest doprowadzone pod ciśnieniem 6 bar usuwa resztki skruszonych ziaren jakie pozostały na powierzchni ściernicy po obciąganiu.

Ważnym parametrem podczas obciągania jest wskaźnik pokrycia – k_d , który jest zdefiniowany zależnością (1).

$$k_d = \frac{b_d}{f_d} \quad (1)$$

b_d – czynna szerokość ostrza obciągacza,

f_d – prędkość posuwu obciągania.

Wskaźnik k_d ma zasadniczy wpływ na topografię kształtowania, a zwłaszcza na chropowatość CPS (rys. 1) Utrzymanie stałej wartości wskaźnika k_d w procesie obciągania ściernicy ma istotne znaczenie dla powtarzalnego stanu CPS, zwłaszcza gdy występuje zużycie ostrza obciągacza [3].

3. WARUNKI BADAŃ

Do badań wpływu procesu obciągania na warstwę wierzchnią przedmiotu obrabianego wykorzystano próbkę z trudnoobrabialnego stopu tytanu Tigr5 oraz dotychczas popularną ciecz obróbkową w metodzie MQL CO Biocut 3000. W badaniach oceniono wpływ kształtowania czynnej powierzchni ściernicy, z wykorzystaniem systemu MQL do smarowania obciągacza, na uzyskanie jak najmniejszej chropowatości warstwy wierzchniej przedmiotu obrabianego podczas szlifowania wgłębnego.

Podczas przeprowadzonych badań wykorzystywano mgłę olejową, jako medium smarujące zarówno diament jak i czynną powierzchnie ściernicy, w celu zapewnienia optymalnych warunków smarowania, tak aby uniknąć na warstwie wierzchniej (WW) przedmiotu obrabianego przypaleń, pęknięć oraz związanych z nimi odkształceń. W badaniach jako wskaźniki oceny przyjęto parametry chropowatości powierzchni obrabianych R_a i R_z , falistość warstwy wierzchniej oraz rozkład siły szlifowania.

W badaniach procesu szlifowania do pomiaru siły stycznej wykorzystano siłomierz firmy Kistler model 9321B, na którym zamocowano imadło, służące do mocowania próbki (rys. 2). Sygnał z siłomierza był przesyłany do wzmacniacza 5011A, podłączonego do modułu firmy KEITHLEY model kusb-3108, który zbierał dane i wysyłał je do komputera (rys. 3). W tabeli 1 przedstawiono warunki obróbki stosowane w badaniach.

Do pomiaru chropowatości wykorzystano przenośny przyrząd firmy Hommel model T500. Dane z przyrządu pomiarowego przesyłane są do komputera, które za pomocą oprogramowania TDW-NT, załączonego przez producenta, są przetwarzane i prezentowane w postaci tabelarycznej i wykresów.

Do badań wykorzystano dwie zablokowane ściernice nowej generacji: 5TGP, 3XGP, które są przeznaczone do obróbki materiałów trudnoobrabialnych. Dzięki temu, że obie

Tabela 1. Warunki obróbki
Table 1. Grinding conditions

Warunki obróbki	
Rodzaj obróbki	Szlifowanie wgłębne
Ściernica	5TGP 54K VX
Ściernica	3XGP 54K VY
Prędkość szlifowania v_s	$v_s = 30$ m/s
Prędkość przedmiotu v_w	$v_w = 3,2$ m/min
Głębokość szlifowania a_e	$a_e = 0,02$ mm
Metoda chłodzenia	ML
Wydajność MQL	$Q = 25$ ml/h
Ciśnienie powietrza	$P = 0,6$ MPa
Płyn chłodzący	Biocut 3000
Materiał obrabiany	TIGR 5 C 0,23; Fe 0,15; Al 6,5; V 4,4; N 0,017; O 0,13; H 0,0024
Wymiary próbki [mm]	100 x 10 x 10
Obciążacz	jednoziarnisty diament
Głębokość obciążania a_d	$a_d = 0,02$ mm
Prędkość obciążania	$f_d = 0,18$ mm/obr $\rightarrow k_d = 4,44$
Prędkość obciążania	$f_d = 0,24$ mm/obr $\rightarrow k_d = 3,3$
Prędkość obciążania	$f_d = 0,67$ mm/obr $\rightarrow k_d = 1,2$

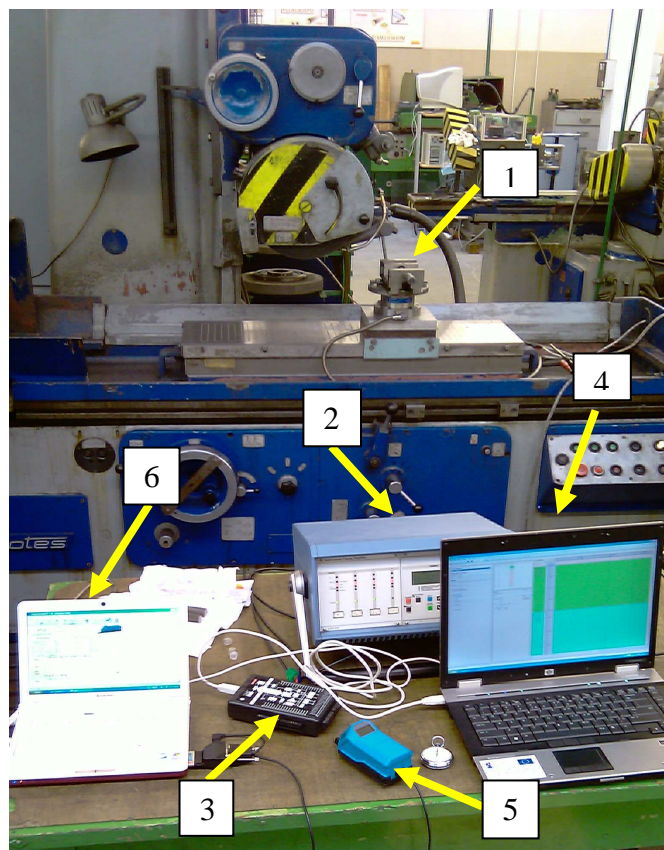


Rys. 2. Stanowisko badawcze, sposób mocowania próbek na siłomierzu
Fig. 2. Experimental station, the method of mounting samples on a dynamometer

ściernice były zespolone, warunki podczas kształtowania czynnej powierzchni ściernicy były identyczne, przez co można było porównać i zbadać zachowanie CPS dla dwóch różnych ściernic oraz ich oddziaływanie na warstwę wierzchnią przedmiotu obrabianego. Starano się znaleźć takie optymalne ustawienie dyszy, aby jak najwięcej cieczy pozostawało na próbce tuż przed wejściem ściernicy w kontakt z przedmiotem, zmniejszając tarcie. Szlifowano powierzchnie płaskie próbki tytanu TIGR5 o wymiarach 100 x 10 x 10 mm.

Przed każdą próbą szlifowania kształtowano ściernicę diamentem jednoziarnistym, stosując trzy różne prędkości posuwu diamentu podczas obciążania:

- wolny ($f_d = 0,18\text{mm/obr}$),
- średni ($f_d = 0,24\text{mm/obr}$),
- szybki ($f_d = 0,67\text{mm/obr}$).



Rys. 3 Stanowisko pomiarowe: 1 – próbka na siłomierzu, 2 – wzmacniacz 5011A, 3- moduł kusb-3108, 4 – komputer do którego są przesyłane dane z modułu kusb-3108, 5 – profolometr Hommel, 6 - komputer do którego są przesyłane dane z profilometru

Fig. 3 Experimental station: 1 – material on the dynamometer, 2 – resonator 5011A, 3 – module kusb 3108, 4 – Notebook connected with module kusb 3108, 5- surface roughness tester Hommel, 6 Notebook connected with surface roughness tester

Podczas procesu obciągania (rys. 4), diament oraz czynna powierzchnia ściernicy była smarowana poprzez wytworzoną przez system MQL mgłą olejową. Zmniejszenie zużycia diamentu można uzyskać przez sztywne zamocowanie oraz przez dobre chłodzenie od samego początku procesu obciągania. Diament podczas kształtowania CPS szybko się nagrzewa do wysokiej temperatury i istnieje niebezpieczeństwo jego przemiany w grafit oraz utraty zdolności skrawnych. Jeżeli chłodziwo doprowadzone byłoby z zimnym powietrzem dopiero podczas kształtowania ściernicy, diament mógłby doznać szoku termicznego i w konsekwencji pęknąć. Aby przedłużyć zdolności użytkowe diamentu, wskazane jest stałe i skuteczne jego chłodzenie, aby odprowadzić dużą ilość ciepła. Chłodziwo doprowadzane pod dużym ciśnieniem wydmuchuje resztki skruszonych ziaren z powierzchni ściernicy, oraz usuwa opiłki materiału ze ściernicy, które mają wpływ na końcową topografię CPS.



Rys.4. Sposób przygotowania stanowiska do pracy: regeneracja czynnej powierzchni ściernicy
Fig.4. Preparation of experimental stand to work: regeneration of active surface of the grinding wheel

Próbki szlifowano w głąb materiału na szlifierce typu SPD – 30b firmy JOTES, stosując poniższe parametry: posuw $v_w = 3,2$ m/min, rzeczywista głębokości szlifowania $a_e = 0,02$ mm, kierunek szlifowania współbieżny z ruchem przedmiotu obrabianego. Podczas procesu szlifowania odczytywano wartości powstałych stycznych oraz normalnych sił skrawania. Po zakończeniu szlifowania przeprowadzono pomiar chropowatości powierzchni na próbkach w 5-ciu punktach.

4. WYNIKI BADAŃ

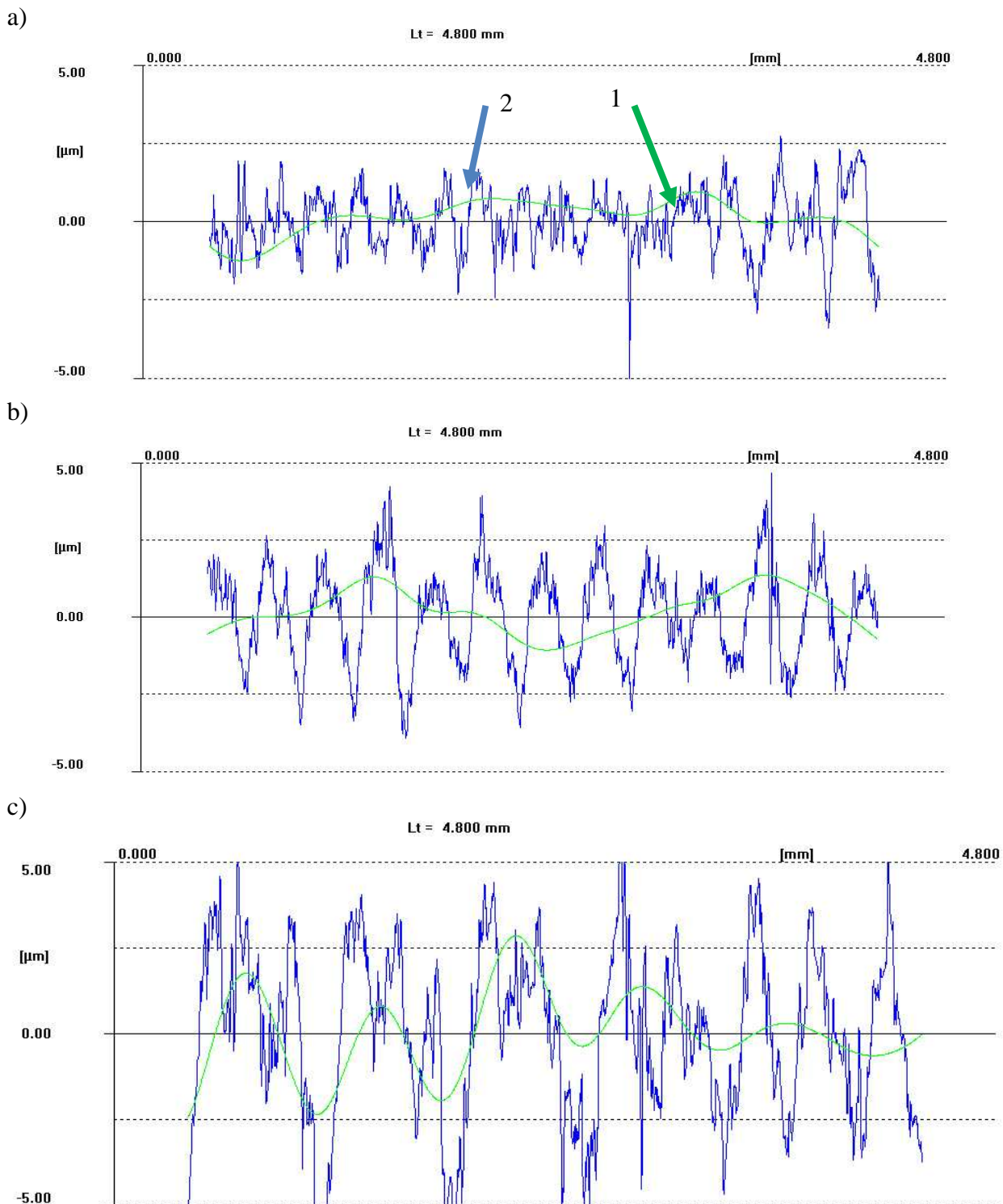
4.1. WYNIKI BADAŃ CHROPOWATOŚCI

Badania doświadczalne wykazały, że smarowanie systemem MQL zmniejsza zużycie diamentu, a prędkość posuwu diamentu podczas obciągania ma znaczący wpływ na profil CPS, który znacząco wpływa na ostateczne kształtowanie powierzchni przedmiotu obrabianego podczas szlifowania [3].

Podczas wolnego posuwu $f_d = 0,18$ mm/obr uzyskano warstwę wierzchnią przedmiotu obrobionego bez przypaleń. Profil powierzchni próbki tytanu został pokazany na rys 5a. Otrzymana falistość i chropowatość powierzchni materiału jest odzwierciedleniem tego, jak została wcześniej ukształtowana CPS. Po obróbce z wolnym posuwem falistość powierzchni mieści się w przedziale $\pm 1\mu\text{m}$, natomiast profil chropowatości w przedziale $\pm 2\mu\text{m}$. Wykres chropowatości przedstawiono na rys. 6a.

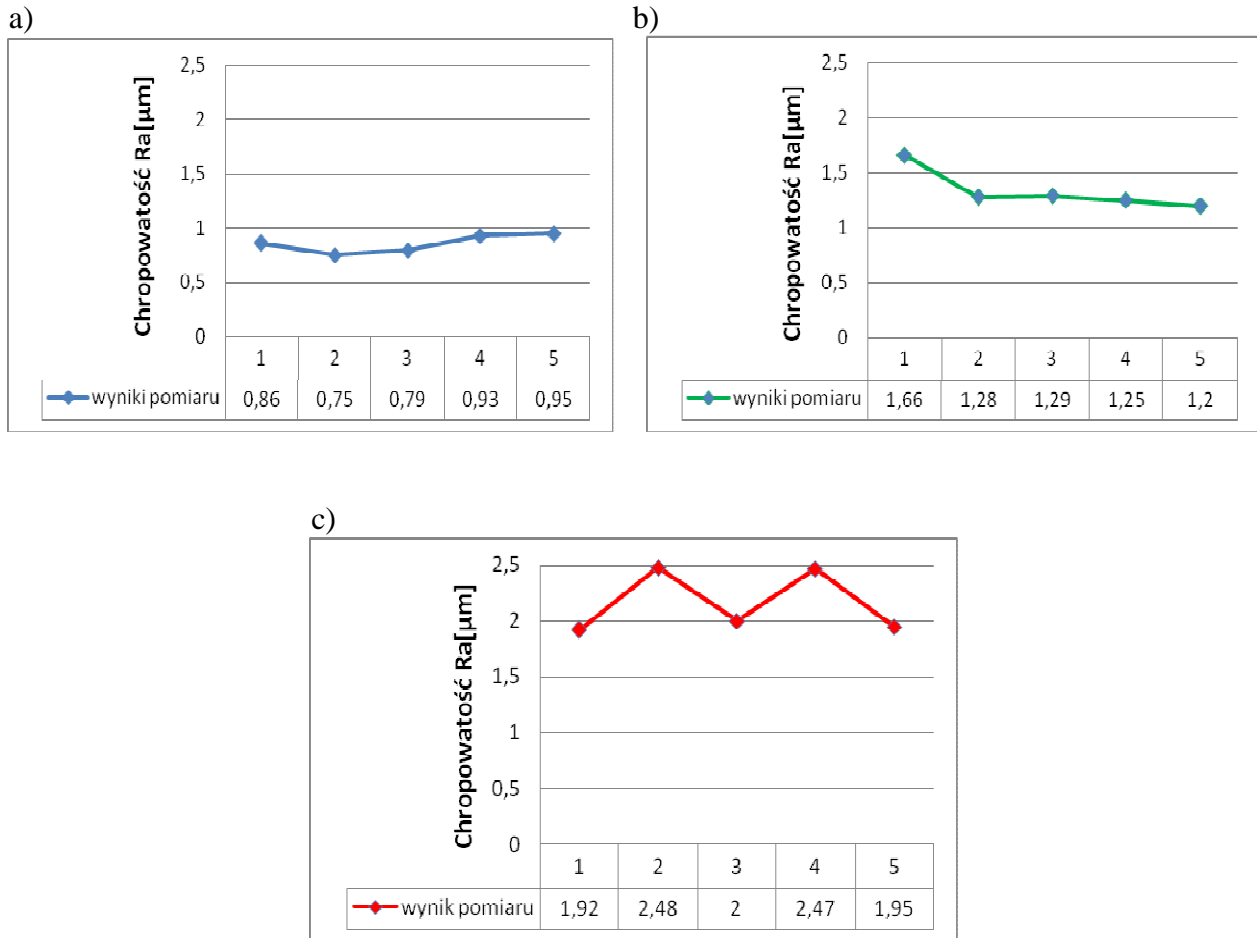
Całkiem inaczej przedstawia się powierzchnia tytanu podczas obróbki szlifierskiej, gdy posuw przy obciąganiu diamentem wynosił $f_d = 0,24$ mm/obr. Nastąpił 50% wzrost wysokości profilu falistości i chropowatości próbki (rys. 5b) w stosunku do wolnego posuwu obciągacza. Zanotowano też znaczny wzrost średniej wartości parametru chropowatości R_a (rys.6b).

Podczas posuwu obciągacza o wartości $f_d = 0,67$ mm/obr na powierzchni przedmiotu obrabianego pojawia się wada warstwy wierzchniej w postaci faktuury, która jest kinematycznie – geometrycznym odwzorowaniem CPS rys. 7.



Rys. 5. Wykresy opisujące warstwę wierzchnią Tigr5 po szlifowaniu w 3 punkcie pomiarowym: 1 –chropowatość, 2 –falistość; dla: a) $f_d = 0,18$ mm/obr, b) $f_d = 0,24$ mm/obr, c) $f_d = 0,67$ mm/obr

Fig. 5. Charts which describe surface layer Tigr5 after grinding in the three test point: 1- progress roughness, 2 – progress wavy finish for: a) $f_d = 0,18$ mm/rev, b) $f_d = 0,24$ mm/rev, c) $f_d = 0,67$ mm/rev



Rys .6. Wyniki chropowości powierzchni na całej próbce mierzone w 5 punktach: a) $f_d = 0,18\text{mm/obr}$,
b) $f_d = 0,24\text{mm/obr}$, c) $f_d = 0,67\text{mm/obr}$

Fig. 6. Roughness results on a surface layer measured in five points for: a) $f_d = 0,18\text{mm/rev}$, b) $f_d = 0,24\text{mm/rev}$,
c) $f_d = 0,67\text{mm/rev}$



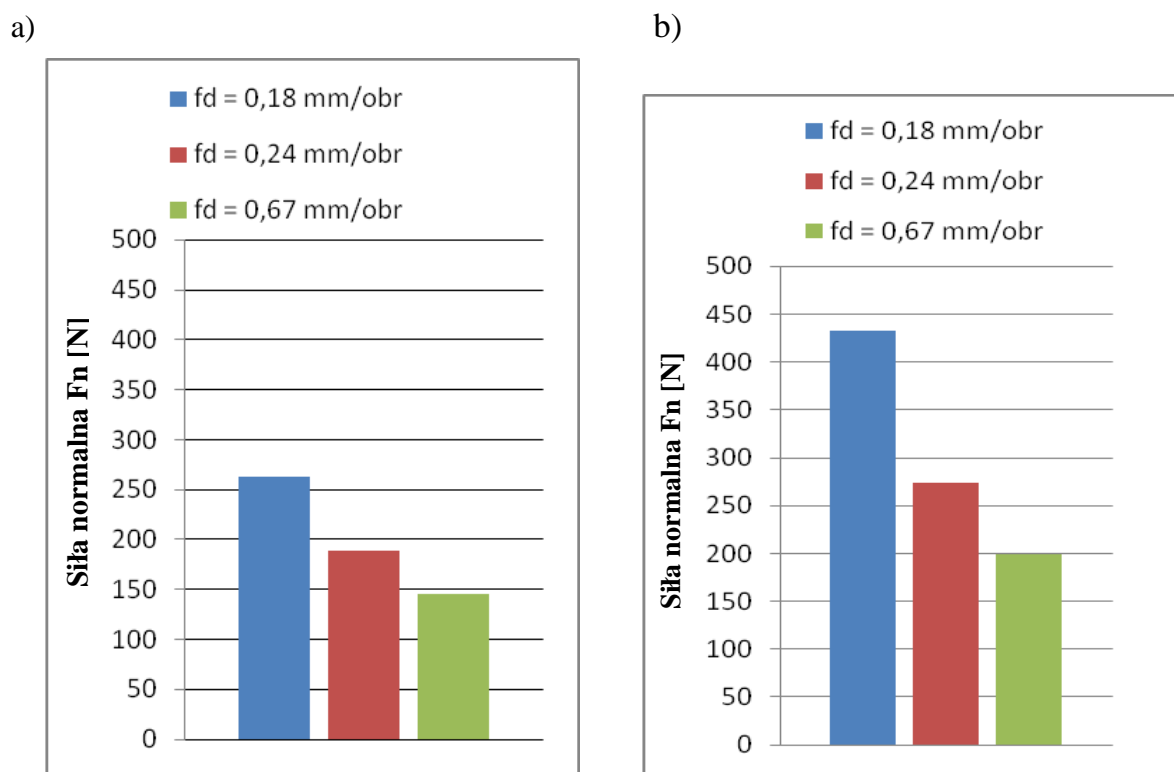
Rys. 7. Powierzchnia próbki po szlifowaniu - $f_d = 0,67\text{mm/obr}$

Fig. 7. Material surface layer after grinding process - $f_d = 0,67\text{mm/rev}$

Oprócz widocznych wad WW przedmiotu obrabianego w postaci faktury, obróbka tak przygotowaną ściernicą powodowała znaczny wzrost chropowości Ra (rys. 6c). Na rys. 5c przedstawiono zależność chropowości od szybkiego posuwu f_d . Na wykresie można zaobserwować, że podczas obciągania z dużym posuwem zamiast stabilnej i równej powierzchni ściernicy powstała na CPS powierzchnia śrubowa, co wpłynęło na odwzorowanie jej na warstwie wierzchniej obrabianego materiału. Badania wykazały, że nastąpił dwukrotny wzrost chropowości na próbce w stosunku do wolnego posuwu obciągania.

4.2. WYNIKI BADAŃ NORMALNEJ I STYCZNEJ SIŁY SKRAWANIA

Przeprowadzone badania prędkości posuwu obciągania wskazały, że wywiera ona wyraźny wpływ na kształtowanie czynnej powierzchni ściernicy. Wraz ze wzrostem prędkości obciągania ściernicy, proces ten staje się mniej dokładny, co prowadzi do tego, że CPS staje się bardziej chropowata, czyli R_m ściernicy rośnie. Zatem ilość naostrzonych ziaren maleje, co powoduje że spada ilość ziaren, które są w stanie aktywnie skrawać materiał. Na wykresach 8 i 9 przedstawiono zależność prędkości obciągania ściernicy i sił skrawania podczas szlifowania materiału TIGR5.

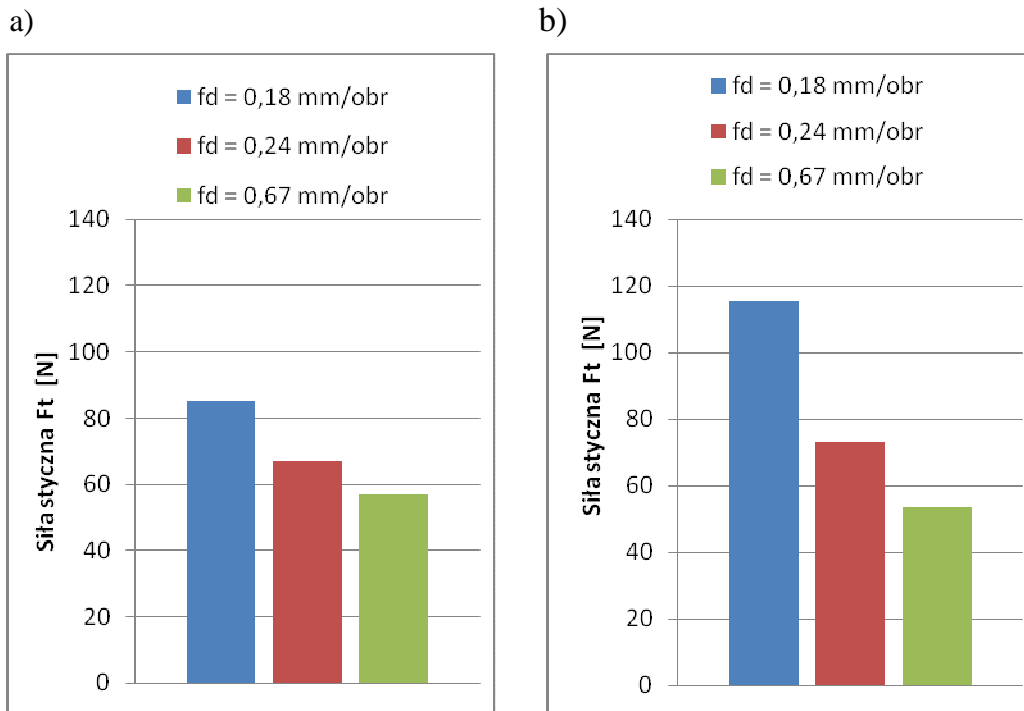


Rys. 8. Wpływ prędkości obciągania na średnie siły normalne F_n podczas szlifowania próbki TIGR5 :
a) dla ściernicy 5TGP, b) dla ściernicy 3XGP

Rys. 8. Effect dressing speed by average normal force F_n during grinding of material TIGR5 for:
a) grinding wheel 5TGP, b) grinding wheel 3XGP

Można zauważyć, że wielkość sił normalnych podczas szlifowania ściernicą 5TGP jest znacznie mniejsza, w porównaniu do sił powstałych od szlifowania ściernicą 3XGP. Podczas szlifowania ściernicą, dla której zastosowano $f_d = 0,67$ mm/obr, wartość siły normalnej spadła o ponad 43%, w porównaniu do $f_d = 0,18$ mm/obr oraz o ponad 20% w porównaniu do $f_d = 0,24$ mm/obr. Przeprowadzone badania wykazały, że ściernica 5TGP 54K VX jest korzystniejsza w przypadku szlifowania materiału TIGR 5.

Wartości sił stycznych również znacząco się różnią dla obu badanych ściernic. Dla ściernicy 5TGP obciąganej z posuwem $f_d = 0,67$ mm/obr wielkość sił skrawania była o około 35% niższa niż dla ściernicy 3XGP mimo, że charakteryzowały się taką samą twardością i wielkością ziaren. W porównaniu do najwolniejszej prędkości kształtowania CPS (0,18mm/obr), zmniejszyły się one o 50%.



Rys.9. Wpływ prędkości obciągania na średnie siły styczne F_t podczas szlifowania próbki TIGR5:
a) dla ściernicy 5TGP, b) dla ściernicy 3XGP

Rys.9. Effect dressing speed by average tangential force F_t during grinding of material TIGR5 for:
a) grinding wheel 5TGP, b) grinding wheel 3XGP

5. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynika, że poprzez kształtowanie czynnej powierzchni ściernicy i zmianę prędkości obciągania oraz smarowanie diamentu obciągacza systemem MQL, można znacząco wpływać na jakość i chropowatość tarczy ściernicy. Parametr chropowatości R_m rośnie wraz ze wzrostem prędkości posuwu obciągania, natomiast maleje wskaźnik pokrycia k_d , który określa równomierne naostrzenie ziaren na czynnej powierzchni ściernicy. Smarowanie i chłodzenie diamentu mgłą olejową obniża zużycie obciągacza, co ma wpływ na proces obciągania. Jeżeli wskaźnik pokrycia jest mniejszy, to spada ilość aktywnych ziaren ściernych, które poprzez tarcie się o powierzchnię obrabianą powodują powstawanie mniejszych sił skrawania. Nie mniej jednak, nie można dążyć do osiągnięcia jak najmniejszych sił skrawania poprzez wzrost prędkości obciągania, ponieważ tak ukształtowana CPS powoduje znaczny wzrost chropowatości obrabianej powierzchni. Dla najmniejszego osiągniętego wskaźnika pokrycia czynnej powierzchni ściernicy, czyli dla największego posuwu diamentu, następował wyraźny wzrost chropowatości obrabianej powierzchni oraz pojawiały się wady na powierzchni przedmiotu obrabianego, w postaci śladów linii śrubowej, utworzonych w procesie obciągania CPS. Sterowanie procesem szlifowania powierzchni płaskich, ze względu na zapewnienie określonej i powtarzalnej chropowatości obrabianych powierzchni, wymaga uwzględnienia opisanych w artykule nastawnych parametrów procesu f_d , a_d .

LITERATURA

- [1] HARBAT W., KRASOWKI B., POKRZYCKI J., 2007, *Wpływ relacji parametrów obciągania i szlifowania osiowego na kształtowanie chropowatości obrabianych powierzchni*, Podstawy i technika obróbki ścierniej, Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 103-110.
- [2] OCZOŚ K., PORZYCKI J., 1986, *Szlifowanie*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 59-66.
- [3] GOŁĄBCZAK A., 2004, *Metody kształtowania właściwości użytkowych ściernic*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 50-68.
- [4] BURNAT L., 1962, *Szlifowanie i dogładzanie metali*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 131-145.
- [5] KOZIARSKI A. 1996, *Czynna powierzchnia ściernicy*, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź.
- [6] OCZOŚ K. E., 2000, *Charakterystyka trendów rozwojowych szlifowania ściernego*, Mat. XXII Naukowej Szkoły Obróbki ścierniej, Rzeszów.
- [7] KRUSZYŃSKI B., MIDERA S., WÓJCIK R., GÓRECKI G., 2005, *Wpływ kierunku podawania cieczy obróbkowej z minimalnym wydatkiem na siły szlifowania*, XXVIII Naukowa Szkoła Obróbki Ścierniej, Warszawa.
- [8] WÓJCIK R., 2009, *Czyszczące oddziaływanie mgły olejowej na roboczą powierzchnie ściernicy*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 9/4/159 – 165.
- [9] OCZOŚ K. E., 2004, *Doskonalenie strategii chłodzenia i smarowania w procesach obróbkowych*, Mechanik, 10/597-649.
- [10] WÓJCIK R., KRUSZYŃSKI B., 2003, *Szlifowanie powierzchni płaskich z zastosowaniem minimalnego smarowania (minimum quantity lubrication - mql)*, XXVII Naukowa Szkoła Obróbki Ścierniej, Kraków.

EFFECT OF A CREATING ACTIVE SURFACE LAYER WITH USING METHODS MQL AND ROUGHNESS
GRINDING WHEEL AND WORKPIECE SURFACE LAYER

Creating the surface layer during the grinding process depends on the flat surface of the relationship between dressing speed and grinding parameters. The paper presents the effect of the impact of the active surface of grinding wheel profile (CPS) at a surface layer with the lubricant given in the form of oil mist on the active surface of the grinding wheel. Taken into consideration the parameters Ra, Rz and the wave of the workpiece and the values of tangential and normal forces