

Maciej MICHALAK¹, Sławomir ORZECOWSKI²

Opiekun naukowy: Dorota WIĘCEK³, Paweł ZIOBRO⁴

WYKORZYSTANIE MINIMALNEGO SMAROWANIA W OBRÓBCE SKRAWANIEM

Streszczenie: W artykule przedstawiono czym jest minimalne smarowanie (MQL), które jest alternatywą dla chłodzenia konwencjonalnego w procesach obróbki skrawaniem. Opisane są korzyści wynikające ze stosowania tej technologii. Przedstawione jest doprowadzenie aerozolu do punktu skrawania, postępowanie przy wyborze i implementacji systemu minimalnego smarowania na stanowisku obróbki skrawaniem oraz czynniki jakie należy wziąć pod uwagę, aby system spełniał swoje zadanie.

Słowa kluczowe: minimalne smarowanie, korzyści minimalnego smarowania

USE OF MINIMUM QUANTITY LUBRICATION IN MACHINING

Summary: The article presents what is minimal quantity lubrication (MQL), which is an alternative to conventional cooling in machining processes. The benefits of using this technology are described. It shows the aerosol delivery to the cutting point, the procedure for selecting and implementing the minimum quantity lubrication system at the machining station, and the factors that must be considered for the system to fulfill its task.

Keywords: minimum quantity lubrication, benefits of minimum quantity lubrication

1. Wprowadzenie

Minimalne smarowanie (MQL) w obróbce skrawaniem, zwane również smarowaniem prawie suchym, jest alternatywą dla systemu konwencjonalnego (czyli zalewowego wykorzystującego emulsje) lub smarowania całkowicie suchego i jest uważane za jedno

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Inżynieria zarządzania przedsiębiorstwem, maciek9559@gmail.com

² Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Inżynieria zarządzania przedsiębiorstwem, slawomir.orzechowski@gmail.com

³ dr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, dwiecek@ath.bielsko.pl

⁴ Właściciel firmy ZPT Paweł Ziobro, pawel.ziobro@zp-team.pl

z rozwiązań zmniejszających ilość oleju, który rozwiązuje problemy środowiskowe, ekonomiczne i mechaniczne procesu [2].

Technika ta wykorzystywana jest w procesach obróbki skrawania metalu w takich operacjach jak toczenie, frezowanie, piłowanie, gwintowanie i wiercenie. Minimalne smarowanie jest procesem, w którym niewielka ilość oleju dostarczana jest bezpośrednio do punktu pomiędzy obrabianym przedmiotem, a narzędziem [8]. Smarowanie następuje za sprawą aerozolu powstającego wskutek rozpraszania kropelek oleju w strumieniu powietrza. W minimalnym smarowaniu dostarczenie środka smarnego do punktu docelowego odbywać się może na dwa sposoby: zewnętrznie lub wewnętrznie [6].

Zmniejszenie ilości oleju w porównaniu do ilości w obiegu przy metodzie konwencjonalnej do obróbki metali jest kluczową cechą MQL. W przeciwieństwie do chłodzenia konwencjonalnego, smarowanie minimalną ilością wykorzystuje tylko od 5 do 50 ml oleju na godzinę do procesu obróbki (czas pracy – kontaktu narzędzia z detalem).

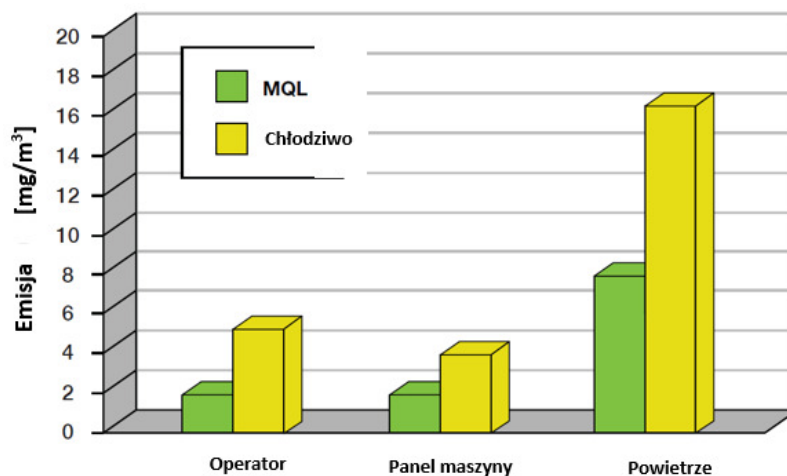
W dzisiejszych czasach smarowanie minimalną ilością wykorzystuje tak precyzyjne dozowanie, że olej jest prawie całkowicie zużyty. Skrajne zmniejszenie ilości oleju powoduje, że części i wióry są pozbawione zanieczyszczeń. Straty spowodowane parowaniem i marnotrawstwem, które mogą być znaczne przy chłodzeniu konwencjonalnym (w zależności od obrabianego przedmiotu), są nieistotne w przypadku MQL [1].

2. Korzyści minimalnego smarowania

Zalety stosowania minimalnego smarowania są wszechstronne i wiele z nich wynika bezpośrednio z wyeliminowania użycia chłodziwa. Do głównych zalet zaliczamy zmniejszenie emisji do otoczenia, obniżenie negatywnego wpływu na środowisko i pracowników, redukcję kosztów, mniejsze szoki termiczne, poprawienie wydajności obróbki i żywotności narzędzia.

2.1. Emisja do otoczenia

Stosowanie emulsji chłodzącej (metoda konwencjonalna) często pokrywa sprzęt i otaczające go obszary, negatywnie wpływając na niezawodność maszyn. Obieg i utylizacja chłodziwa wymagają dodatkowych wydatków na specjalistyczny sprzęt, robociznę i koszty utylizacji, co sprawia, że chłodziwo stanowi stosunkowo droższą w porównaniu do minimalnego smarowania propozycję [7]. W minimalnym smarowaniu występuje mniej emisji oraz jest bezpieczniejsze niż standardowa emulsja chłodząca. Prawidłowo wykonane minimalne smarowanie zapewnia, że płyny nie rozprzestrzeniają się po całym obszarze roboczym. Nie dostają się do elementów elektrycznych maszyny ani nie rozpuszczają farby z powierzchni. To sprawia, że całe otoczenie jest czystsze i wydłuża żywotność maszyn. Rysunek 1 pokazuje porównanie wykonane na tokarce ustawionej do obróbki stali. Wytworzone emisje płynu do obróbki metali zmierzono zarówno dla chłodzenia konwencjonalnego (chłodziwo), jak i smarowania minimalną ilością. Pomiary wykonano na operatorze, na samej maszynie i wewnątrz maszyny [5].



Rysunek 1. Porównanie emisji chłodzenia konwencjonalnego i minimalnego smarowania [5]

2.2. Wpływ na zdrowie

Redukcja emulsji chłodzącej w trakcie obróbki znacznie zmniejsza zagrożenia dla zdrowia spowodowane emisjami płynów do obróbki metali zarówno do powietrza, jak i na skórę pracowników [5]. Smarowanie minimalną ilością jest metodą smarowania z całkowitą stratą, a nie metodą smarowania obiegowego stosowaną w przypadku chłodziwa. Jeśli chodzi o bezpieczeństwo pracy, minimalne smarowanie oferuje przewagę nad mieszającym się z wodą olejem tworzącym konwencjonalne chłodziwo, ponieważ jest mniej szkodliwe dla skóry. Zamiast chłodziwa stosuje się tylko niewielkie ilości czystych olejów na bazie estrów lub na bazie alkoholi tłuszczowych. W przeciwieństwie do chłodziwa nie ma potrzeby stosowania środków do czyszczenia systemu, środków biobójczych i grzybobójczych, które są szkodliwe dla skóry i zdrowia, ponieważ wzrost drobnoustrojów jest możliwy tylko w fazach wodnych [1].

2.3. Wpływ na środowisko

Wraz z rozwojem przemysłu rośnie ilość substancji niebezpiecznych i toksycznych, które negatywnie wpływają na ekosystem i zdrowie ludzi. W związku z tym pojawiają się tendencje do zrównoważonej, zielonej i czystej produkcji. Zgodnie z wymogami prawnymi dotyczącymi ochrony środowiska badacze są zachęceni do wprowadzania innowacyjnych technologii smarowania w celu zminimalizowania wykorzystania szkodliwych płynów w obróbce skrawaniem [3].

W minimalnym smarowaniu wykorzystywany jest przyjazny dla środowiska olej w tak niewielkich ilościach, że w procesie obróbki jest on często zużywany. Dzięki temu do utylizacji lub czyszczenia pozostaje niewiele płynu, a wióry są na tyle suche, że można je poddać recyklingowi bez dodatkowego przetwarzania. Redukcja odpadów i przyjazne dla środowiska płyny sprawiają, że jest to proces bardzo przyjazny dla środowiska [5].

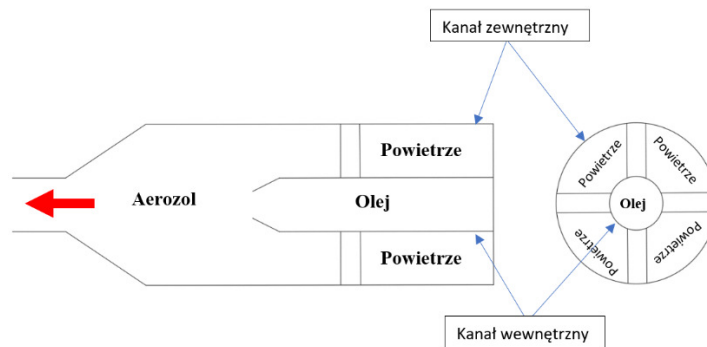
2.4. Redukcja kosztów

Korzystanie z mniejszej ilości płynu ma wiele zalet. Z ekonomicznego punktu widzenia MQL po prostu kosztuje mniej. Wielu jest zaskoczonych, gdy dowiadują się, że oszczędności nie wynikają z zakupu mniejszej ilości płynu. Choć płyn MQL zwykle kosztuje znacznie więcej za litr, stosuje się mniej niż 1/10 000 ilości płynu. To sprawia, że koszt jednej obrabianej jednostki jest znacznie mniejszy [5]. W trakcie używania konwencjonalnych metod chłodzenia zaobserwowano, że wymagane jest wykonanie dodatkowych operacji podczas produkcji. Po zakończeniu procesu obróbki trzeba odłuścić i umyć obrabiany przedmiot, co powoduje wydłużenie procesu produkcyjnego i pojawienie się dodatkowych kosztów [4]. Ponadto, gdy stosuje się smarowanie minimalną ilością, nie ma kosztów czyszczenia i suszenia wiórów przed ich usunięciem [1].

3. Minimalne smarowanie na stanowisku toczenia

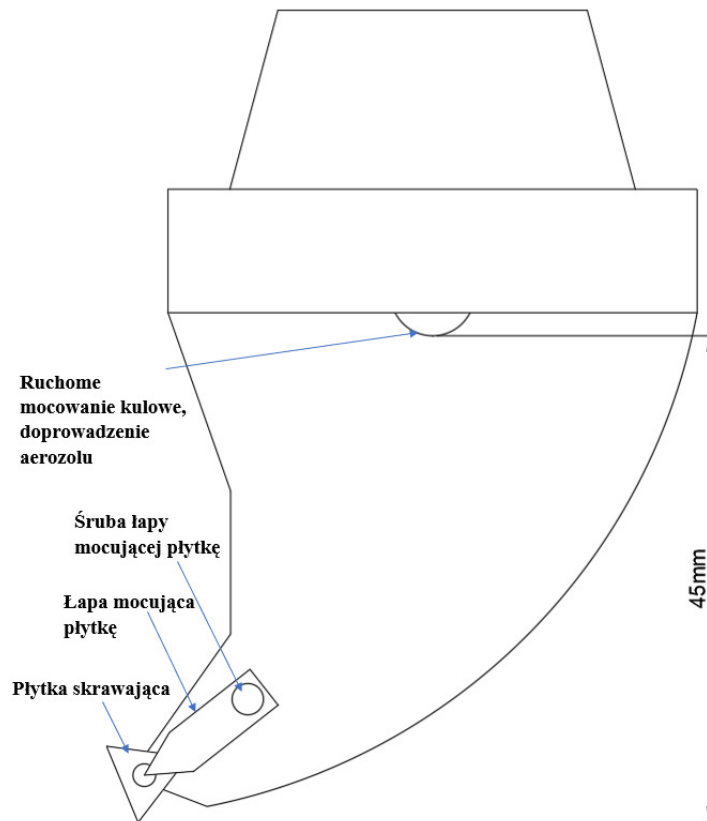
Modernizując układ chłodzenia obrabiarki na minimalne smarowanie przez wewnętrzny kanał narzędzia należy zwrócić uwagę, aby wrzeciono było przystosowane do współpracy w systemami minimalnego smarowania. W instalacji nie powinny występować nadmierne zagięcia (załamania) lub zwężenia (zmiany średnic).

W pierwszej kolejności należy zaopatrzyć się w elementy niezbędne do zaimplementowania minimalnego smarowania na stanowisku. Na początku należy wybrać wytwornicę systemu minimalnego smarowania, jest ona podstawą całej instalacji, w tym przypadku została wybrana wytwornica dwukanałowa. Kolejnym elementem jest odpowiednia oprawka narzędziowa. Musi być ona kompatybilna z systemem minimalnego smarowania. Do transportu medium w obrabiarkę używa się przewodów koaksjalnych, dzięki którym olej i powietrze doprowadzane są w dwóch osobnych kanałach. Aby wszystko ze sobą współpracowało wykorzystuje się dysze koaksjalne. Dzięki dyszy koaksjalnej olej i powietrze doprowadzane w dwóch osobnych kanałach mogą się wymieszać we wskazanym miejscu i dotrzeć do punktu skrawania w postaci aerozolu. Dysza ta znajduje się przed złączem obrotowym. Zdecydowała o tym charakterystyka maszyny, ponieważ przez wrzeciono poprowadzony jest tylko jeden kanał, który zaczyna się od złącza obrotowego. Działanie dyszy przedstawia rysunek 2.



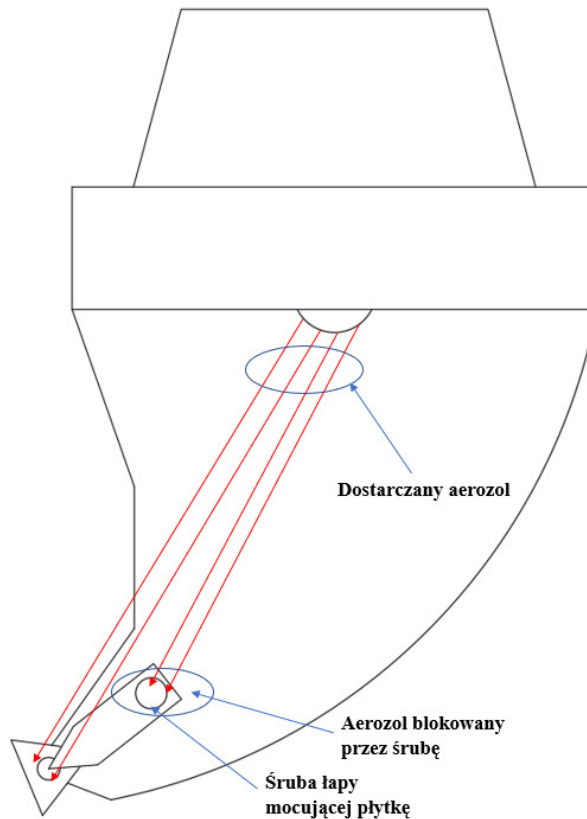
Rysunek 2. Schemat działania dyszy koaksjalnej. Opracowanie własne

Po wyborze, elementy następnie są instalowane w obrabiarce i wykonywane są testy czy system działa w należyty sposób. Na efektywność minimalnego smarowania ma wpływ olej jaki jest stosowany i krople jakie przy jego użyciu powstają. Rysunek 3 przedstawia elementy oprawki mające wpływ na testy.



Rysunek 3. Rysunek poglądowy budowy oprawki. Opracowanie własne

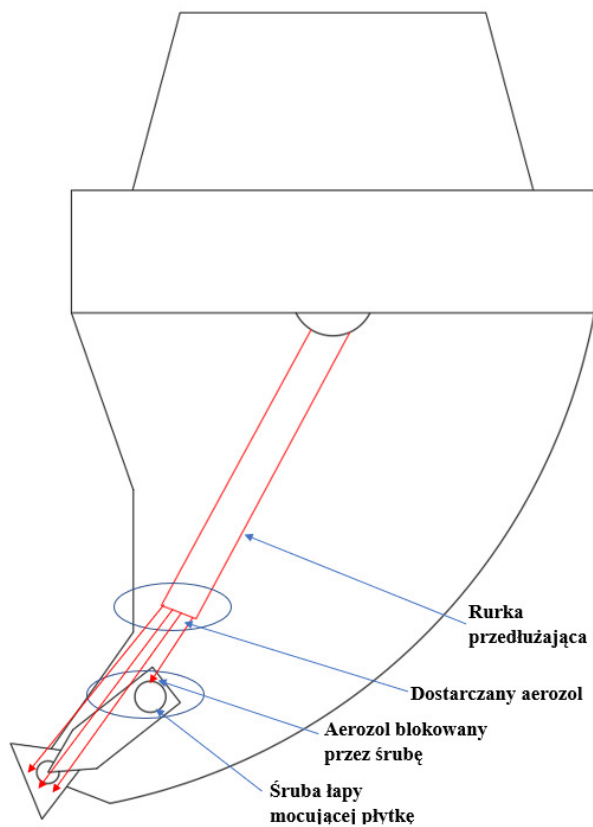
W trakcie przeprowadzenia testów zauważono, że pojawiło się niepożądane zjawisko, które powodowało, że część aerozolu nie docierała do punktu skrawania, przez co smarowanie było niedostateczne. W celu znalezienia problemu zamontowano w obrabiarce szybką kamerę, która nagrywała przebieg procesu obróbki. W trakcie analizy filmu zauważono, że aerozol jest zatrzymywany poprzez śrubę łapy mocującej płytkę skrawającą. Krople aerozolu rozbijały się o tą przeszkodę i zamiast trafić do miejsca docelowego spływały one po oprawce nie będąc wykorzystane. Sytuację tę przedstawia rysunek 4.



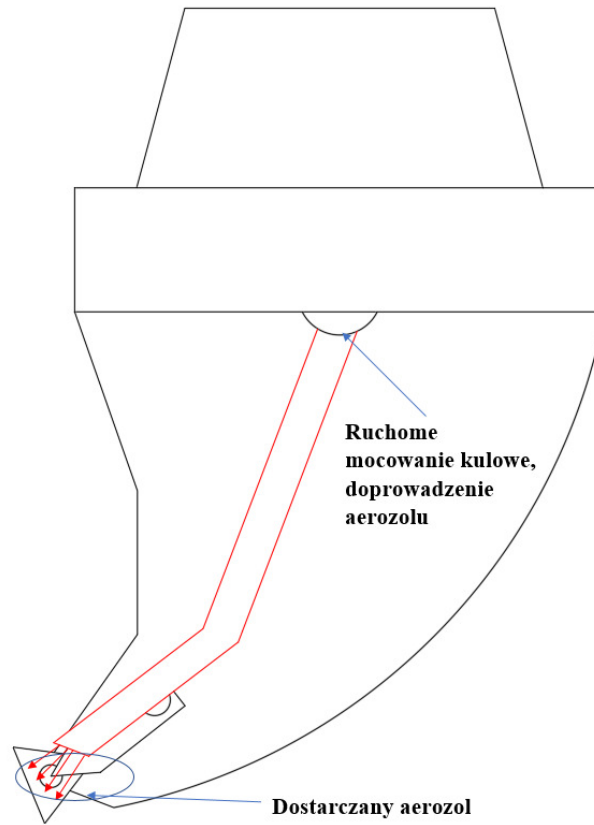
Rysunek 4. Blokowanie części aerozolu przez śrubę. Opracowanie własne

W celu wyeliminowania powstałego problemu zastosowano przedłużkę w postaci gwintowanej rurki wkręcanej do otworu ruchomego mocowania kulowego, z którego dostarczany jest aerosol. Sposób ten przedstawia rysunek 5. Pomysł zastosowania przedłużki w postaci rurki był dobry, jednak okazało się, że była ona zbyt krótka co również powodowało straty w dostarczonym aerosolu, który nie trafiał w całości do punktu skrawania.

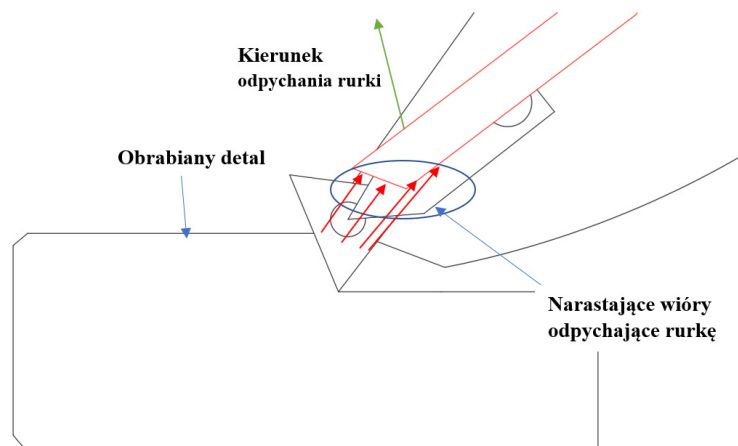
W dalszej kolejności postanowiono zastosować rurkę, która była dłuższa od poprzedniej, tak aby aerosol nie był blokowany przez śrubę łapy trzymającej płytkę skrawającą. Sytuację przedstawia rysunek 6. Dzięki temu rozwiązaniu cała objętość aerosolu trafiała w miejsce docelowe, czyli punkt skrawania. W trakcie testu napotkaliśmy wyzwanie związane z wiórami. Wióry te wraz ze skrawaniem kolejnych warstw materiału narastały przez co rurka osadzona na gwincie ruchomego mocowania kulowego została przez nie odchylana. [9] Przedstawione zostało to na rysunku 7.



Rysunek 5. Dostarczanie aerozolu ze zbyt krótką rurką. Opracowanie własne

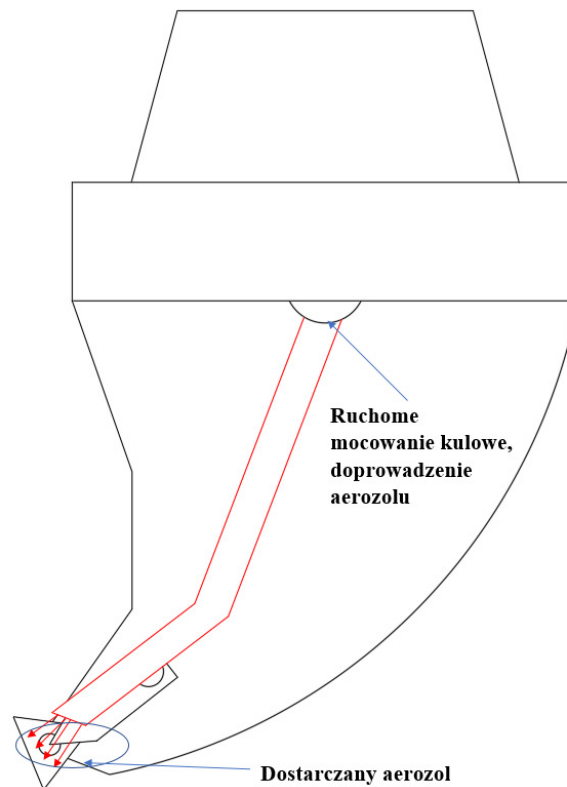


Rysunek 6. Dostarczenie aerozolu ze zbyt długą rurką. Opracowanie własne



Rysunek 7. Odpychanie rurki przez wióry. Opracowanie własne

W celu ostatecznego wyeliminowania pojawiającego się problemu zastosowano rurkę, która była wystarczająco długa, aby cała objętość aerozolu dostarczana była do punktu docelowego oraz wystarczająco krótka, aby wióry jej nie odpychały z ustalonej pozycji. Sytuacja ta przedstawiona jest na rysunku 8.



Rysunek 8. Dostarczenie aerozolu z dopasowaną rurką. Opracowanie własne

W kolejnym etapie wykonane zostały pomiary zużycia energii podczas obróbki w trakcie używania chłodzenia konwencjonalnego oraz minimalnego smarowania. Do tego celu użyte zostało specjalistyczne oprogramowanie. Z danych otrzymanych z pomiarów uzyskano, że w trakcie używania minimalnego smarowania zużycie energii spadło o 19% w stosunku do chłodzenia konwencjonalnego (czyli zalewowego wykorzystującego emulsję). Oznacza to, że MQL jest znacznie korzystniejszy od konwencjonalnego chłodzenia i pozwala również na redukcję kosztów związanych ze zużyciem energii.

4. Podsumowanie

Technologia minimalnego smarowania może skutecznie zastąpić konwencjonalne metody chłodzenia chłodziwem w procesach obróbki skrawaniem. System ten pozwala przedsiębiorstwom zredukować ponoszone koszty poprzez zmniejszenie negatywnego

wpływu na środowisko, zużycia wody i energii. Dodatkowo eliminowane są czynności związane z filtracją wiórów, wykorzystanych płynów czy mycia detali przed kolejną operacją co pozwala zaoszczędzić nie tylko czas, ale i pieniądze potrzebne na ich wykonanie. Minimalnego smarowanie jest rozwijane z myślą doskonalenia procesów obróbki skrawaniem, aby je usprawniać, zwiększać wydajność, szukać oszczędności przy jednoczesnym dbaniu o środowisko i zdrowie pracowników.

LITERATURA

1. DGUV: Minimum quantity lubrication for machining operations, DGUV 2010.
2. PAULO D. J.: Sustainable Manufacturing, Wiley-ISTE, Portugalia 2010.
3. SEN B., MIA M., KROLCZYK G.M., MANDAL U. K., MONDAL S. P.: Eco-Friendly Cutting Fluids in Minimum Quantity Lubrication Assisted Machining: A Review on the Perception of Sustainable Manufacturing, Springer 2019.
4. ŚWIERCZYŃSKI J.: Smarowanie strefy szlifowania za pomocą metody MQL wspomagane sprężonym schłodzonym powietrzem jako alternatywa dla metody zalewowej, Mechanik 2016.
5. WALKER T.: The MQL Handbook, Unist 2015.
6. Strona internetowa firmy SKF:
<https://www.skf.com/pl/products/lubrication-solutions/lubrication-systems/minimal-quantity-lubrication-systems/index.html>, 11.11.2020.
7. Strona internetowa firmy Unist: <https://unist.com/pdf/revolution.pdf>, 11.11.2020.
8. Strona internetowa:
<http://www.cnc-west.com/wp-content/uploads/2016/10/Unist.pdf>, 11.11.2020.
9. Materiały firmy ZPT.