

Ryszard WÓJCIK¹
Radosław ROSIK¹

BADANIE WPŁYWU MQL Z UŻYCIEM GLIKOLU PROPYLENOWEGO NA CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI PRZEDMIOTU SZLIFOWANEGO

Zaprezentowano badania procesu szlifowania stopów tytanu ściernicami nowej generacji 3XGP i 5TGP, w których wykorzystano ciecz obróbkową - glikol propylenowy podawany z minimalnym wydatkiem (MQL) w strefę szlifowania. Przedstawiono wyniki pomiarów sił, chropowatości oraz odkształceń uzyskanych w wyniku procesu szlifowania powierzchni płaskich. Dokonano oceny oddziaływania glikolu propylenowego, jako cieczy obróbkowej, na siłę skrawania i chropowatość obrabianej powierzchni w porównaniu do powszechnie stosowanych cieczy.

1. WSTĘP

Glikol propylenowy jest bezbarwną, nieco lepłą cieczą, o smaku słonogorzkim, o silnych właściwościach higroskopijnych. Łatwo ulega biodegradacji miesza się z wodą, olejami i acetonem. Dotychczas glikol propylenowy był stosowany w przemyśle kosmetycznym jako, dodatek w celu zahamowania ubytku wody z naskórka i jej wysuszeniu, w przemyśle spożywczym jako, rozcieńczalnik substancji smakowo-zapachowych, stabilizator, substancja klarująca, nośnik związków aromatycznych i substancja utrzymująca wilgoć, w przemyśle farmaceutycznym jako, rozpuszczalnik leków, w przemyśle chemicznym do produkcji żywic poliestrowych, w przemyśle poligraficznym jako, składnik opóźniaczy, w chłodnictwie jako, czynnik chłodniczy.

W procesie szlifowania ważną rzeczą jest uzyskanie korzystnych właściwości warstwy wierzchniej, która wpływa na warunki eksploatacje powierzchni przedmiotu [1-2],[4]. Poszukuje się cieczy obróbkowych (CO), które pozwalają zapewnić odpowiednie smarowanie i chłodzenie podczas obróbki w celu zachowania odpowiednich właściwości warstwy wierzchniej obrabianego przedmiotu. Podawanie CO w obszar szlifowania z minimalnym wydatkiem (MQL) jest technologią, która pozwala na zmniejszenie wydatku cieczy obróbkowej z 600 l/godzinę w klasycznym podawaniu do ≥ 50 ml/godzinę, co pozwala na znaczne zmniejszenie kosztów produkcji. Stąd poszukiwania cieczy obróbkowych tanich, a jednocześnie nieszkodliwych dla środowiska i operatora szlifierki.

¹ Politechnika Łódzka, Instytut Obrabiarek i TBM, 90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 1/15

W procesie szlifowania ważnym elementem jest dobór odpowiedniego smarowania oraz warunków skrawania. Największą zaletą systemu MQL jest dobre smarowanie [3,5], a jednocześnie czyszczące oddziaływanie cieczy na czynną powierzchnię ściernicy [6] oraz zmniejszenie tarcia. Dzięki temu można uzyskać właściwą jakość warstwy wierzchniej oraz uniknąć odkształceń cieplnych (ugięć) przedmiotu obrabianego [7]. Wykonano badania dla zaproponowanej cieczy obróbkowej, jaką jest glikol propylenowy, których wyniki porównano z dotychczas stosowanymi cieczami w systemie MQL takimi, jak: Biocut 3000, Mikro 3000, Ecocut Micro 82.

W literaturze światowej jest wspomniane o kilku uczonych zajmujących się metodą MQL podczas szlifowania, np: Profesor Tawakoli i jego zespół [8] badali wpływ zastosowania MQL podczas szlifowania hartowanej stali 100Cr6 używając różnych rodzajów tarczy ściernych oraz różnych cieczy chłodziwo-smarujących. Zespół wykazał, że podczas szlifowania przy wykorzystaniu wybranych olei z zastosowaniem systemu MQL, chropowatość powierzchni próbki (wskaźniki Ra i Rz) była najmniejsza w porównaniu do obróbki na sucho. W innej pracy [9] zespołu Tawakoli'ego zmniejszył siły szlifowania wykorzystując techniki MQL od 20-57% w porównaniu do szlifowania na sucho.

Barczak i zespół [10] badali wpływ MQL w porównaniu z konwencjonalnymi metodami chłodzenia (na mokro) oraz podczas obróbki na sucho. Badanymi parametrami jako wskaźniki wydajności były: moc P, siła styczna i normalna (odpowiednio Ft i Fn) temperatura skrawania, chropowatość powierzchni obrabianej Ra i rzeczywista głębokość szlifowania a_e . Wynikami ich badań było stwierdzenie, że wykorzystując szlifowanie z MQL można zmniejszyć siły skrawania nawet o 42% przy zwiększonej wydajności ubytkowej szlifowania na jednostkę ściernicy Q'w, w porównaniu do konwencjonalnych metod chłodzenia

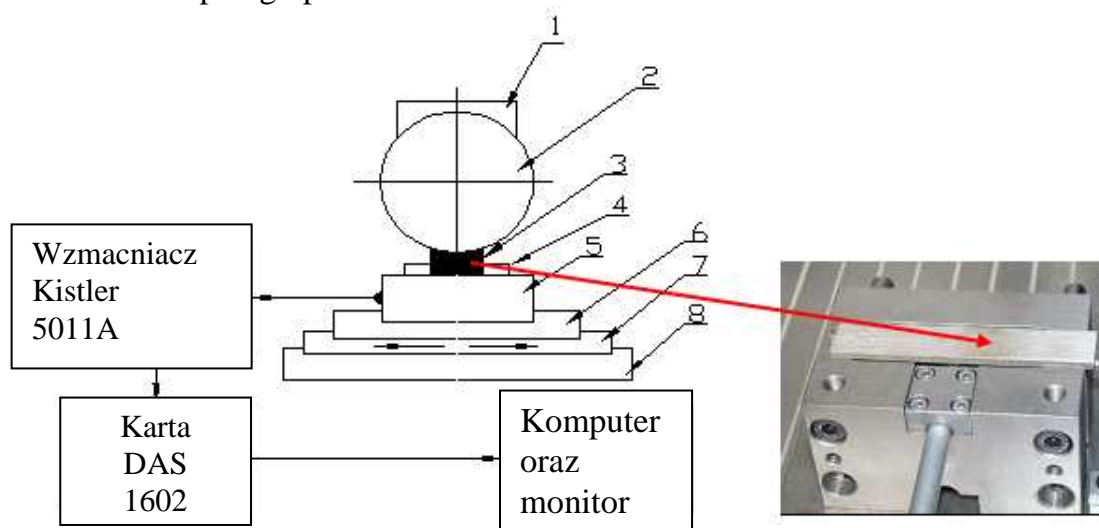
Silva i jego zespół [11,12] badali wpływ parametrów szlifowania stali ABNT 4340 techniką MQL. Okazało się, że chropowatość powierzchni, siły szlifowania i naprężenia szczątkowe wykazują poprawę przy korzystaniu z systemu MQL w proces szlifowania ze względu na bardziej optymalne smarowanie strefy szlifowania, zapewniając lepszy poślizg ziaren w strefie kontaktu.

Brunner [13] wykazał, że wraz z zastosowaniem systemu MQL z olejem estrowym przy wydajności 4ml/min, w porównaniu do 11 ml / min dla oleju mineralnego, w trakcie szlifowania stali 16 MnCr5 (SAE-5115) ściernicą z mikrokryształicznym tlenkiem glinu zmniejsza siły normalne i styczne do 35% . Obróbka taka prowadzi niestety do wzrostu chropowatość powierzchni o 50%. Badania prowadzone przez Brinksmeier i zespół jego zespołu [14] potwierdziły te wyniki i wykazały, że rodzaj chłodziwa używanego podczas szlifowania MQL (ester oleju lub emulsji) może znacząco wpłynąć na wynik procesu.

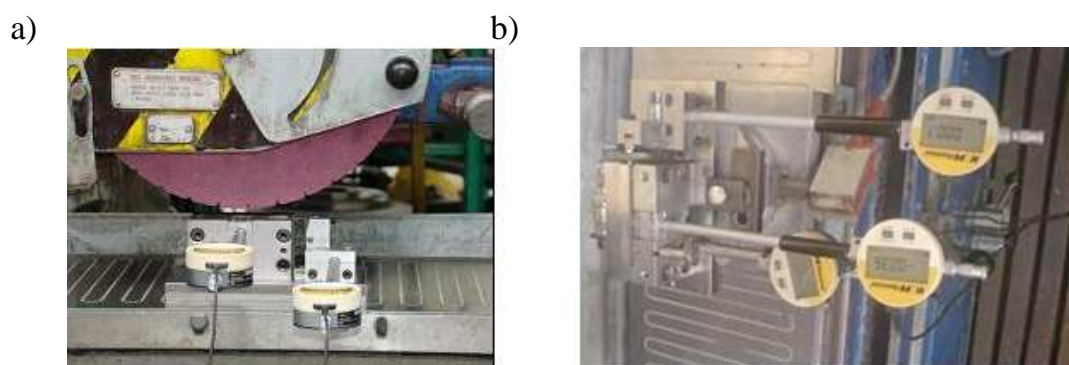
Hafenbraedl i Malkin [15] wykazali, że obróbka z wykorzystaniem techniki podawania płynu obróbkowego w postaci mgły olejowej zapewnia efektywne smarowanie i zmniejsza moc szlifowania w porównaniu z konwencjonalnymi rozpuszczalnymi emulgolami (przy 5% koncentracji i przepływie 5,3 l/min), podczas gdy w tym samym czasie znacznie zmniejsza się zużycie tarczy szlifierskiej.

2. WARUNKI BADAŃ

Celem badań był dobór warunków smarowania strefy ściernica – przedmiot tak, aby uniknąć przypaleń, pęknięć powierzchni oraz związanych z nimi odkształceń cieplnych (ugięć) w przypadku małej grubości przedmiotu. W pierwszym etapie badań mierzono siłę podczas procesu szlifowania., zaś w dalszej części mierzono chropowatość powierzchni Ra i odkształcenia cieplne próbek.



Rys. 1. Stanowisko badawcze, sposób mocowania próbek na siłomierzu
Fig. 1. Experimental stand showing principles of mounting samples onto dynamometer



Rys. 2. Przyrząd do aktywnego pomiaru odkształceń próbek płaskich: a) stanowisko, b) układ czujników pomiarowych
Fig. 2. Device for active measuring deformation of flat samples: a) position, b) the system sensors

W badaniach procesu szlifowania do pomiaru stycznej siły skrawania wykorzystano siłomierz 9321B, przyrządem do mocowania próbek płaskich. Sygnał z siłomierza, przesyłano do wzmacniacza 5011A z kartą DAS 160 zainstalowaną w komputerze (rys. 1).

Stanowisko prezentowano we wcześniejszych pracach [6-7]. Opis stanowiska: 1-silnik, 2-ściernica, 3-materiał obrabiany, 4-uchwyt mocujący próbkę, 5-siłomierz, 6-płyta z materiału odpornego na oddziaływanie pola magnetycznego stołu, 7-stół szlifierki, 8-korpus szlifierki.

W drugiej części badań wykonano specjalny przyrząd do aktywnej rejestracji odkształcenia cieplnego próbki podczas szlifowania i trwałych zmian w warstwach wierzchnich po zakończeniu procesu obróbki. Przyrząd zamocowano bezpośrednio na stole magnetycznym szlifierki, którego budowę pokazano na rys. 2.

W badaniach procesu szlifowania użyto ściernice: 5TGP 54K VX (5TGP), 3XGP 54K VY (3XGP), które są stosowane do obróbki materiałów trudno obrabialnych. Starano się znaleźć takie ustawienie dyszy podającej ciecz obróbkową (rys. 3), aby jak najwięcej cieczy pozostawało na próbce, tuż przed wejściem ściernicy w kontakt z przedmiotem, zmniejszając tarcie. Szlifowano próbki płaskie o wymiarach 100 x 10 x 10 mm. Ponieważ podczas badania sił skrawania przy szlifowaniu należało unikać odkształceń cieplnych materiału obrabianego, dlatego przyjęto do badań grubość próbek $g = 10\text{mm}$.



Rys. 3. Sposób ustawienia dyszy podającej ciecz obróbkową
Fig. 3. Preparation of experimental stand to work

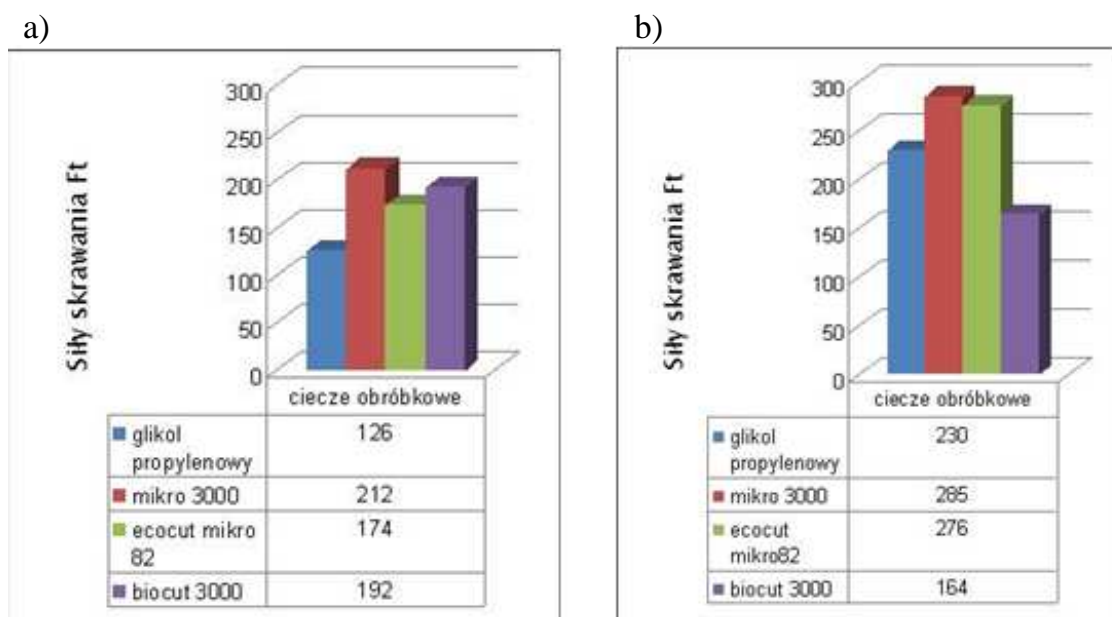
Przed każdą próbą szlifowania, czynną powierzchnię ściernicy obciążano diamentem jednoziarnistym, stosując posuw diamentu równy $\sim 1,5\text{ mm/s}$. Ciecz obróbkową podawano na powierzchnię próbki pod ciśnieniem $p = 0,6\text{ MPa}$, z wydatkiem 50 ml/godzinę . Odległość dyszy od powierzchni próbki wynosiła 4 mm , kąt pochylenia dyszy względem powierzchni próbki wynosił $\sim 25^\circ$. Takie warunki ustawienia dyszy przyjęto z uwagi na wymagania BHP.

W badaniach wykorzystano próbki ze stopu tytanu: TIGR5 (Tytan Grade 5) o % składzie chemicznym: C 0,23; Fe 0,15; Al. 6,5; V 4,4; N 0,017; O 0,13; H 0,0024; Ti -reszta

Próbki szlifowano na szlifierce typu SPD – 30b firmy JOTES do powierzchni płaskich z parametrami szlifowania: $v_w = 0,2\text{ m/s}$, $v_s = 25,5\text{ m/s}$ i głębokości $a_e = 0,02\text{ mm}$. Po zakończeniu szlifowania na próbkach, w 5-ciu punktach, przeprowadzono pomiar chropowatości powierzchni R_a , przyrządem do pomiaru chropowatości firmy MITUTOYO.

3. WYNIKI BADAŃ

Pierwsza część badań obejmowała pomiar sił skrawania stopu tytanu TIGR5 ściernicami 5TGP i 3XGP. W procesie szlifowania użyto ciecze obróbkowe podawane z minimalnym wydatkiem: glikol propylenowy, Micro 3000, EcoCut mikro 82 i Biocut 3000.



Rys. 4. Siła skrawania podczas obróbki stopu tytanu TIGR5 ściernicami: a) 5TGP, b) 3XGP

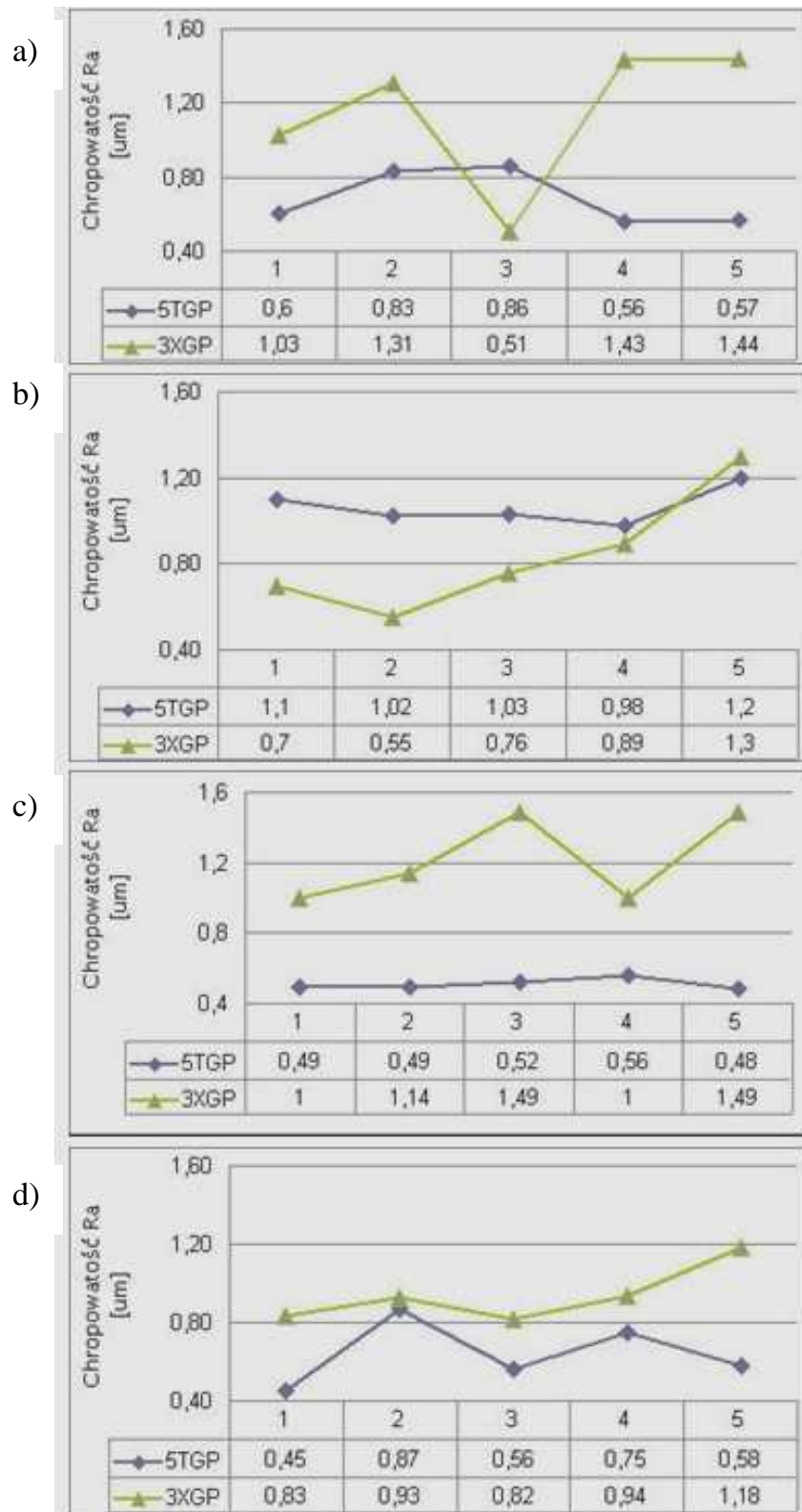
Fig. 4. Cutting forces observed during grinding titanium alloy TIGR5 with application:

a) 5TGP, b) 3XGP grinding wheels

Na rys. 4 porównano siły skrawania podczas szlifowania powierzchni płaskich z udziałem różnych CO, dla dwóch rodzajów ściernic. Wartość siły dla ściernicy 5TGP z zastosowaniem glikolu propylenowego, jako cieczy obróbkowej podczas szlifowania próbek wyniosła 126 N. Była ona najmniejszą siłą w porównaniu do pozostałych cieczy obróbkowych (rys. 4a).

Dla ściernicy 3XGP, siła skrawania w porównaniu ze ściernicą 5TGP, była dwukrotnie wyższa przy stosowaniu glikolu propylenowego – (rys. 4b). Najmniejszą siłą (164 N) dla tej ściernicy uzyskano dla CO Biocut 3000, pozostałe siły były powyżej 230 N.

Podczas szlifowania powierzchni płaskich z udziałem glikolu propylenowego podawanego z minimalnym wydatkiem nie zaobserwowano przypaleń warstwy wierzchniej, jak dla przypadku badań z pozostałymi cieczami. Po przejściu wgłębnym ($a_e=0,02\text{mm}$) na powierzchni próbki materiału mierzono chropowatość powierzchni. Pomiar dla każdego punktu pomiarowego na długości powtarzano pięciokrotnie. W tabelach pod wykresami zamieszczono wartości uśrednione R_a (rys. 5).



Rys. 5. Rozkład chropowatości na powierzchni próbki ze stopu tytanu TIGR5 dla ciecz obróbkowych:

a) ecocut mikro 82, b) biocut 3000, c) glikol propylenowy, d) mikro 3000

Fig. 5. Distribution of roughness onto surface of the titanium alloy TIGR5 sample for different types of cutting fluids:

a) ecocut mikro 82, b) biocut 3000, c) propylene glycol, d) mikro 3000

Najmniejsze wartości parametru Ra dla stopu tytanu otrzymano podczas szlifowania ściernicą 5TGP z udziałem glikolu propylenowego, średnia wartość chropowatości z pięciu punktów pomiarowych na długości próbki $Ra=0,51\mu\text{m}$ (rys. 5c). Pozostałe cieczy obróbkowe przy tych samych warunkach procesu skrawania pozwoliły osiągnąć Ra:

ecocut micro 82 - $0,68\mu\text{m}$ (rys. 5a),

biocut 3000 - $1,06\mu\text{m}$ (rys. 5b),

mikro 3000 - $0,64\mu\text{m}$ (rys. 5d).

Druga ściernica 3XGP używana w procesie szlifowania stopu tytanu, dla takich samych parametrów procesu szlifowania i opisanych cieczy obróbkowych, pozwoliła uzyskać następujące chropowatości warstwy wierzchniej (Ra):

ecocut micro 82 - $1,14\mu\text{m}$ (rys. 5a),

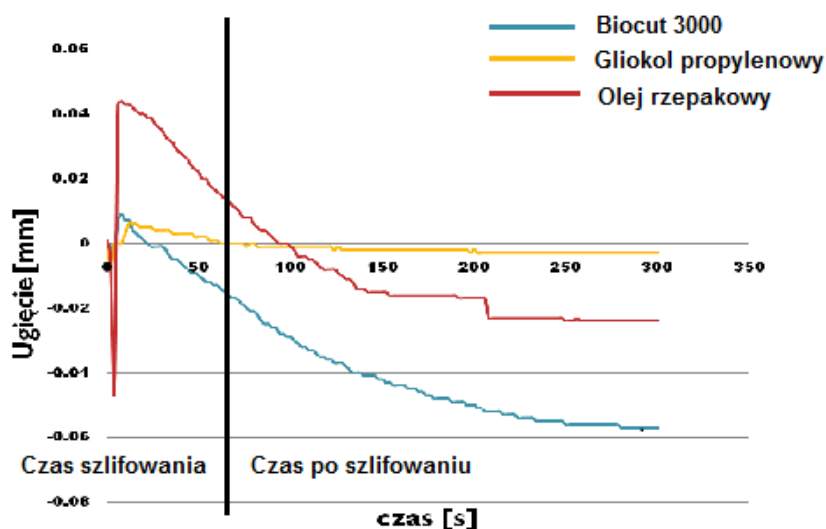
biocut 3000 - $0,84\mu\text{m}$ (rys. 5b),

glikol propylenowy - $1,22\mu\text{m}$ (rys. 5c),

mikro 3000 - $0,94\mu\text{m}$ (rys. 5d).

Najmniejszą chropowatość dla badanego przypadku uzyskano podczas szlifowania stopu tytanu ściernicą 3XGP z udziałem CO biocut 3000.

Następnie badano wpływ rodzaju cieczy obróbkowej podczas procesu szlifowania ściernicą 5TGP na wielkość odkształceń materiału obrabianego, bezpośrednio podczas szlifowania i zachowania materiału próbki po zakończeniu procesu w celu określenia skutków oddziaływań cieplnych. Do tego celu przygotowano próbki wymiarowo zgodne z próbkami badanymi poprzednio, zmniejszając jedynie grubość $g=4\text{ mm}$ w ten sposób próbki były bardziej podatne na wpływy ciepła które generuje proces szlifowania. Na rysunku 6 zaprezentowano przykładowy wykres, który otrzymano podczas monitorowania procesu szlifowania oraz ostateczną wielkość odkształcenia po procesie. W przypadku glikolu propylenowego, uzyskano najmniejsze odkształcenie końcowe dla stopu tytanu TIGR5 szlifowanego ściernicą 5TGP na poziomie kilku mikronów, w porównaniu do cieczy opisanych na rys. 6.



Rys. 6. Rozkład odkształceń cieplnych (ugięć) podczas procesu szlifowania powierzchni płaskich
Fig. 6. Strain distribution thermal (deflections) during the process of grinding flat surfaces

4. WNIOSKI

Zaletą glikolu propylenowego (GP) jest możliwość uzyskania niższych sił skrawania oraz chropowatości warstwy wierzchniej, w porównaniu z obecnie stosowanymi płynami w metodzie MQL.

W procesie szlifowania stopu tytanu TIGR 5, ściernicą 5TGP z udziałem glikolu propylenowego podawanego z minimalnym wydatkiem do 50 ml/godzinę, jako płynu obróbkowego, nie zaobserwowano uszkodzeń warstwy wierzchniej- przypaleń.

W przypadku zastosowania glikolu propylenowego do szlifowania przedmiotów o grubości do 4 mm oddziaływanie cieplne podczas tego procesu nie pozostawiają trwałych odkształceń, które mogły by wpłynąć negatywnie na końcowy kształt przedmiotu.

LITERATURA

- [1] OCZOŚ K. E., 2004, *Doskonalenie strategii chłodzenia i smarowania w procesach obróbkowych*, Mechanik, 10, 597-649.
- [2] WÓJCIK R., KRUSZYŃSKI B., 2003, *Szlifowanie powierzchni płaskich z zastosowaniem minimalnego smarowania (minimum quantity lubrication-mql)*, XXVII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Kraków.
- [3] KRUSZYŃSKI B., WÓJCIK R., 2002, *Residual Stress in Grinding. Journal of Materials Processing Technology*,
- [4] OCZOŚ K. E., 2000, *Charakterystyka trendów rozwojowych szlifowania ściernego*, Mat. XXII Naukowej Szkoły Obróbki ściernej, Rzeszów.
- [5] KRUSZYŃSKI B., MIDERA S., WÓJCIK R., GÓRECKI G., 2005, *Wpływ kierunku podawania cieczy obróbkowej z minimalnym wydatkiem na siły szlifowania*, XXVIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, Warszawa.
- [6] WÓJCIK R., 2009, *Czyszczące oddziaływanie mgły olejowej na roboczą powierzchnie ściernicy*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 29/4, 159 – 165.
- [7] WÓJCIK R., 2009, *Aktywny pomiar odkształceń i wydłużeń w procesie szlifowania*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, 29/2, 74- 78.
- [8] TAWAKOLI T., HADAD M.J., SADEGHI M.H., 2010, *Investigation on minimum quantity lubricant – MQL grinding of 100Cr6 hardened steel using different abrasive and coolant – lubricant types.*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 50, 698-708.
- [9] SADEGHI M. H., HADAD M.J., TAWAKOLI T., VESALI A., EMAMI M., 2010, *An investigation on surface grinding of AISI 4140 hardened steel using minimum quantity lubrication – MQL technique*, - International Journal of Material Forming, 3, 241-251
- [10] BARCZAK L.M., BATKO A.D.L., MORGAN M.N., 2010, *A study of plane surface grinding under minimum quantity lubrication (MQL) conditions* – International Journal of Machine Tools & Manufacture 50, 977-985
- [11] SILVA L.R., BINACHI E.C., CATAI R.E., FUSSE R.Y., FRANCA T.V., AGUIAR P.R. – 2005, *Study on the behavior of the minimum quantity lubrication – MQL technique under different lubrication and cooling conditions when grinding ABNT 4340 steel*. - Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering XXIII, 192-199.
- [12] SILVA L.R., BINACHI E.C., FUSSE R.Y., CATAI R.E., FRANCA T.V., AGUIAR P.R. - 2007, *Analysis of surface integrity for minimum quantity lubricant-MQL in grinding*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 47, 412-418.
- [13] BRUNNER G. – 1998, *Schleifen mit mikrokristallinem aluminiumoxid*.- Universitat Hannover, Dusseldorf, VDI-Verlag,
- [14] BRINKSMEIER E., BROCKHOFF T., WALTER A. – 1997, *Minimalmengenschmierung und Trockenbearbeitung beim Schleifen*, HTM 52/3, 166-170, Carl Hanser Verlag, Munchen,
- [15] HAFENBRAEDL D., MALKIN S. - 2001, *Technology environmentally correct for intern cylindrical grinding* - Mach. Metals Mag. 40-55.

INFLUENCE OF PROPYLENE GLYCOL APPLICATION INTO GRINDING ZONE WITH MQL TECHNIQUE
ON SURFACE ROUGHNESS OF THE WORKPIECE.

The results of investigations concerning titanium alloys grinding tests are presented in the paper. New generation 3XGP and 5TGP grinding wheels with application of propylene glycol cutting fluid supplied by means of MQL technique were applied. Grinding forces, surface roughness and deformation of the workpiece results were taken into consideration to evaluate influence of propylene glycol application. Moreover comparison between conventional cutting fluid application and propylene glycol were made.