

Wpływ metody chłodzenia na moc skrawania podczas toczenia stali austenitycznej 316L

The influence of cooling method on cutting power during turning of 316L austenitic steel

KRZYSZTOF ADAMCZUK
GRZEGORZ KRÓLCZYK
SZYMON WOJCIECHOWSKI
KRZYSZTOF ŁOZICKI*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.309

Przedstawiono wyniki badań wpływu metody chłodzenia na moc skrawania podczas toczenia stali austenitycznej 316L. Proces toczenia przeprowadzono dla trzech sposobów chłodzenia: obróbki na sucho, metody MQCL oraz metody MQCL z dodatkiem EP/AW. Ze względu na dużą liczbę zmiennych zastosowano metodę planowania badań zwaną metodą dowolnych kolejności (PSI). W całym zakresie zmiennych parametrów skrawania i tworzenia mgły emulsyjnej uzyskano najniższe wartości mocy czynnej i biernej w warunkach chłodzenia mgłą emulsyjną z dodatkiem EP/AW, a pobór mocy obrabiarki zmniejszył się od 6 do 65% w porównaniu z obróbką na sucho. **SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka na sucho, MQCL, dodatki EP/AW, moc czynna, moc bierna

In this paper, the research results related to the influence of cooling method on cutting power during turning of 316L austenitic steel was presented. Turning tests were carried out for the three distinct cooling methods, namely: dry turning, MQCL method and MQCL method with the addition of EP/AW. Because of large number of variables, the design of experiment, based on the arbitrary order method (PSI) has been applied. In the whole investigated range of cutting conditions and formation of emulsion mist, the lowest values of active and passive power were obtained during turning with the application of MQCL method with the addition of EP/AW. The MQCL + EP/AW method affects the reduction of machine's power from 6% to 65% in comparison to dry turning.

KEYWORDS: dry cutting, MQCL, EP / AW additives, active power, reactive power

W obróbce skrawaniem bardzo istotną rolę podczas kształtowania powierzchni detalu odgrywają ciecze chłodząco-smarujące (CCS). Najczęściej strefę skrawania chłodzi się metodą zalewową. Jednak ze względu na świadomość ekologiczną i społeczną oraz rosnące koszty przedsiębiorstw przemysłowych związane ze stosowaniem CCS prowadzone są badania nad „zieloną produkcją” (*green manufacturing*). Chodzi o projektowanie procesów produkcyjnych, które są ekonomiczne, a jednocześnie minimalizują powstawanie zanieczyszczeń u źródła i zagrożenia dla zdrowia ludzkiego oraz środowiska naturalnego [1, 2]. Najlepszym sposobem, aby zmniejszyć negatywne skutki stosowania CCS, jest całkowite ich wyeliminowanie – obróbka na sucho.

Aby zwiększyć trwałość ostrza i podnieść jakość detalu, technolodzy zalecają stosowanie metod chłodzenia

opartych na bardzo małej ilości chłodzenia i smarowania – MQL i MQCL [1, 3÷7]. W obu metodach ilość CCS w postaci aerozolu nie przekracza na ogół 50 ml/h [3, 5] i metody te znalazły już zastosowanie w procesach: toczenia [3, 5, 6], frezowania [4], wiercenia [7] i szlifowania [1].

W metodzie MQL medium czynnym jest przede wszystkim olej [1, 3÷5, 7], stąd jej głównym zadaniem jest smarowanie. W metodzie MQCL medium jest najczęściej koncentrat emulsji na bazie oleju mineralnego zmieszanego z wodą [5, 6], dlatego jej głównym zadaniem jest chłodzenie strefy skrawania, a tym samym odprowadzanie jak największej ilości ciepła [8].

W celu poprawy własności smarnych CCS, czyli zmniejszenia tarcia pomiędzy narzędziem a materiałem obrabianym, wprowadza się do nich specjalne dodatki EP/AW. Istotną właściwością dodatków EP/AW jest również to, że bezpośrednio uczestniczą one w procesie oddzielenia i odrywania wiórów wskutek rozluźnienia powierzchniowego. Dzięki temu uzyskuje się znaczne zmniejszenie sił i mocy skrawania oraz wydłużenie okresu trwałości narzędzia [9].

Artykuł ma na celu analizę wybranych metod chłodzenia pod kątem poboru mocy w trakcie toczenia stali nierdzewnej 316L.

Warunki badań

Ze względu na dużą liczbę zmiennych zastosowano metodę planowania badań PSI – *Parameter Space Investigation* [10]. Badania przeprowadzono na tokarce uniwersalnej TUM25B z wykorzystaniem ostrza według ISO WNMG 06 04 08-PF 4325 w oprawce DWLNR 123C, w zakresie prędkości skrawania $v_c = 60\div350$ m/min i posuwów $f = 0,07\div0,28$ mm/obr, przy stałej głębokości skrawania $a_p = 0,5$ mm. Materiał obrabiany stanowiła stal austenityczna 316L.

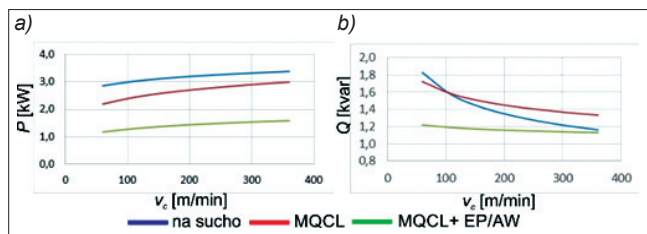
Do tworzenia mgły emulsyjnej użyto urządzenia Micro-nizer Lenox 1LN umożliwiającego regulację przepływu objętościowego powietrza $S = 1,2\div5,9$ l/min oraz przepływu masowego emulsji $E = 0,091\div0,455$ g/min. Odległość dyszy od strefy skrawania wynosiła $l = 0,3$ m [6]. Medium czynne stanowił koncentrat emulsji EMULGOL-S. Mieszankę przygotowano z wykorzystaniem mieszałki elektromagnetycznego typu ES21H; zastosowano stężenie zalecane przez producenta dla toczenia – 6%. Następnie w metodzie MQCL + EP/AW medium czynne podgrzano do temperatury 60 °C i dodano 5% EP/AW. Jako dodatek EP/AW użyto CRODAFOS EHA na bazie estru fosforanowego.

Pomiary mocy wykonano miernikiem parametrów sieci MPS 7.

* Dr inż. Krzysztof Adamczuk (k.adamczuk@ibem.uz.zgora.pl) – Uniwersytet Zielonogórski; dr hab. Grzegorz Królczyk prof. PO (g.krolczyk@po.opole.pl) – Politechnika Opolska; dr inż. Szymon Wojciechowski (sjwojciechowski@o2.pl) – Politechnika Poznańska; inż. Krzysztof Łozicki (krzysztoflozicki@wp.pl) – Uniwersytet Zielonogórski

Wyniki badań i ich analiza

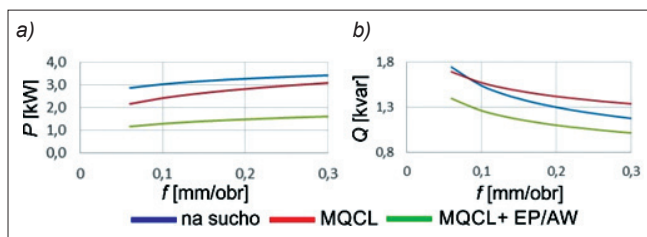
Wyniki eksperymentu z poszczególnych punktów metody PSI poddano analizie komputerowej i uzyskano równania regresji. Na podstawie tych równań na rys. 1 przedstawiono wpływ prędkości skrawania na moc czynną P i bierną Q .



Rys. 1. Wpływ prędkości skrawania v_c na mierzone parametry podczas toczenia stali 316L dla: $f = 0,15$ mm/obr; $E = 0,314$ g/min; $S = 2,9$ l/min: a) moc czynna P ; b) moc bierna Q

Analizując wartości mocy pobieranej przez obrabiarkę podczas toczenia stali 316L (rys. 1), stwierdzono, że najniższe wartości uzyskano dla metody MQCL + EP/AW w całym zakresie zmiennych v_c . Metoda MQCL + EP/AW obniżyła pobór mocy od 10% do 65% w porównaniu z obróbką na sucho i od 1% do 50% w porównaniu z metodą MQCL. Ponadto zaobserwowano, że wraz ze wzrostem prędkości wartość parametru Q dla wszystkich metod chłodzenia malała, a wartość parametru P wzrastała.

Na rys. 2 przedstawiono wpływ posuwu podczas toczenia stali austenitycznej 316L na moc czynną P i bierną Q .



Rys. 2. Wpływ posuwu f na mierzone parametry podczas toczenia stali 316L dla $v_c = 175$ m/min; $E = 0,314$ g/min; $S = 2,9$ l/min: a) moc czynna P ; b) moc bierna Q

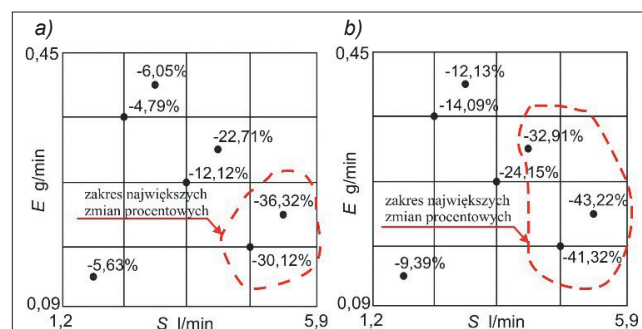
Podobnie jak w przypadku zmiennej v_c , dla zmiennych f najmniejsze wartości parametrów mocy uzyskano podczas toczenia stali 316L w warunkach chłodzenia metodą MQCL + EP/AW. Dla parametru P największe wartości otrzymano w warunkach obróbki na sucho, a dla parametru Q : powyżej $f > 0,08$ mm/obr dla metody MQCL, a poniżej $f < 0,08$ mm/obr dla obróbki na sucho. Wartość parametru Q maleje wraz ze wzrostem posuwu dla wszystkich metod chłodzenia, natomiast wartość parametru P rośnie.

Zmniejszenie mocy pobieranej przez obrabiarkę w warunkach chłodzenia metodą MQCL + EP/AW (rys. 1 i 2) jest spowodowane tworzeniem się tribofilmu w strefie styku ostrze–materiał obrabiany. Tribofilm zmniejsza zjawisko tarcia pomiędzy współpracującymi elementami [6, 9].

Na rys. 3 przedstawiono zmiany mocy czynnej P podczas toczenia stali 316L w warunkach obróbki na sucho w porównaniu z metodą MQCL i MQCL + EP/AW, w zależności od parametrów tworzenia mgły emulsyjnej.

Największe różnice procentowe pomiędzy metodą MQCL i MQCL + EP/AW a obróbką na sucho zaobserwowano przy wysokich wartościach przepływów objętościowych powietrza S . Uzyskuje się wówczas najmniejsze średnice i największą liczbę kropelek [6]. Mniejsze średnice kropelek powodują, że woda wyparowuje w ciągu 1,

a związku chemicznie zawarte w dodatku EP/AW pozostają na powierzchni materiału obrabianego, tworząc tribofilm. Dla przepływu masowego emulsji E nie stwierdzono znaczącego wpływu na pobór mocy, co wykazano na rys. 3.



Rys. 3. Zmiany procentowe parametru P podczas toczenia stali 316L według metody PSI w warunkach obróbki na sucho w porównaniu z: a) metodą MQCL; b) metodą MQCL+EP/AW (znak "–" – zmniejszenie; znak "+" – wzrost)

Wnioski

Na podstawie analizy wyników sformułowano następujące wnioski:

- najmniejszy pobór mocy czynnej P i biernej Q uzyskano w warunkach chłodzenia metodą MQCL + EP/AW w zależności od wybranych parametrów skrawania (v_c , f) i warunków tworzenia mgły emulsyjnej (E , S) w całym ich zakresie,
- największy wpływ na pobór mocy czynnej P z parametrów tworzenia mgły emulsyjnej ma objętościowy przepływ powietrza S . Dla wysokich przepływów powietrza > 4 l/min różnice wynosiły ok. 40% w porównaniu z obróbką na sucho, podczas gdy dla $S < 4$ l/min – ok. 15%.

Podczas toczenia stali 316L chłodzenie metodą MQCL + EP/AW jest korzystne i zasadne, gdyż pozwala ograniczyć moc czynną P skrawania z wartości $\sim 3,5$ kW w warunkach obróbki na sucho do $\sim 1,7$ kW z zastosowaniem MQCL + EP/AW.

LITERATURA

1. Hadad M., Sharbati A. „Thermal Aspects of Environmentally Friendly-MQL grinding Process”. *Procedia CIRP*. Vol. 40 (2016): pp. 509-515.
2. Pusavec F., Kenda J., Kopac J. „The transition to a clean, dry, and energy efficient polishing process: an innovative upgrade of abrasive flow machining for simultaneous generation of micro-geometry and polishing in the tooling industry”. *J. Clean. Prod.* Vol. 76 (2014): pp. 180-189.
3. Leppert T. „Effect of cooling and lubrication conditions on surface topography and turning process of C45 steel”. *Int. J. Mach. Tool. Manuf.* Vol. 51, No. 2 (2011): pp. 120-126.
4. Liao Y.S., Lin H.M. „Mechanism of minimum quantity lubrication in high-speed milling of hardened steel”. *Int. J. Mach. Tool. Manuf.* Vol. 47 (2007): pp. 1660-1666.
5. Maruda R.W., Legutko S., Królczuk G.M., Raos P. „Influence of cooling conditions on the machining process under MQCL and MQL conditions”. *Teh. Vjesn.* Vol. 22, No. 4 (2015): pp. 965-970.
6. Maruda R., Królczuk G., Feldshtein E., Pusavec F., Szydłowski M., Legutko S., Sobczak-Kupiec A. „A study on droplets sizes, their distribution and heat exchange for minimum quantity cooling lubrication (MQCL)”. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* Vol. 100 (2016): pp. 81-92.
7. Davim J.P., Sreejith P.S., Gomes R., Peixoto C. „Experimental studies on drilling of aluminum (AA1050) under dry, minimum quantity of lubricant, and flood-lubricated conditions”. *P. I. Mech. Eng. B.-J. Eng.* Vol. 220 (2006): pp. 1605-1611.
8. Feldshtein E., Maruda R. „Some regularities of the heat transfer in the process of cooling of a cutting zone by an emulsion fog”. *J. Eng. Phys. Thermophys.* Vol. 79, No. 3 (2006): pp. 606-610.
9. Marzec S., Pytko S. „Tribologia procesów skrawania metali. Nowe ciecze chłodząco-smarujące”. Radom: Wydawnictwo i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, 1999.
10. Statnikov R.B., Statnikov A. „The Parameter Space Investigation Method Toolkit”. Boston/London: Artech House, 2011. ■