

**Autor: Michał Tomala**

**Uczelnia: Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej**

**Opiekuni naukowci: Dorota Więcek, Paweł Ziobro**



## Kluczowe elementy komplementarne w technologii minimalnego smarowania

### 1. Wprowadzenie

Smarowanie minimalną ilością (MQL) zdobyło sobie pozycję w dziedzinie obróbki skrawaniem i zostało już sprawdzone jako alternatywa dla konwencjonalnej obróbki na mokro w wielu procesach. W przeciwieństwie do konwencjonalnych systemów mokrego smarowania, które zalewają przedmiot obrabiany dużymi ilościami krążących płynów obróbkowych, w smarowaniu minimalną ilością zużywa się kilka mililitrów środka smarującego na godzinę.

Od początku XXI wieku korzyści techniczne, środowiskowe i ekonomiczne wynikające z zastosowania MQL przekonały wiele przedsiębiorstw produkcyjnych, począwszy od Niemiec i Japonii, do stopniowego przestawienia swoich procesów obróbkowych ze środków smarujących do obróbki metali z domieszką wody na środki dedykowane do MQL. Minimalne smarowanie stanowi dzisiaj nowy standard przemysłowy dla narzędzi z wewnętrznym systemem podawania środka smarującego i dla coraz większej liczby producentów w różnych krajach i branżach, takich jak przemysł motoryzacyjny, lotniczy i kosmiczny zapewniając produkcję złożonych części przy braku zanieczyszczenia środowiska i prawie na sucho. Technologia MQL opiera się na ciągłych dostawach bardzo małych ilości środka smarującego w postaci aerozolu do punktu skrawania. Podczas obróbki środek smarujący znacznie zmniejsza tarcie między wiórem a powierzchnią natarcia, dzięki czemu generowana jest mniejsza ilość ciepła, które w dużej mierze jest rozpraszane przez wióry. Narzędzia kompatybilne z MQL ułatwiają szybkie usuwanie wiórów. W rezultacie żywotność narzędzia wzrasta, zwiększa się prędkość skrawania, poprawia się jakość powierzchni obrabianej i cały proces obróbki odbywa się w krótszym czasie i przy niższych kosztach.

### 4. Narzędzia używane w minimalnym smarowaniu

Narzędzie oraz jego odpowiednia budowa jest kolejnym istotnym elementem całego systemu. Narzędzia, które zostały wybrane w oparciu o warunki występujące w obróbce z użyciem tradycyjnego chłodziwa, mogą nie być najlepsze do stosowania w minimalnym smarowaniu. MQL opiera się na zmniejszonym wytwarzaniu się ciepła oraz jego szybkim odprowadzaniu przez wióry zamiast szybkiego chłodzenia cieczą. Narzędzia kompatybilne z MQL powinny być zaprojektowane do pracy przy wyższych poziomach ciepła, a geometria narzędzia powinna być tak zoptymalizowana, aby odprowadzać wióry tak szybko jak to tylko możliwe. Jest to przeciwieństwo narzędzi zaprojektowanych do obróbki na mokro, które muszą być zoptymalizowane do utrzymania krawędzi skrawającej przy powtarzających się cyklach termicznych. Profesjonalne podejście podczas projektowania narzędzi przeznaczonych do chłodzenia MQL, pozwala obecnie znacznie zwiększyć wydajność przy zachowaniu stabilności procesu obróbki. Dlatego też, wszystkie elementy narzędzi zapewniające efektywność i stabilność procesu obróbki, poczynając od jakości krawędzi skrawającej, poprzez rowek wiórowy, aż po końcówkę chwytu narzędzia są przystosowywane do specyficznych wymogów chłodzenia MQL. Oprócz rodzaju węgla, dotyczy to również specjalnej geometrii narzędzia, jego pokrycia oraz kształtu końcówki części chwytowej.

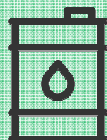


*Elipsoidalne kanały smarujące*

Narzędzia użyte w technologii minimalnego smarowania muszą posiadać odpowiednią budowę. Optymalna średnica kanałów przepływu aerozolu wynosi na ogół 0,2-1,8 mm; w praktyce 0,5 - 2,2 mm. Otwory wylotowe aerozolu o większej średnicy (np. 3-4 mm) nie powodują optymalnego wzrostu prędkości przepływu (im większy przekrój, tym mniejsza prędkość) i tym samym może to prowadzić do powstawania olejistej mgły wewnątrz narzędzia; przy mniej skutecznym smarowaniu i niepotrzebnym marnowaniu oleju. Przykłady: ostrze  $\phi 2$ , d 0,26 x 2; ostrze  $\phi 4$ , d 0,55 x 2; ostrze  $\phi 7$ , d 1,25 x 2; ostrze  $\phi 12$ , d 1,55 x 2; frez trzpieniowy  $\phi 8$ , d 1,2 x 4 [6]. Otwory smarujące (rysunek 5) powinny być zaprojektowane tak, aby jednorodnie pokrywały krawędź skrawającą i nie powodowały tworzenia się martwych punktów. Elipsoidalny kanał zwiększający powierzchnię przekroju jest często pożądany.

### 2. Kluczowe składniki minimalnego smarowania (MQL)

Każde przedsiębiorstwo zainteresowane wprowadzeniem smarowania minimalną ilością zadaje sobie pytanie w jaki sposób może go wdrożyć w swoje procesy produkcyjne. W celu bezproblemowego wprowadzenia i realizacji smarowania minimalną ilością w procesach produkcyjnych niezbędne jest wcześniejsze posiadanie kompleksowych informacji na temat podstawowych elementów.



System minimalnego smarowania z osprzętem

Proces obróbkowy

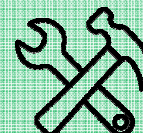
Obrabiarka



Narzędzie

Środek smarny

Operator obrabiarki



Niezawodny proces obróbki jest osiągnięty, gdy środek smarujący, narzędzie, urządzenie dozujące i maszyna są do siebie optymalnie dostosowane.

### 3. Środki smarne MQL

Smarowanie minimalną ilością zaliczane jest do smarowania bezstratnego. Stosowany środek smarujący często podlega wysokim obciążeniom termicznym oraz mechanicznym i jest aplikowany do strefy roboczej w postaci aerozolu. Użytkownik powinien upewnić się, że używa tylko środków nieszkodliwych toksykologicznie. Do bezawaryjnej, niskiemisyjnej obróbki metali przy zastosowaniu smarowania minimalną ilością, najlepsze są te, które wykazują się bardzo dobrą smarownością i wysoką odpornością termiczną. W produkcji przemysłowej są używane syntetyczne oleje estrowe i alkohole tłuszczowe o korzystnych właściwościach parowania i wysokiej temperaturze zapłonu.

Estry syntetyczne są preferowane we wszystkich procesach, w których efekt smarowania między narzędziem, przedmiotem obrabianym a oddzieleniem się wiórów ma kluczowe znaczenie (zapobieganie zużyciu ściernemu). Przykładami tego są gwintowanie, wiercenie, rozwiercanie i toczenie. Estry syntetyczne mają tę zaletę, że pomimo niskiej lepkości mają wysoką temperaturę wrzenia i temperaturę zapłonu. Oznacza to, że w miejscu pracy emitowane jest znacznie mniej oparów w porównaniu do konwencjonalnych olejów mineralnych. Oprócz tych właściwości, oleje estrowe wykazują bardzo dobrą biodegradowalność, a ze względu na niską toksyczność zaliczane są do kategorii zanieczyszczenia wody 1 (WPC 1). Przez to, iż nanoszona ilość środka jest tak mała, części są nadal uważane za suche (tzn. mniej niż 2% środka smarnego jest obecne na wiórach)

	Estry	Alkohole tłuszczowe
Waporyzacja (parowanie) *	wolna	szybka
Pozostałość na przedmiocie obrabianym	niska	"suchy"
Smarność	wysoka	niska
Temperatura zapłonu *	wysoki	niski
Kategoria zanieczyszczenia wody	nhw/1	nhw/1

\* w oparciu o tę samą lepkość

Alkohole tłuszczowe charakteryzują się mniejszą smarownością, ale ze względu na ich niższą temperaturę zapłonu, oferują lepsze chłodzenie. Są one przydatne, gdy chłodzenie jest cechą bardziej pożądaną niż smarowność. Taka sytuacja jest często spotykana w przypadku materiałów, które mają pewną naturalną smarowność. Jeśli nie można znaleźć odpowiedniej dawki przy użyciu syntetycznego estru, a na narzędziu tworzy się narost, alkohol tłuszczowy może wystarczająco pomóc w zapewnieniu dodatkowego chłodzenia. Alkohole tłuszczowe mają bardzo dobrą podatność na biodegradację i są nieszkodliwe pod względem toksykologicznym i środowiskowym. Alkohole tłuszczowe są również bardziej używane w procesie niż syntetyczne estry, więc części wychodzące z procesu charakteryzują się niewielką lub żadną pozostałością środka smarnego. Może to być ważne, gdy na częściach będą wykonywane operacje wtórne.

### 5. Podsumowanie

Technologia minimalnego smarowania staje się nowym standardem w środowisku przemysłowym aczkolwiek nadal jest zbyt mało docenianą alternatywą dla tradycyjnego chłodzenia zalewowego.

Odpowiednie dopasowanie aparatury dozującej, narzędzia oraz środka smarującego pod dany proces umożliwiają jego sprawne przeprowadzenie przy zachowaniu wysokiej jakości powierzchni obrabianej i niższych kosztach. Wybór środka smarującego zależy od kilku czynników dlatego bardzo ważne jest określenie materiału obrabianego oraz dokładne prześledzenie warunków procesu. Optymalna budowa narzędzia przeznaczonego do minimalnego smarowania, dostosowana do rodzaju obróbki, obejmuje m.in.: właściwy kąt natarcia, odpowiedni kształt rowka wiórowego oraz jego pokrycie, właściwą średnicę kanałów smarujących. W celu właściwej implementacji technologii minimalnego smarowania wskazane jest korzystanie z wiedzy oraz doświadczenia przedsiębiorstw, które zajmują się tą technologią już od dłuższego czasu i posiadają cenioną pozycję na rynku.