

Maciej MICHALAK¹, Jakub BANAS², Sławomir ORZECOWSKI³

Opiekun naukowy: Paweł ZIOBRO⁴, Dorota WIĘCEK⁵

SYSTEMY SMAROWANIA W TECHNOLOGII MQL

Streszczenie: W artykule przedstawiono czym są systemy smarowania w technologii Minimum Quantity Lubrication, ogólny podział urządzeń w technologii MQL, budowę oraz zasady działania poszczególnych systemów MQL. Zastosowanie systemów smarowania MQL w procesach obróbczych oraz jakie jest ich zadanie w trakcie ich realizacji. Pokazanie różnic pomiędzy danymi urządzeniami wykorzystywanymi w wewnętrznych i zewnętrznych systemach MQL.

Słowa kluczowe: smarowanie zewnętrzne i wewnętrzne, system jednokanałowy, system dwukanałowy

LUBRICATION SYSTEMS IN MQL

Summary: The article presents what are lubrication systems in the Minimum Quantity Lubrication technology, the general division of devices in MQL technology, the construction and operating principles of individual MQL systems. The use of MQL lubrication systems in machining processes and what their task is during their implementation. Showing differences between the given devices used in the internal and external MQL systems.

Keywords: external lubrication, internal lubrication, single channel system, two channel system

1. Wprowadzenie

Systemy minimalnego smarowania (MQL) ograniczające do minimum zużycie środka smarującego mają za zadanie doprowadzić niewielkie jego ilości do punktów skrawania pomiędzy narzędziem i obrabianym przedmiotem w trakcie wykonywania

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Inżyniera zarządzania produkcją, maciek9559@gmail.com

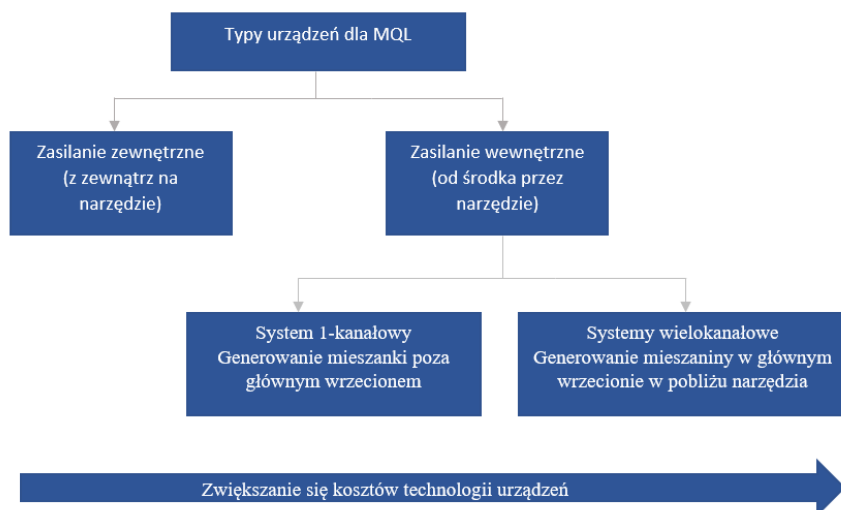
² Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Inżyniera zarządzania produkcją, banaskuba@interia.pl

³ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Inżyniera zarządzania produkcją, slawomir.orzechowski@gmail.com

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

⁵ Dr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, dwiecek@ath.bielsko.pl

operacji związanej z danym rodzajem procesu obróbki. Smarowanie następuje za sprawą aerozolu powstającego wskutek rozpraszania kropelek oleju w strumieniu powietrza. Smarowanie narzędzia lub obrabianego przedmiotu minimalną ilością środka smarnego (MQL) może odbywać się w dwojaki sposób: wewnętrznie lub zewnętrznie (rysunek 1) [6].



Rysunek 1. Typy urządzeń w MQL [2]

Do maszyn wykonujących takie operacje jak, np. przeciąganie, piłowanie i formowanie, zwykle używane są proste, sterowane urządzenia MQL z wewnętrznym i zewnętrznym zasilaniem z różnymi trybami funkcjonalnymi. Zazwyczaj są to systemy ze zbiornikami ciśnieniowymi i pompami dozującymi.

Nowoczesne elastyczne systemy produkcyjne wymagają bardzo wymagającej technologii urządzeń MQL. W tym celu opracowano złożone systemy MQL, które mają zintegrowane komponenty do regulacji, kontroli i monitorowania.

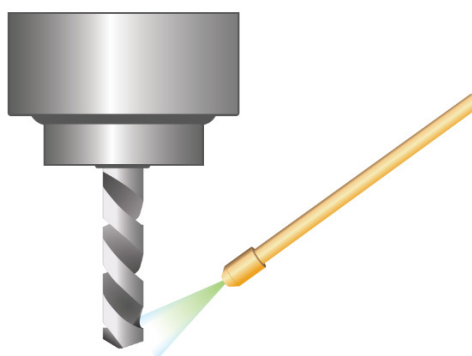
W zależności od dostępności najnowocześniejszych urządzeń obowiązują różne wymagania. Z tego powodu wprowadzono rozróżnienie między zasilaniem zewnętrznym i wewnętrznym środka smarującego, co robi zauważalną różnicę w koszcie technologii urządzenia. Zasadniczym wymogiem obu wariantów systemu jest dostępność odpowiedniej ilości aerozolu w punkcie obróbki, w chwili startu cyklu, gdy operacja się zaczyna [3].

W przypadku zasilania zewnętrznego olej jest наносzony za pomocą dysz rozpylających na obwodzie narzędzia. Ten system jest szczególnie odpowiedni do wdrożenia na poziomie podstawowym dla standardowych procesów (toczenie, frezowanie, wiercenie).

Dzięki zasilaniu wewnętrznemu olej jest transportowany przez system wrzeciona maszyny i przez kanały w narzędziu do punktu obróbki. System ten jest stosowany przede wszystkim w przypadku zastosowania elastycznych centrów obróbczych i nowych maszyn, a także w przypadku obróbki z dużą prędkością.

2. Zewnętrzne systemy MQL

Zewnętrzne zasilanie doprowadza strumień aerozolu przez zewnętrzną dyszę przylegającą do narzędzia obróbkowego (rysunek 2). Zewnętrzne zasilanie jest łatwe w użyciu i wdrażaniu oraz wystarcza w wielu toczeniach i frezowaniach, gdzie strumień aerozolu może bezpośrednio dotrzeć do strefy cięcia. Jednak zasilanie zewnętrzne często wymaga ręcznej regulacji położenia i kąta dyszy, aby zmaksymalizować wydajność smarowania; ma również ograniczone zastosowanie w procesach o wysokim współczynniku kształtu, takich jak głębokie wiercenie i frezowanie.



Rysunek 2. System zewnętrzny MQL

Urządzenia do zasilania zewnętrznego transportują olej i oddzielne powietrze atomizujące w pobliżu punktu kontaktowego. Odbywa się to w koaksjalnym lub równoległym pakiecie przewodów. Na końcu przewodów olej jest rozpylany za pomocą dyszy natryskowej i podawany do narzędzia w postaci aerozolu z zewnątrz. Aplikacja zewnętrzna jest prostsza do wdrożenia, ponieważ nie wymaga modyfikacji obrabiarki, i może być również używana z relatywnie niedrogimi narzędziami monolitycznymi. Jest wykorzystywany w wielu zastosowaniach lotniczych, zwłaszcza tych, które wymagają modernizacji dużych maszyn. Nadaje się również do frezowania końcowego i czołowego, szczególnie tych, w których stosuje się narzędzia o dużej średnicy.

Metoda smarowania, w której aerozol dostarczany jest od zewnątrz stosowana jest przy użyciu narzędzi, które ciężko jest przystosować do metody wewnętrznej. Urządzenia wykorzystywane w systemie smarowania zewnętrznego można podzielić ze względu na sposób transportu oleju, są nimi: urządzenia z wykorzystaniem pomp dozujących oraz urządzenia z wykorzystaniem zbiornika ciśnieniowego.

W urządzeniach z wykorzystaniem pomp dozujących olej jest transportowany przez pneumatyczną mikropompę. Dozowanie oleju jest regulowane za pomocą skoku i częstotliwości tłoka pompy. Oprócz dokładnych ustawień objętości dozowania, urządzenie to należy zabezpieczyć przed nieuprawnioną regulacją; powinien również mieć wystarczającą objętość pojemnika i kompletne akcesoria (dysze, pojemniki, jednostka uzupełniająca). Kluczowymi zaletami systemu mikropompy są dokładne ustawienia objętości dozowania i modułowa konstrukcja, która oprócz zdecentralizowanego montażu elementów pompy umożliwia zainstalowanie niemal dowolnej liczby elementów pompy. Wady to pulsujący strumień oleju i zużycie części ruchomych.

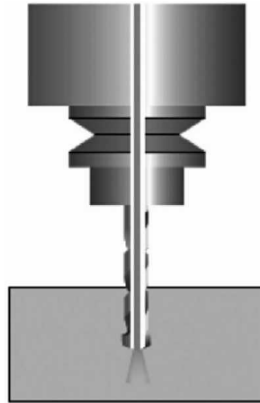
W urządzeniach z wykorzystaniem zbiorników ciśnieniowych olej jest wypychany ze zbiornika pod ciśnieniem. Zaletą jest konstrukcja możliwie jak najbardziej modułowa z kilkoma wyjściami, które można indywidualnie podłączyć i regulować, a także kompletne akcesoria (dysze, zbiorniki, jednostka uzupełniająca). W przeciwieństwie do układów mikropomp, najważniejsze zalety tych układów to równomierny strumień smarowania i brak ruchomych części podlegających zużyciu. Systemy ze zbiornikami ciśnieniowymi mają również wady. Precyzyjna regulacja objętości dawki oleju jest możliwa tylko w ograniczonym stopniu, a liczba wyjść jest ograniczona.

3. Wewnętrzne systemy MQL

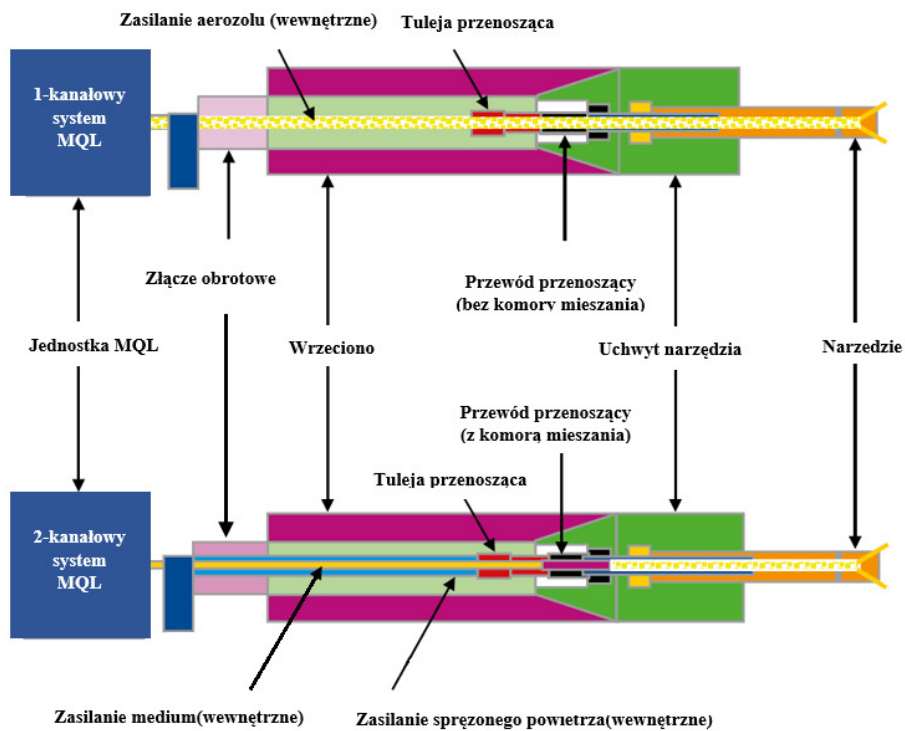
W przypadku metody smarowania wewnętrznego sprężone powietrze lub aerozol doprowadza się przez wrzeciono, uchwyt narzędzia i samo narzędzie, bezpośrednio do punktu między narzędziem i obrabianym przedmiotem (rysunek 3). Konstrukcja tych elementów maszyny ma zatem znaczący wpływ na funkcjonowanie smarowania minimalną ilością, a w niektórych przypadkach wymaga optymalizacji całego układu. Smarowanie jest stale dostępne w trakcie trwania całego procesu obróbki. Umożliwia to niezawodne wiercenie głębokich otworów przy wysokich prędkościach skrawania. W przeciwieństwie do urządzeń do podawania zewnętrznego, regulacja dysz podających nie jest konieczna i straty są bardzo niewielkie z powodu dyspersji aerozolu wokół punktu obróbki. Ustawienia ilości oleju i powietrza można wprowadzać za pomocą układu sterowania maszyny.

Jednak wewnętrzny system jest znacznie droższy, wymagający modyfikacji maszyny, narzędzi z wewnętrznymi kanałami chłodziwa i specjalnymi interfejsami, a w niektórych przypadkach specjalnych opravek [4]. Wewnętrzne dostarczanie aerozolu jest szczególnie powszechne w przypadku wiercenia, głębokich otworów oraz w przypadku części o dużym nadadtku wymagających częstej wymiany narzędzi, ponieważ trudno jest zaprojektować solidne systemy dysz zewnętrznych do tych zastosowań. Przy zasilaniu wewnętrznym aerozol jest dostarczany bezpośrednio na krawędzie tnące, eliminując straty związane z rozpraszaniem oleju związane z dyszami zewnętrznymi. Dostarczanie wewnętrzne jest trudne do zastosowania w przypadku niektórych narzędzi o średnicach mniejszych niż 3 mm ze względu na trudność w wytwarzaniu małych narzędzi o wystarczająco dużych wewnętrznych kanałach chłodzących.

Wewnętrzne systemy MQL dzielone są na systemy jednokanałowe oraz systemy dwukanałowe. Mimo podobieństw w swojej budowie różnią się one miejscem, w którym wytwarzany jest aerozol. W systemie jednokanałowym olej mieszany jest z powietrzem przed wprowadzeniem do wrzeciona w zbiorniku oleju znajdującym się przed instalacją przewodów doprowadzających aerozol, natomiast w systemie dwukanałowym media doprowadzane są do obrabiarki dwoma osobnymi kanałami, a następnie łączone ze sobą między wrzecionem a narzędziem w komorze mieszania za pomocą wirującej lancy (rysunek 4). To, jaki system wybrać, zależy m.in. od wielkości produkowanych w przedsiębiorstwie serii oraz stosowanych w tych procesach maszyn [10].



Rysunek 3. System wewnętrzny MQL [1]

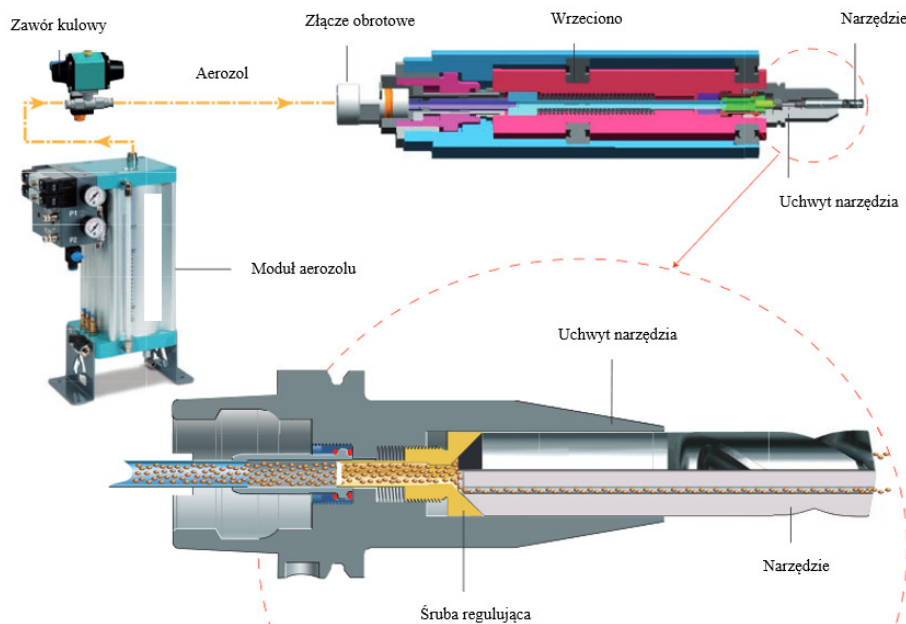


Rysunek 4. Porównanie systemu jednokanałowego i dwukanałowego [2]

4. Jednokanałowe systemy MQL

Jednokanałowe systemy MQL są prostsze do wdrożenia, ponieważ nie są wymagane duże modyfikacje obrabiarek i specjalne oprawki narzędziowe. Są one powszechnie stosowane do zewnętrznego dostarczania aerozolu i mogą być również stosowane

w aplikacjach przez narzędzia (rysunek 5). Aerosol jest generowany wewnątrz jednostki MQL, a w niektórych przypadkach może być dostarczana do narzędzia tnącego przez istniejące porty chłodziwa lub dysze. Istnieją dwie powszechne metody generowania aerosolu w systemach jednokanałowych: metoda pompy dozującej i metoda zbiornika ciśnieniowego. W systemach z drobnym aerosolem kropelki oleju łączą się podczas przechodzenia przez wąskie dysze lub kanały chłodzące narzędzia, tworząc większe krople, które są bardziej skuteczne w smarowaniu [2].



Rysunek 5. System jednokanałowy [8]

Ilość oleju dostarczanego w punkcie narzędzia trudno jest precyzyjnie kontrolować w jednokanałowym MQL, ponieważ zależy on od wielu czynników. Ponieważ olej jest dostarczany do narzędzia w mgłę olejowo-powietrznej, szybkość dostarczania oleju zależy od natężenia przepływu powietrza. Kanały doprowadzania mgły powinny być wolne od przeszkód, zmian średnicy i nagłych zmian kierunku, aby uniknąć ograniczenia przepływu. W niektórych aplikacjach stosuje się podwyższone ciśnienie powietrza (5–7 barów w porównaniu do 4–6 barów w systemach dwukanałowych) w celu utrzymania odpowiedniego przepływu powietrza. W zastosowaniach związanych z dostawami wewnętrznymi w centrach obróbczych objętość oleju zależy również od prędkości obrotowej wrzeciona, ponieważ krople przechodzą przez strefy, w których występują siły bezwładnościowe (odśrodkowe) podczas przechodzenia przez wrzeciono i mogą raczej przylegać do ścianek przewodów niż być transportowane do narzędzia.

Długość ścieżki, którą aerosol musi pokonać przez wrzeciono lub do dysz zewnętrznych, może mieć znaczenie w przypadku jednokanałowych zastosowań z wewnętrznym dostarczaniem z częstymi wymianami narzędzi, zwłaszcza jeśli dla kolejnych narzędzi stosowane są znacznie różne poziomy dawki oleju.

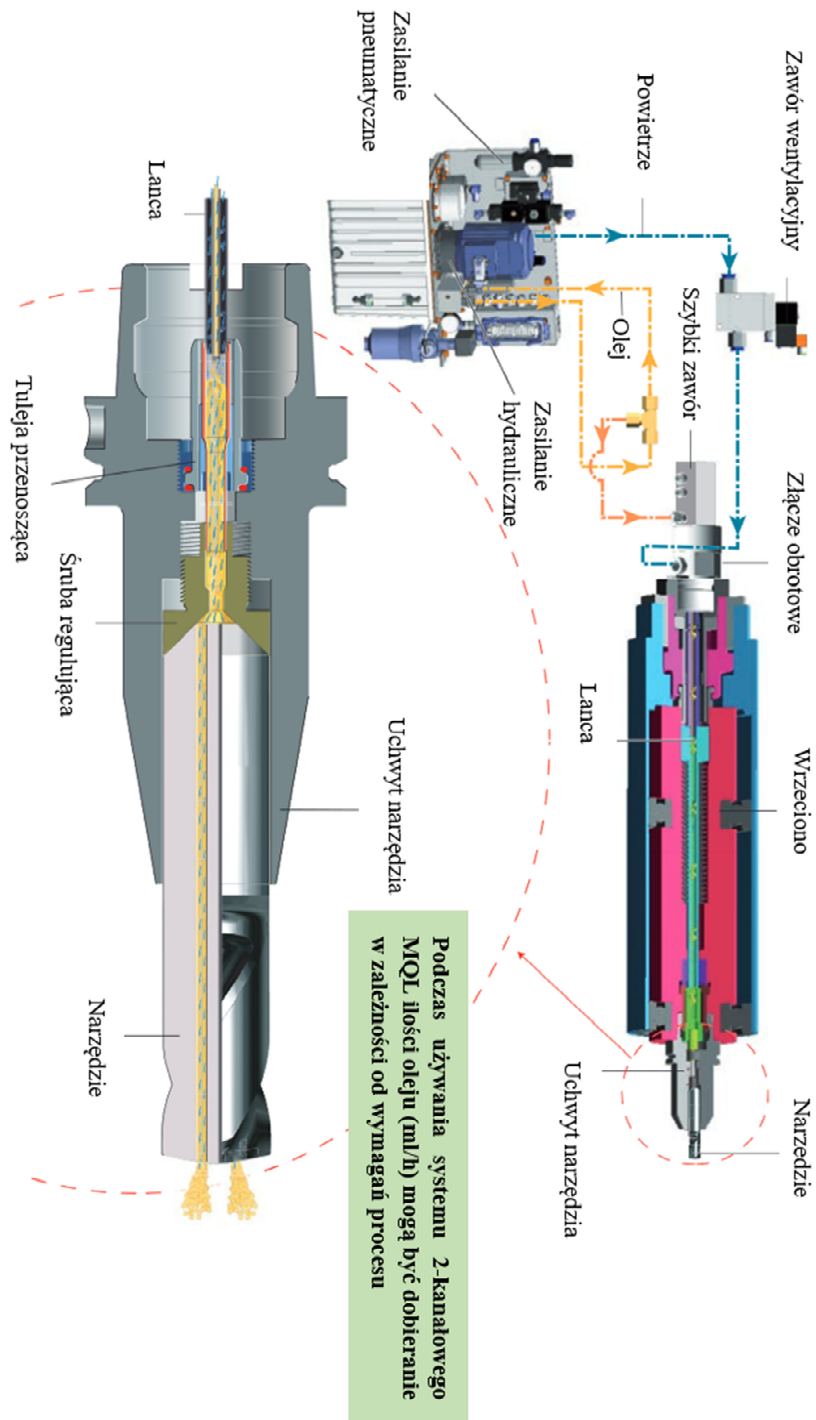
5. Dwukanałowe systemy MQL

W systemie 2-kanałowym olej chłodzący i powietrze są oddzielnie transportowane dwoma kanałami przez wrzeciono narzędzia do uchwytu narzędzia, a następnie tam mieszane (rysunek 6). Lanca zamontowana we wrzecionie transportuje olej i tłumi efekt odśrodkowy, a tym samym możliwość procesów wytrącania drobin oleju we wrzecionie. W porównaniu do systemu 1-kanałowego prędkość wrzeciona można znacznie zwiększyć. Zintegrowany system szybkiego zaworu kontroluje optymalne dozowanie objętości oleju. Za pomocą tego systemu można mieszać olej i powietrze w niemal nieograniczonych ilościach. Droga z komory mieszania do miejsca docelowego jest minimalna, co skutkuje szybkim czasem reakcji i umożliwia szybką zmianę objętości czystego oleju [9].

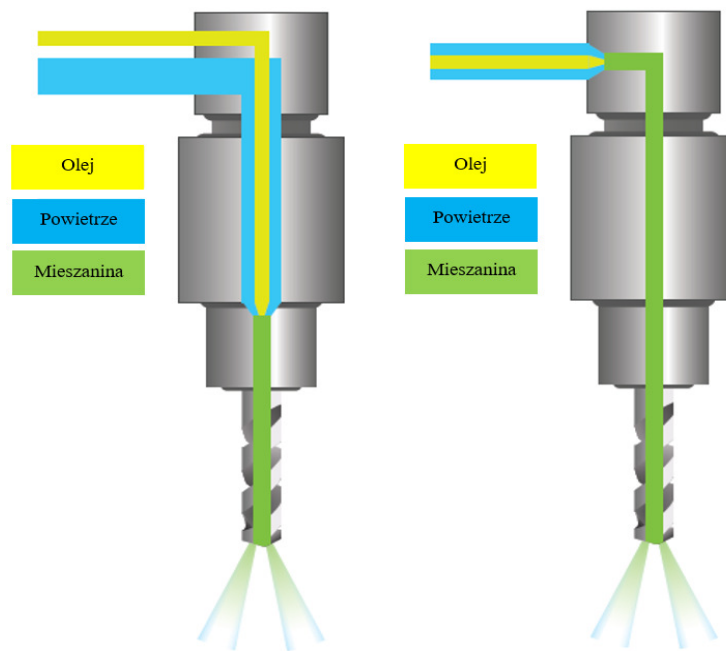
Jednostka MQL transportuje olej do szybkiego zaworu, który precyzyjnie odmierza zależną od procesu optymalną ilość oleju i przekazuje go do 2-kanałowego uchwytu obrotowego. Olej jest transportowany przez wewnętrzny kanał lancy, podczas gdy powietrze jest dostarczane przez zewnętrzny kanał pierścieniowy między lancą a wrzecionem.

Przedni koniec lancy wystaje do komory mieszania w tulei przenoszącej, skąd tak wytworzona mieszanina olejowo-powietrzna prowadzona jest przewodem do śruby regulującej skąd jest podawana do narzędzia. Zatem aerozol musi przemieścić tylko długość uchwytu narzędzia i narzędzia, zanim dotrze do punktu obróbki [5].

Wśród systemów dwukanałowych możemy rozróżnić: dwukanałowy przez wrzeciono oraz dwukanałowy koaksjalny do wrzeciona. (rysunek 7).



Rysunek 6. System dwukanałowy [8]



Rysunek 7. System dwukanałowy przez wrzeciono (po lewej) oraz system dwukanałowy koaksjalny do wrzeciona lub (po prawej) [7]

System dwukanałowy przez wrzeciono:

- oddzielne przewody oleju i powietrza łączą się z 2-kanałowym złączem obrotowym,
- olej i powietrze są mieszane razem tuż przed uchwytem narzędzia,
- niemal natychmiastowe zmiany wydatku płynu w narzędziu skrawającym,
- wymaga dedykowanego obrotowego MQL,
- wymaga narzędzi z otworami olejowymi.

System dwukanałowy koaksjalny do wrzeciona:

- kanał oleju jest poprowadzony w osobnym przewodzie wewnątrz kanału powietrza,
- olej i powietrze mieszają się razem tuż przed wrzecionem,
- niewielkie opóźnienie, zanim zmiany w wydatku oleju są widoczne w narzędziu,
- wymaga narzędzi z otworami olejowymi.

LITERATURA

1. DAVID A. STPHENSON, JOHN S. AGAPIOU: Metal Cutting Theory and Practice, CRC, 2018.
2. DGUV: Minimum quantity lubrication for machining operations, DGUV, 2010.
3. KLOCKE F.: Manufacturing Processes 1: Cutting, Springer Science & Business Media, 2011.

4. MARTIN ABRAHAM: Encyclopedia of Sustainable Technologies, Elsevier, 2017.
5. KURGIN S., DASCH J.M., SIMON D.L., BARBER G.C., QIAN ZOU: A comparison of two minimum quantity lubrication delivery systems.
6. Strona internetowa firmy SKF:
<https://www.skf.com/pl/products/lubrication-solutions/lubrication-systems/minimal-quantity-lubrication-systems/index.html>, 04.11.2019.
7. Strona internetowa firmy Unist: <https://unist.com/pdf/revolution.pdf>, 04.11.2019.
8. Strona internetowa firmy Bielomatik:
https://www.bielomatik.com/fileadmin/Dokumente/EN/Schmiersysteme/Brochure_MQL_EN_0316KL.pdf 04.11.2019.
9. Strona internetowa firmy Guhring: <https://www.guhring.com.mx/assets/mql-basics.pdf>, 04.11.2019.
10. Strona internetowa serwisu Magazyn Przemysłowy:
<https://www.magazynprzemyslowy.pl/produkcja/Smarowanie-i-chlodzenie-mgla-olejowa,6405,1>, 04.11.2019.