



Article citation info:

Stachurski, W. Influence of axial feed in hobbing with minimal quantity lubrication (MQL) on wear of the hob and cutting forces. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 2015, **89**, 155-161. ISSN: 0209-3324. DOI: 10.20858/sjsutst.2015.89.16.

Wojciech STACHURSKI¹

INFLUENCE OF AXIAL FEED IN HOBGING WITH MINIMAL QUANTITY LUBRICATION (MQL) ON WEAR OF THE HOB AND CUTTING FORCES

Summary. In the paper evaluation of the influence of axial feed on the hob wear in hobbing with minimal quantity lubrication technique has been done. As a work material C45 carbon steel has been investigated. Wear resistance of the hob made from high speed steel HS6-5-2 without coating has been investigated. For comparison tests with conventional fluid supply method have been carried out. Gears have been generated with full depth of cut and with two axial feed with constant cutting speed value. During hobbing cutting forces have been measured by experimental stand. Tool wear has been measured directly as a width of flank wear land of the hob cutter teeth. During investigation any significant wear changes on the rake faces haven't been detected, so those results haven't been taken into consideration. A constant length of cut parameter has been established as a criteria value. Results of investigation have been presented in the form of graphs describing changes of wear land width parameter in comparison to the most loaded tooth wear land parameter. Also changes of cutting forces in time are presented too. On the base of obtained results conclusion has been formulated that MQL technique might be used as an alternative solution for supplying cutting fluid into the cutting zone during hobbing process.

Keywords: axial feed, wear, cutting forces, hobbing, minimum, quantity lubrication

¹ Faculty of Mechanical Engineering, The Lodz University of Technology, Stefanowskiego 1/15 Street, 90-924 Łódź, Poland. E-mail: wojciech.stachurski@p.lodz.pl

WPLYW POSUWU WZDŁUŻNEGO NA ZUŻYCIE FREZU ŚLIMAKOWEGO I SIŁY SKRAWANIA PODCZAS FREZOWANIA OBWIEDNIOWEGO Z MINIMALNYM WYDATKIEM CIECZY OBRÓBKOWEJ (MQL)

Streszczenie. W artykule dokonano oceny wpływu zmiany posuwu wzdłużnego podczas frezowania obwiedniowego kół zębatach z minimalnym wydatkiem cieczy obróbkowej (metoda MQL) na zużycie frezu ślimakowego oraz siły skrawania. Badania wykonano frezując stal C45 frezem ślimakowym ze stali szybko tnącej HS6-5-2 bez pokryć przeciwzużyciowych. Dla porównania przeprowadzono próby podczas frezowania „na mokro”. W trakcie badań wykorzystano dwa posuwy przy stałej prędkości skrawania. Koła frezowano na pełną głębokość wrębów. Podczas frezowania mierzono siłę skrawania. Zużycie narzędzia mierzono w sposób bezpośredni jako szerokość starcia na powierzchni przyłożenia (nie zaobserwowano istotnego zużycia na powierzchni natarcia). Przyjęto, że parametrem kryterialnym dla zużycia będzie stała długość frezowania. Wyniki badań przedstawiono w postaci wykresów zmian zużycia dla najbardziej obciążonego zęba frezu oraz wykresów przebiegów sił skrawania. Na podstawie uzyskanych wyników ustalono, że metoda MQL może być alternatywną metodą podawania cieczy obróbkowej podczas frezowania obwiedniowego.

Słowa kluczowe: posuw wzdłużny, zużycie, frez ślimakowy, siły skrawania, frezowanie obwiedniowe, minimalny wydatek cieczy obróbkowej

1. WPROWADZENIE

Obróbki z udziałem minimalnego wydatku cieczy obróbkowej (ang. Minimum Quantity Lubrication – MQL) są stale rozwijającymi się dziedzinami technologii. Jednak w zastosowaniach przemysłowych, zwłaszcza krajowych, są ciągle nowością. Dotychczasowe badania prowadzone przez różnych autorów, np. [1-3] wykazały, że w pewnych warunkach stosowanie metody MQL pozwala na uzyskanie wyników porównywalnych do konwencjonalnego podawania cieczy obróbkowej i znacznie lepszych niż dla obróbki „na sucho”.

W przypadku frezowania obwiedniowego dostępne publikacje i badania tego procesu wskazują, że wpływ zastosowania metody MQL na efektywność tego procesu nie jest jeszcze zbadany lub dotyczy ograniczonego zakresu [4, 5]. Ponieważ podczas frezowania obwiedniowego kół zębatach usuwanie nadmiaru obróbkowego przez wiele zębów frezu ślimakowego powoduje nierównomierne obciążenie, a w konsekwencji nierównomierne zużycie krawędzi skrawających, tak więc eksperymentalne zbadanie skuteczności zastosowania MQL w tej metodzie obróbki jest w pełni uzasadnione. Podstawą do oceny efektywności różnych warunków podawania cieczy obróbkowej jest porównanie przebiegów zużycia ostrzy w całym okresie trwałości.

Należy również pamiętać, że zużycie frezu ślimakowego prowadzi, w trakcie procesu obróbkowego, do zmiany warunków skrawania i pogorszenia jakości przedmiotu obrabianego. Konsekwencją tego jest m.in. zmiana wartości sił występujących w trakcie frezowania obwiedniowego, stanowiąca w ten sposób pośredni wskaźnik zużycia. Zatem, skuteczność smarowania w metodzie MQL można określić także przez porównanie wartości sił skrawania z tymi, jakie występują podczas frezowania obwiedniowego z udziałem cieczy obróbkowej w trybie obfitym.

W Instytucie Obrabiarek i TBM Politechniki Łódzkiej prowadzone są badania, dotyczące zastosowania minimalnego smarowania (MQL) podczas frezowania obwiedniowego [6-8]. Jednym z ważnych problemów badawczych jest określenie wpływu zastosowanej cieczy obróbkowej na zużycie frezu ślimakowego przy zmieniających się parametrach skrawania. Parametry te decydują bowiem, w bardzo dużym stopniu, o intensywności procesu zużycia. Jednym z takich parametrów jest posuw.

Opisane poniżej badania miały na celu określenie wpływu zmiany posuwu wzdłużnego na zużycie frezu ślimakowego podczas frezowania obwiedniowego z minimalnym wydatkiem cieczy obróbkowej (MQL). Oceny efektywności podawania różnych cieczy obróbkowych dokonano mierząc zużycie frezu oraz siły skrawania w całym okresie trwałości narzędzia. Wyniki otrzymane dla metody MQL porównano z wynikami uzyskanymi podczas obróbki „na mokro” (ang. Wet Machining - WM). W artykule zaprezentowano wyniki badań oraz dokonano ich analizy i oceny.

2. WARUNKI BADAŃ

Badania przeprowadzono na bezdyferencjałowej frezarce do kół zębatych ZFC-20. Podczas badań frezowano koła zębate walcowe o zębach prostych wykonane ze stali węglowej C45 w stanie normalizowanym. Użyto frezów ślimakowych NMFc-3/20°/B o module $m=3$ mm wykonanych ze stali szybko tnącej HS6-5-2 bez pokryć przeciwzużyciowych.

W trakcie badań zastosowano dwie metody dostarczania cieczy chłodząco-smarującej w strefę skrawania: (1) z cieczą podawaną w trybie obfitym (WM), (2) z cieczą podawaną z minimalnym wydatkiem (MQL).

Jako konwencjonalną ciecz obróbkową (dla WM) zastosowano olej maszynowy dostarczany w strefę obróbki z wydatkiem 10 l/min. Do metody MQL zastosowano urządzenie MicroJet MKS-G100 firmy Link oraz ciecz obróbkową do obróbki wiórowej MICRO 3000 dostarczoną przez producenta urządzenia. Urządzenie MKS-G100 przeznaczone jest do zewnętrznego, jednokanałowego wytwarzania mgły olejowej. Ciecz obróbkową w metodzie MQL dostarczano z wydatkiem około 15 ml/godz.

Badania prowadzone były dla dwóch wartości posuwu wzdłużnego przy stałej prędkości skrawania dla frezowania zgrubnego (na pełną głębokość wrębów). Podczas badań mierzono zużycie narzędzia w sposób bezpośredni jako szerokość starcia na powierzchni przyłożenia VB_C (nie zaobserwowano istotnego zużycia na powierzchni natarcia). Z uwagi na to, że w zależności od zastosowanego posuwu zmieniał się czas potrzebny na wykonanie jednego koła, przyjęto, że parametrem kryterialnym dla zużycia będzie stała długość frezowania $L=400$ mm. Warunki obróbki zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

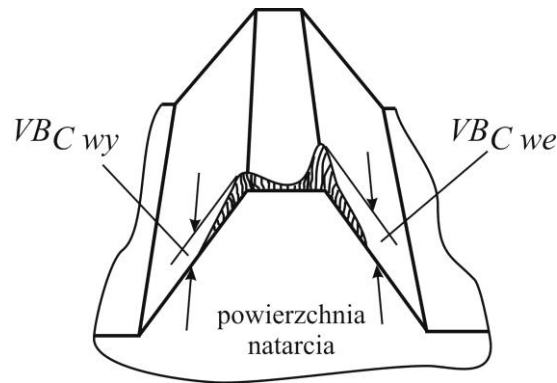
Warunki obróbki podczas frezowania obwiedniowego

Materiał obrabiany	Narzędzie	Metoda chłodzenia i smarowania	Parametry skrawania
C45 (ok. 20 HRC)	frez ślimakowy: NMFc-3/20° B stal szybko tnąca HS6-5-2 moduł $m=3$ mm	WM („na mokro”)	posuw – $f=(0,5 - 1,25)$ mm/obr prędkość skrawania – $v_c=54$ m/min głębokość skrawania – $a_p=6,6$ mm długość frezowania $L=400$ mm frezowanie przeciwbieżne
		MQL (minimalny wydatek)	

Stanowisko badawcze do pomiaru siły skrawania F_C zaprojektowano dla frezarki obwiedniowej do kół zębatych typu ZFC-20. Koło obrabiane mocowano na specjalnie zaprojektowanym trzpieniu. Trzpień jest przeznaczony do zamontowania jednoskładowego siłomierza piezoelektrycznego KISTLER Typ 9321B. Sygnał pomiarowy z siłomierza kierowany jest do jednokanałowego wzmacniacza laboratoryjnego KISTLER Typ 5011B i przetwarzany na sygnał napięciowy. Następnie ze wzmacniacza sygnał przesyłany jest do karty pomiarowej KEITHLEY Typ KPCMCIA-12AI-C umieszczonej w komputerze. Oprogramowanie do rejestracji danych pomiarowych zostało opracowane w Instytucie Obrabiarek i TBM PŁ [6].

Pomiary zużycia wykonywano na mikroskopie warsztatowym MWDC.

Na rys. 1 przedstawiono typowy obraz zużycia pojedynczego ostrza frezu. Zużycie ostrzy frezów ślimakowych występowało na powierzchniach przyłożenia i przybierało formę starcia w pobliżu krawędzi skrawającej. Największa jego wartość $VB_{C\ we}$ występowała w okolicach naroża po stronie wchodzącej w ząbienie obróbkowo-toczne. Tę wartość brano pod uwagę przy analizie wyników badań.



Rys. 1. Rozkład zużycia na powierzchni przyłożenia zęba

3. WYNIKI BADAŃ

Na rys. 2 przedstawiono zmianę zużycia $VB_{C\ we}$ najbardziej obciążonego zęba frezu w czasie, w zależności od użytej metody podawania cieczy obróbkowej (WM i MQL) dla dwóch posuwów: $f=0,5$ mm/obr (rys. 2a), $f=1,25$ mm/obr (rys. 2b).

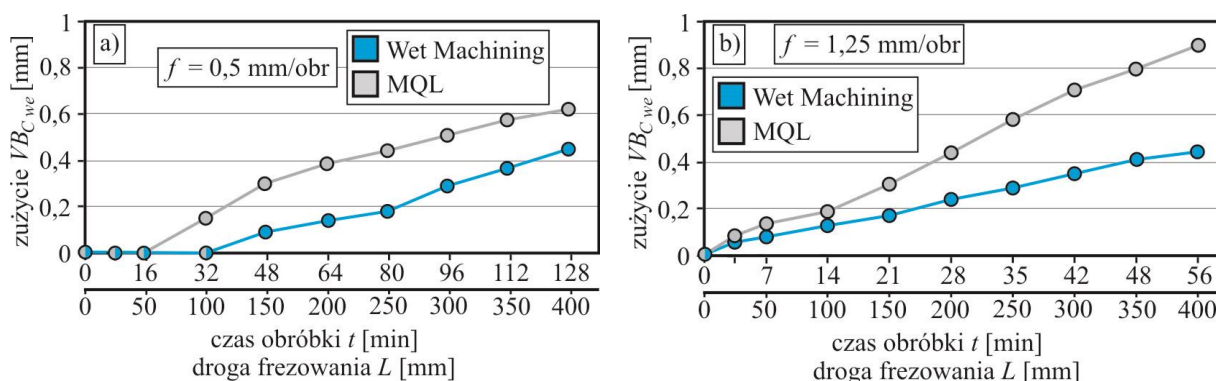
Na podstawie uzyskanych wyników pokazanych na rys. 2 widać, że dla obydwu sposobów dostarczania cieczy obróbkowej (WM i MQL) zużycie wzrasta wraz z upływem czasu pracy narzędzia. Dla obydwu posuwów mniejsza wartość zużycia $VB_{C\ we}$ występuje podczas frezowania „na mokro” (WM). W przypadku posuwu $f=0,5$ mm wartość zużycia dla trybu obfitego (WM) wynosi 0,42 mm, natomiast dla metody MQL jest o 43% większa i osiąga wartość 0,6 mm. W przypadku posuwu $f=1,25$ mm/obr zużycie osiąga wartość 0,43 mm dla WM i 0,88 mm dla MQL, co stanowi wzrost o 105%.

Dla $f=0,5$ mm/obr (rys. 2a) krzywe zużycia odpowiadające różnym metodom podawania cieczy (WM i MQL) wykazują podobne tendencje. Analogiczne krzywe w przypadku $f=1,25$ mm/obr (rys. 2b) różnią się od siebie pochyleniami. Pochylenie krzywej zużycia dla MQL jest bardziej strome od krzywej uzyskanej dla WM, wskazując na znacznie szybszy przyrost zużycia. Może to świadczyć o niewystarczającym, dla tego posuwu, smarowaniu oraz znacząco różnych temperaturach procesu wraz z upływem czasu obróbki z minimalnym smarowaniem.

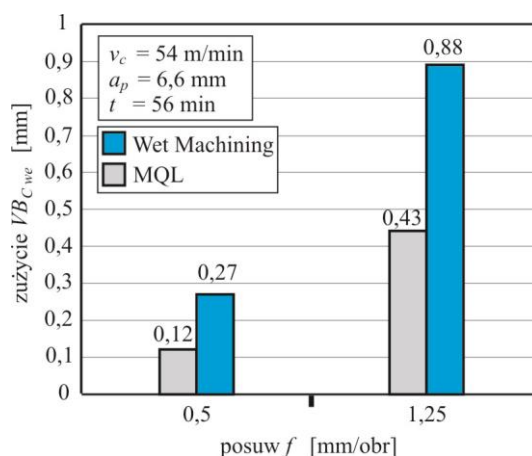
Na rys. 3 przedstawiono porównanie wartości zużycia najbardziej obciążonego zęba frezu $VB_{C_{we}}$ po upływie 56 minut obróbki. Wykres wykonano dla dwóch różnych dróg frezowania, wynikających z zastosowanych posuwów. Dla posuwu $f=0,5$ mm droga frezowania L wynosiła 175 mm, natomiast dla posuwu $f=1,25$ mm droga frezowania $L = 400$ mm.

Z wykresu na rys. 3 widać, że dla WM po upływie 56 minut obróbki różnica pomiędzy wartością zużycia dla dwóch zastosowanych posuwów wynosi 0,31 mm, zaś dla MQL różnica ta jest większa i wynosi aż 0,61 mm. Może to być spowodowane większymi naciskami wywieranymi na ostrze frezu wraz ze zwiększaniem wartości posuwu. Powoduje to wzrost temperatury skrawania i brak odpowiedniego chłodzenia i smarowania. Stąd wniosek, że w naszym przypadku dla $f=1,25$ mm/obr metoda MQL nie zapewnia porównywalnych warunków z frezowaniem „na mokro”.

Należy zaznaczyć, że przy frezowaniu obwiedniowym nie widać wyraźnie wejścia narzędzia w III okres zużycia.



Rys. 2. Maksymalne zużycie $VB_{C_{we}}$ w czasie dla dwóch różnych metod podawania cieczy obróbkowych: a) $f=0,5$ mm/obr, b) $f=1,25$ mm/obr; $v_c=54$ m/min, $a_p=6,6$ mm

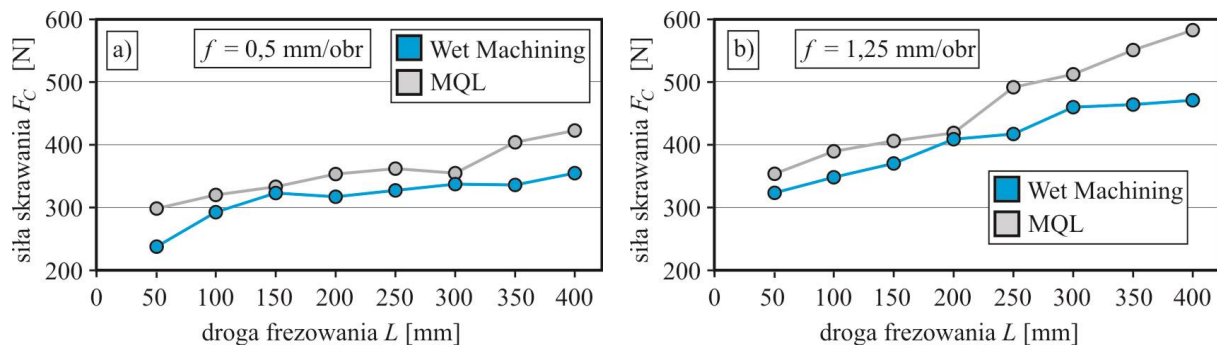


Rys. 3. Porównanie wartości zużycia $VB_{C_{we}}$ w zależności od wartości posuwu po upływie 56 minut frezowania dla WM i MQL

Na rys. 4 przedstawiono przebieg obwodowej siły skrawania F_C w czasie podczas obróbki z konwencjonalnym użyciem cieczy obróbkowej (WM) oraz metody MQL. Wykresy wykonano dla dwóch różnych posuwów – $f=0,5$ mm/obr (rys. 4a) i $f=1,25$ mm/obr (rys. 4b).

Dla $f=0,5$ mm/obr krzywe dla WM i MQL mają podobne tendencje, a wartości sił skrawania osiągają zbliżone wielkości. Wyjątek stanowi początkowa faza obróbki (do 32 minut), kiedy wartość F_C dla WM jest znacząco mniejsza niż w przypadku MQL, a różnica

wynosi 25%. Może to wskazywać na niedostateczne smarowanie w miejscu styku narzędzia z materiałem obrabianym w początkowej fazie obróbki na skutek niedostatecznej penetracji strefy skrawania przez ciecz obróbkową. Dla $f=1,25$ mm/obr wartości sił podczas frezowania z minimalnym wydatkiem cieczy obróbkowej (MQL) są większe niż w przypadku podawania cieczy obróbkowej w trybie obfitym (WM). Różnice powiększają się wraz z upływem czasu obróbki. Może być to wynikiem braku dostatecznego smarowania niezapewniającego odpowiednich warunków skrawania wraz ze wzrostem temperatury procesu. Warto zauważyć, że ślad zużycia (rys. 2b) dla MQL i WM pojawia się w tym samym czasie (poniżej 7 min) i w początkowym okresie obróbki, gdy temperatura skrawania dopiero rośnie, wartości $VB_{C\ we}$ są zbliżone.



Rys. 4. Siła skrawania F_C w czasie dla dwóch metod podawania cieczy obróbkowej: a) $f=0,5$ mm/obr, b) $f=1,25$ mm/obr; $v_c=54$ m/min, $a_p=6,6$ mm

4. WNIOSKI

Na podstawie prezentowanych powyżej wyników można stwierdzić, że:

- dla obydwu metod podawania cieczy (WM i MQL) zwiększenie posuwu powoduje wzrost wartości zużycia $VB_{C\ we}$, przy czym dla tych samych f mniejsze wartości $VB_{C\ we}$ występują dla trybu obfitego (WM),
- dla posuwu $f=0,5$ mm/obr wartość zużycia dla metody MQL jest o 49% większa od wartości zużycia dla WM. Podobne pochylenie krzywych zużycia wskazuje na odpowiednie smarowanie dla MQL, zapewniające porównywalne warunki z WM,
- dla posuwu $f=1,25$ mm/obr metoda MQL nie zapewnia porównywalnych warunków z frezowaniem „na mokro”. Wartość $VB_{C\ we}$ dla WM wynosi 0,43 mm, dla MQL jest o 109% większa i wynosi 0,9 mm.
- dla posuwu $f=0,5$ mm/obr przebiegi sił skrawania dla WM i MQL mają podobne tendencje, a wartości sił skrawania osiągają zbliżone wielkości. Świadczy to o dobrym smarowaniu w strefie skrawania dla MQL, co potwierdzają przebiegi krzywych zużycia.

References

1. Byrne G., D. Dornfeld, B. Denkena. 2003. „Advancing cutting technology”. *Annals of the CIRP* 52(2): 11-20.
2. Oczóś K.E. 2004. “Doskonalenie strategii chłodzenia i smarowania w procesach obróbkowych”. *Mechanik* 10: 597-606. [In Polish: “Improvement strategies cooling and lubrication in machining processes”].

3. Weinert K., I. Inasaki, J.W. Sutherland, T. Wakabayashi. 2004. "Dry machining and minimum quantity lubrication". *Annals of the CIRP* 53(2): 511-537.
4. Matsuoka H., Y. Tsuda, S. Suda, H. Yokota. 2006. "Fundamental research on hobbing with minimal quantity lubrication of cutting oil (effect of quantity of oil supply)". *JSME International Journal, series C* 49(2): 590-599.
5. Matsuoka H., Y. Tsuda, S. Suda, H. Yokota. 2006. "Fundamental research on hobbing with minimal quantity lubrication of cutting oil (effect of cutting speed)". *JSME International Journal, series C* 49(4): 1140-1150.
6. Stachurski W. 2008. „Wpływ warunków podawania cieczy obróbkowej w strefę skrawania z minimalnym wydatkiem na zużycie frezu ślimakowego”. Praca doktorska. Łódź. [In Polish: „Influence of cutting fluid administration in the cutting zone with minimal expense wear of the cutter auger”. PhD Thesis].
7. Stachurski W., S. Midera, P. Zgórniak. 2010. „Siła skrawania F_c podczas frezowania obwiedniowego kół zębatach z zastosowaniem wybranych metod chłodzenia i smarowania”. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji* 30(4): 37-46. [In Polish: “Cutting force F_c during hobbing gears with selected methods of cooling and lubrication”].
8. Stachurski W. 2012. “Application of minimal quantity lubrication in gear hobbing”. *Mechanics and Mechanical Engineering* 16(2): 133-140.
9. Azizpour Jalali M., H. Majd Mohammadi. 2010. “Wear mechanisms in high speed steel gear cutting tools”. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 4: 739-741.

Received 11.05.2015; accepted in revised form 21.09.2015



Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License