



## Wpływ zastosowania schłodzonego strumienia powietrza jako dodatkowego czynnika chłodzącego na jakość powierzchni uzyskanej po procesie szlifowania

The impact of the application of chilled air flow as an additional coolant on surface quality obtained after grinding process

JAKUB ŚWIERCZYŃSKI

Praca obejmuje, badania zastosowania dodatkowego sprężonego i schłodzonego powietrza, jako dodatkowego czynnika chłodzącego do metody smarowania za pomocą mgły olejowej. Dzięki takiemu sposobowi chłodzenia i smarowania strefy szlifowania, uzyskać można poprawę jakości powierzchni po procesie obróbkowym. Uzyskane przy tym sposobie smarowania parametry chropowatości okazały się niższe niż w przypadku zastosowania smarowania strefy szlifowania tylko za pomocą metody MQL. Jest to nowa proekologiczna - hybrydowa metoda chłodząco-smarująca łącząca zalety metody MQL i sprężonego schłodzonego powietrza.

**SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka hybrydowa, MQL + sprężone powietrze.

*This thesis concerns testing the application of additional compressed and chilled air as an additional coolant to a method of lubrication with the oil mist. This way of cooling and lubrication of the grinding zone can lead to improving the quality of a surface of the grinding process. The surface roughness parameters and the forces during the grinding obtained through that way lubrication turned out to be lower than in case of spreading the grinding zone by using MQL method. This is a new, environment-friendly, hybrid method combining the advantages of MQL method and of compressed cooled air.*

**KEYWORDS:** hybrid cooling, MQL + compressed air.

### WSTĘP

Obróbka ścierna jest jedną z najważniejszych metod kształtowania elementów maszyn. Dynamiczny rozwój przemysłu zmusza producentów do ciągłego poszukiwania

\* mgr inż. Jakub Świerczyński jakub.swierczynski@p.lodz.pl

materiałów wyższej jakości, ulepszania procesów produkcyjnych tak, by oferowane przedmioty były wykonane jeszcze szybciej zachowując swoje właściwości, zarówno pod względem wymiarowym, jak i dokładności wykonania, a także konkurencyjnie cenowo, do czego niezbędna jest racjonalna minimalizacja kosztów produkcji.

Jak wiadomo, jakość wykonanych przedmiotów jest ściśle związana ze stanem warstwy wierzchniej WW. Na jej ukształtowanie wpływa szereg czynników, takich jak zjawiska mechaniczne i zjawiska cieplne. Ciepło powstające w procesie szlifowania ma duże znaczenie ze względu na dokładność obróbki i fizykochemiczne własności warstwy wierzchniej. Z punktu widzenia właściwości eksploatacyjnych, należy zwrócić szczególną uwagę, aby jak najmniejszy strumień ciepła wniknął w przedmiot obrabiany, ponieważ stan warstwy wierzchniej powstałej w wyniku procesu szlifowania decyduje o funkcjonalności danego elementu.

W celu ograniczenia wpływu temperatury powstałej w wyniku procesu szlifowania stosowane są różne płyny chłodząco-smarujące PCS [3,4,6,9]. Powszechne stosowanie PCS jest związane z ich podstawowymi funkcjami spełnianymi podczas obróbki. Zapewniają one:

- smarowanie w strefie styku wióra z ziarnem ściernym i ziarna ściernego z przedmiotem obrabianym – powoduje to zmniejszenie ilości generowanego ciepła poprzez zmniejszenie tarcia oraz przeciwdziałanie adhezji,
- chłodzenie ściernicy, przedmiotu obrabianego, wiórów i obrabiarki – w ten sposób odbywa się odbieranie ze strefy szlifowania ciepła, które powstało podczas obróbki,
- odprowadzanie wiórów poza przestrzeń obróbkową,
- oczyszczanie i ochronę antykorozyjną przedmiotu, oprzyrządowania, narzędzia i przestrzeni roboczej obrabiarki.

- zapewnienie stabilności cieplnej, obniżenie sił skrawania, wydłużenie trwałości ostrza narzędzia oraz poprawa jakości przedmiotu obrabianego.

Z uwagi na wysoką cenę zakupu, utrzymania i utylizacji PCS jak również na negatywne skutki dla środowiska naturalnego zaczęto poszukiwania nad możliwościami ograniczenia lub ich całkowitego wyeliminowania z procesu obróbczego. Podczas obróbki aż do 95% energii zostaje zamienione w ciepło, które oddawane jest do otoczenia, wiórów, płynów chłodząco-smarujących, przedmiotu obrabianego jak i narzędzia. W przypadku obróbki ścierniej zdecydowana większość tego strumienia ciepła wnika w przedmiot obrabiany. Podczas obróbki bez udziału jakiegokolwiek płynu chłodząco-smarującego, czyli tzw. obróbki „na sucho” (z ang. Dry Machining) nie ma żadnego medium, które spełniałoby kilka ważnych funkcji. Nie ma czynnika chłodzącego, nie ma środka smarującego, narzędzie – ściernica nie jest oczyszczana z mikrowiórków, a w strefie szlifowania nie ma medium, które ułatwiło by wydostanie się wiórków poza obszar jej działania. Całkowita eliminacja cieczy nie gwarantuje najlepszych rezultatów procesu w ujęciu całościowym, dla wszystkich rodzajów obróbki. W rezultacie, gdy nie można realizować obróbki bez PCS, alternatywę stanowi obróbka z minimalnym smarowaniem MQL (ang. Minimal Quantity Lubrication) [1]. Istota jej polega na doprowadzeniu w określonym czasie możliwie najmniejszej ilości PCS jak najbliżej styku ostrza ziarna ściernego z obrabianym przedmiotem i wiórem. Ten rodzaj podawania cieczy obróbkowej odgrywa coraz większą rolę, ponieważ zapewnia większe prędkości skrawania i trwałości narzędzi w porównaniu z obróbką bez użycia płynów. Z drugiej strony, dzięki rezygnacji ze stosowania PCS w trybie obfitym, uzyskuje się znaczące obniżenie kosztów produkcji, przy czym osiągnięte oszczędności kształtują się w przedziale 10÷50% [2].

## NOWOCZESNE METODY CHŁODZENIA STREFY SZLIFOWANIA

### ■ METODA MQL – MINIMALNEGO WYDATKU OLEJOWEGO

Obecnie obróbka z podawaniem płynu obróbkowego z minimalnym wydatkiem (Minimum Quantity Lubrication - MQL) jest intensywnie badana i stosowana w praktyce przemysłowej jako alternatywa dla obróbki „na sucho”. Obróbka ścierna bez udziału cieczy obróbkowej niesie za sobą takie negatywne skutki jak, między innymi, zwiększone siły skrawania, wyższe temperatury skrawania (przypalenia), co z kolei podnosi koszty operacji obróbkowej. Właściwe zastosowanie MQL umożliwia dostateczne smarowanie powierzchni trących w procesie szlifowania i przeciwdziałanie, przynajmniej niektórym, negatywnym skutkom całkowitej eliminacji cieczy obróbkowej. Wydatek olejowy podczas stosowania tej metody wynosi od 15 do 250 mililitrów na godzinę ciągłej pracy. Metoda chłodzenia rozpyloną mgłą olejową (MQL) została wykorzystana do narzędzi skrawających jedno ostrzowych (noży tokarskich) oraz wieloostrowych (Frezy, wiertła). Są to narzędzia metalowe, których przewodność cieplna jest znacznie lepsza niż w przypadku ściernicy. W obu przypadkach, przepływ ciepła jak i jego bilans jest znacznie korzystniejszy niż w procesie szlifowania. Dzisiaj, inżynierowie starają się zaimplementować również metodę smarowania MQL do obróbki szlifowaniem. Niestety złożoność procesów obróbczych jak i nieznajomość aktywnej geometrii czynnej powierzchni ściernicy utrudnia łatwą rezygnację z płynów chłodząco-smarujących. W wielu operacjach szlifierskich, minimalne smarowanie

mgłą olejową (MQL) jest kluczem do sukcesu dla obróbki na sucho.

Mgła olejowa wytwarzana jest w specjalnych dyszach natryskowych lub zaraz za nimi. Do dysz doprowadzane jest sprężone powietrze oraz olej osobnymi przewodami. Struga sprężonego powietrza porywa ze sobą kropelki oleju i rozprasza je. Tak wytworzona mgła aplikowana jest w strefie szlifowania rysunek nr 1. Należy nie dopuszczać do wzrostu zawartości oleju we mgle, ponieważ niesie to ze sobą niekorzystne skutki. Wzrasta zużycie płynów oraz rośnie strefa aerozolu olejowego wokół obrabiarki i stwarza zagrożenie dla jej operatora. Dlatego niezbędne jest zainstalowanie specjalnych wysokiej wydajności odsysaczy w obszarze szlifowania. Natomiast wraz ze wzrostem ciśnienia sprężonego powietrza wzrasta prędkość wylotu strugi z dyszy. Wylot powietrza z dyszy generuje hałas, który przy dłuższym czasie ekspozycji może być uciążliwy. Dlatego niezbędne jest poszukiwanie odpowiedniej równowagi w wyborze ciśnienia i zawartości oleju.

Do zalet chłodzenia mgłą olejową należy [1-6]:

- zmniejszenie czasu obróbki – możliwe wyższe szybkości skrawania w porównaniu do obróbki „na sucho”,
- detale pozostają suche i czyste,
- wzrost trwałości narzędzia w stosunku do obróbki „na sucho”,
- niższa temperatura i siły skrawania,
- lepsze właściwości warstwy wierzchniej,
- wióry pozostają suche, łatwiej usunąć ze strefy skrawania.

Do wad należą:

- w przypadku słabego zabezpieczenia strefy skrawania występuje strefa aerozolu olejowego w obszarze maszyny (starsze modele nie są przystosowane do takiej obróbki),
- głośnie praca sprężonego powietrza przy wysokich ciśnieniach.

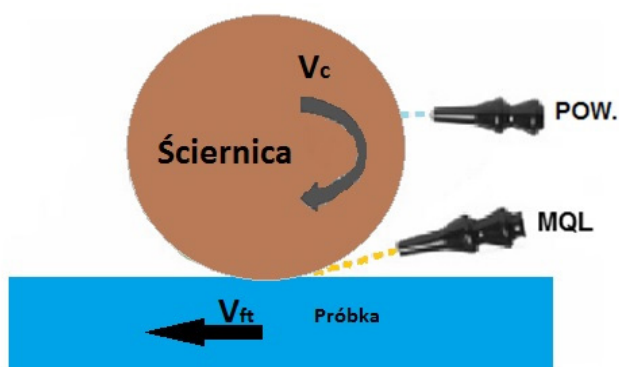


Rys. 1 Rozpylona mgła olejowa (MQL) w strefie szlifowania [10]

### ■ METODA HYBRYDOWA

Metoda hybrydowa polega na połączeniu metody chłodzenia za pomocą sprężonego schłodzonego powietrza i smarowania strefy skrawania minimalną ilością mgły olejowej. Powietrze do chłodzenia ma temperaturę  $-15^{\circ}\text{C}$  i jest skierowany tak aby przebić poduszkę powietrzną wytworzoną przez obrót ściernicy. Innym bardzo ważnym zadaniem schłodzonego sprężonego powietrza jest czyszczenie czyn-

nej powierzchni ściernicy ze zalepień oraz odkrywania nowych ziaren, które wezmą udział w procesie szlifowania. Niska temperatura powietrza pozwala na wprowadzenie mikronaprężeń cieplnych tak, że siła odśrodkowa pozwala na oderwanie nieaktywnych ziaren od ściernicy. Mgła olejowa jest używana do nanoszenia na przedmiot obrabiany bardzo cienką warstwę filmu olejowego, który został zaprojektowany w celu zmniejszenia tarcia pomiędzy ściernicą a przedmiotem obrabianym. Rysunek 2 przedstawia metodę podawania obu czynników w strefę szlifowania - przedmiotu. Tak stworzony system pozwala na wyeliminowanie z procesu bardzo dużej ilości płynów chłodząco smarujących. Płyny takie zawierają mikrowiórki i pozostałości ściernicy. Przed ponownym wykorzystaniem ich niezbędna jest długi i bardzo kosztowny proces uzdatniania.



Rys. 2 Sposób dostarczania mgły olejowej w strefę skrawania oraz sprężonego powietrza do kształtowania czynnej powierzchni ściernicy

## BADANIA

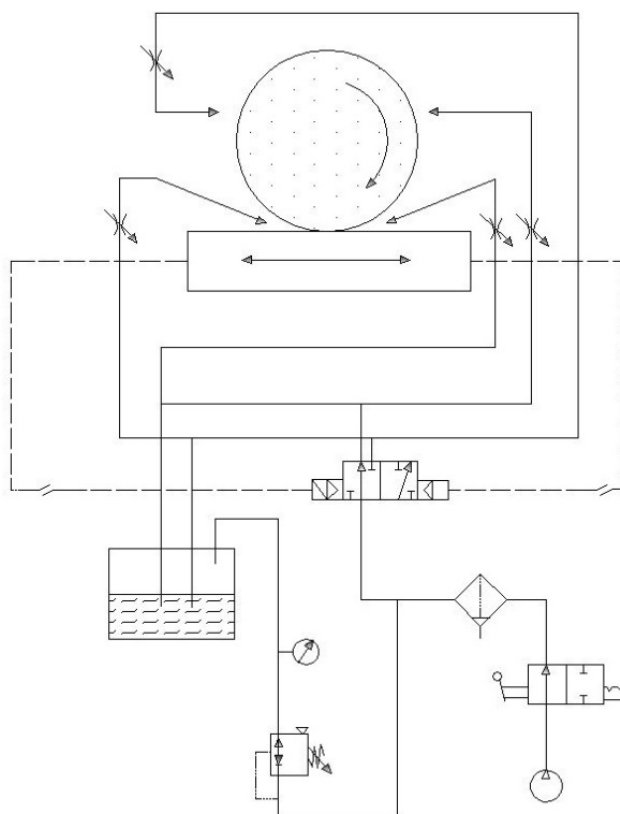
Badania przeprowadzone zostały z wykorzystaniem płaskich próbek stali 100Cr6 szlifowanych z wykorzystaniem różnych metod chłodzenia i smarowania strefy skrawania. Przed każdą próbą ściernica była obciążana diamentem jednoziarnistym. Tabela 1 przedstawia warunki, które były wykorzystywane podczas testów.

Tabela 1: Parametry podczas szlifowania

Warunki Obróbki	
Rodzaj obróbki	Szlifowanie płaszczyzn metodą węglbną
Ściernica	5TGP 54K VX
Materiał obrabiany	Stal 100Cr6
Twardość materiału	60 ±2 HRc
Obroty ściernicy	$n_s = 1800$ obr/min
Posuw	$V_{ft} = 5$ m/min
Głębokość szlifowania	$a_e = 20$ μm
Warunki smarowania	Na sucho, Met. Zalewowa, MQL, Met. Hybrydowa
Wydajność MQL	$Q = 100$ ml/h
Ciśnienie powietrza	$P = 0.6$ MPa
Obrógiacz	Diament jednostrzowy M1020

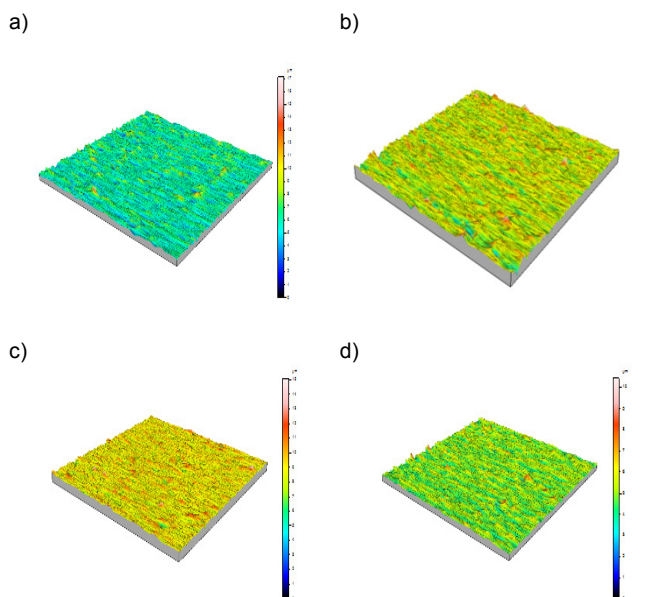
Na rysunku 3 zaprezentowano schemat pneumatyczny systemu do jednoczesnego podawania w strefę szlifowania kilku mediów chłodząco – smarujących. W zależności od odmiany kinematycznej procesu szlifowania system sam steruje, którą parą dysz ma pracować. System ten pozwala na implementację na dowolnej maszynie, ponieważ nie ingeruje on w autonomię maszyny. Dwie dysze zarezerwo-

wano dla mgły olejowej, natomiast do pozostałych dwóch można dowolnie urządzenia zasilane sprężonym powietrzem np. dysze chłodzące lub noże powietrzne. Przy otwarciu zaworu głównego układ jest zasilany sprężonym powietrzem. Po przejściu przez filtr, strumień powietrza jest rozdzielany na dwie drogi. Jedna prowadzi do zasilania w ciśnienie zbiornik z olejem, druga natomiast kierowana jest na zawór sterujący, która para dysz ma zostać włączona. Każda z 4 dysz ma osobne sterowanie przepływu ilości powietrza za pomocą dławików. Dolne dysze zostały zarezerwowane dla mgły olejowej, która tworzona jest w samej dyszy natryskowej. Górne dysze zarezerwowane dla czystego powietrza.



Rys. 3 Schemat pneumatyczny systemu sterowania 4 dyszami w zależności od kinematycznej odmiany szlifowania płaskiej próbki [5]

Po każdej próbie badano topografię powierzchni próbek. Wykorzystywano w tym celu urządzenie HOMMELWERKE. Z zainstalowaną końcówką pomiarową TKU300. Pomiar składał się z 41 cykli, w których igłą pomiarową pokonywała odcinek pomiarowy  $l_c = 4,8$  mm. Po każdym cyklu, końcówka pomiarowa przemieszczała się o 1 mm, aby wykonać kolejny pomiar. Dzięki takiemu sposobowi mierzenia można uzyskać podgląd powierzchni obrabianego przedmiotu o wymiarach 40mm x 4,8mm. Na poniższych rysunkach 4 a) - d) przedstawione są topografie powierzchni próbek uzyskane w trakcie szlifowania powierzchni przy użyciu różnych metod chłodzenia i smarowania.



Rys. 4 Topografia próbek uzyskana szlifując próbki z różnymi metodami chłodzenia a) na sucho, b) metoda zalewowa, c) MQL, d) metoda hybrydowa

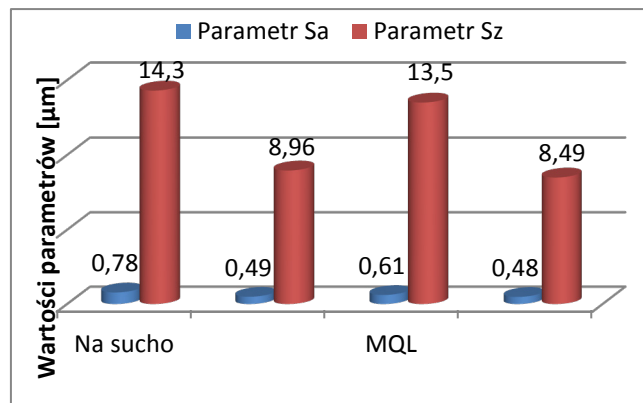
Tabela 2 przedstawia wyniki uzyskane po szlifowaniu powierzchni przy użyciu różnych metod chłodzenia i smarowania

**Tabela 2:** Parametry chropowatości uzyskanej po procesie szlifowania

	Sa	Sz	Sq	Sp	Sv
Na sucho	0,78	14,3	1,07	11,1	5,98
Metoda zalewowa	0,49	8,96	0,66	4,55	4,90
MQL	0,61	13,5	0,84	6,29	8,82
Metoda hybrydowa	0,48	8,49	0,65	5,63	4,82

Parametr Sa - średnie arytmetyczne odchylenie chropowatości powierzchni, Sz - dziesięciopunktowa wysokość nierówności powierzchni, Sq - średnie kwadratowe odchylenie chropowatości powierzchni, Sp - maksymalna wysokość wzniesienia powierzchni, Sv - maksymalna głębokość wgłębienia powierzchni.

Rysunek 5 przedstawia wielkość parametrów chropowatości przestrzennej powierzchni uzyskanej po 41 pomiarach po szlifowaniu próbek stali 100Cr6 z różnymi metodami chłodząco – smarującymi. Z wykresu można zauważyć, że najlepszą metodą chłodząco – smarującą jest metoda łącząca sprężone schłodzone powietrze wraz z mgłą olejową. W przypadku zastosowania metody MQL ilość odebranego przez tą metodę ciepła była nie wystarczająca do uzyskania dobrej powierzchni po obróbce. Dzięki dodatkowej strudze sprężonego schłodzonego powietrza ilość ciepła odebrana przez oba płyny chłodząco-smarujące w strefie szlifowania była porównywalna z metodą zalewową. Dodatkową przewagą metody hybrydowej nad metodą zalewową jest mniejsze zużycie oleju, czyszczenie czynnej powierzchni ściernicy i przebijanie strumieniem powietrza "poduszkę powietrzną".



Rys. 5 Średnie wartości parametrów chropowatości przestrzennej powierzchni Sa i Sz uzyskane w 41 pomiarach po szlifowaniu próbek stali 100Cr6 z różnymi metodami chłodząco – smarującymi

### Podsumowanie

Dodanie czynnika chłodzącego w postaci sprężonego schłodzonego strumienia powietrza do metody smarowania za pomocą mgły olejowej, może prowadzić do zmniejszenia ilości generowanego ciepła w taki sposób, że jakość powierzchni uzyskanej po procesie szlifowania jest porównywalna z uzyskiwaną w metodzie zalewowej. Dzięki tej metodzie możemy korzystać ze wszystkich zalet metody MQL, dlatego też wydatek płynu obróbkowego jest nawet kilkaset razy mniejszy. Wióry jak i maszyna pozostają suche. Proces produkcji skraca się, ponieważ można wyeliminować procesy mycia i odtuszczania wyrobów gotowych.

### LITERATURA

- Klocke F., Eisenblätter G.: "Dry cutting", Annals of the CIRP, Vol. 46/2/1997
- Oczoł K.E.: „Doskonalenie strategii chłodzenia i smarowania w procesach obróbkowych”, Mechanik nr 10/2004
- ROSIK, R; GRDULSKA, A. Określenie granicy stężenia glikolu propylenowego na stereometrię warstwy wierzchniej w procesie szlifowania. Mechanik 8-9, 2013r
- Sreejith P.S.: Machining of 6061 aluminium alloy with MQL, dry and flooded lubricant conditions. Materials Letters, 2008, t. 62, nr 2, s. 276-278.
- ŚWIERCZYŃSKI, J. Budowa systemu do jednoczesnego podawania kilku mediów chłodząco-smarujących w strefę szlifowania. Mechanik 8-9, 2013r.
- TAWAKOLI T., HADAD M.J., SADEGHI M.H., 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, 2010, str. 698-708
- TAWAKOLI T. HADAD M.J., SADEGHI M.H., DANESHI A., STÖCKERT S., RASIFARD A. – An experimental investigation of the effects of workpiece and grinding parameters on minimum quantity lubrication - MQL grinding International Journal of Machine Tools & Manufacture 49, 2009 str. 924-932
- TAWAKOLI T., HADAD M.J., SADEGHI M.H., – Influence of oil mist parameters on minimum quantity lubrication – MQL grinding process - International Journal of Machine Tools & Manufacture 50, 2010 str. 521-531
- Webster J.A.: Coolant calculus. Cutting Tool Engineering, 2008, t. 60, nr 2, s. 58, 60-66
- WOJCIK R., ROSIK R. – Glikol propylenowy jako ciecz obróbkowa podawana z minimalnym wydatkiem w strefę szlifowania – XXXIII Naukowa Szkoła Obróbki Ściernej, 2010, str. 349-356
- WÓJCIK, R. The grinding of titanium alloys. Archives of Mechanical Technology and Automation, 2013, 33.