

Wpływ warunków chłodzenia na siłę skrawania podczas toczenia stali C45

Influence of the cooling conditions on the cutting force in turning of C45 steel

RADOSŁAW MARUDA
STANISŁAW LEGUTKO
GRZEGORZ KRÓLCZYK
WŁODZIMIERZ KOT *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.436

W pracy zaprezentowano wyniki badań wpływu warunków chłodzenia na składowe siły skrawania podczas toczenia stali niestopowej C45. Rozpatrywano trzy sposoby chłodzenia: obróbkę na sucho, metodę MQCL oraz MQCL + EP/AW. Badania wykonano zarówno dla zmiennych parametrów skrawania, jak i dla zmiennych parametrów tworzenia mgły emulsyjnej. Zastosowanie metody MQCL + EP/AW pozwala zmniejszyć wartość siły skrawania w porównaniu do obróbki na sucho od 2,1% do 25%. W trakcie eksperymentu wykorzystano metodę *parameter space investigation (PSI)*.

SŁOWA KLUCZOWE: siła skrawania, obróbka na sucho, MQCL, dodatek EP/AW, metoda PSI

The paper presents results of the influence of cooling conditions on the cutting force components during the turning of C45 steel. Three cooling methods were considered: dry cutting, MQCL method and MQCL + EP/AW. Experiments were performed for variable cutting parameters and for variable emulsion mist parameters. MQCL + EP/AW method reduces the cutting force compared to dry cutting from 2,1% to 25%. During the experiment Parameter Space Investigation (PSI) method was applied.

KEYWORDS: cutting force, dry cutting, MQCL, additives EP/AW, PSI method

Obróbka na sucho jest jedną z najwcześniejszych metod technologii wytwarzania proponowanych przez badaczy propagujących tzw. zieloną obróbkę mającą na celu ochronę środowiska [1]. Technika ta stosowana jest obecnie w wielu procesach obróbki [1÷3]. Jednak większa ilość wytwarzanego ciepła w strefie skrawania podczas obróbki na sucho prowadzi do zbyt wysokich naprężeń na powierzchni przedmiotu obrabianego [2], co powoduje pogorszenie jakości tej powierzchni [3]. Dlatego w procesach skrawania, gdzie nie można zastosować obróbki na sucho ze względu na żądaną dokładność wykonania i jakość powierzchni, alternatywę stanowią metody oparte na bardzo małej ilości cieczy chłodząco-smarującej: MQL (*minimum quantity lubrication*) [4÷7] oraz MQCL (*minimum quantity cooling lubrication*) [4, 8]. Dlatego badania naukowców koncentrują się na relacjach i zjawiskach pomiędzy obróbką na sucho a metodami MQL i MQCL [4÷8]. Do tej pory wykazano, że metody MQL i MQCL w porównaniu do obróbki na sucho pozwalają na zmniejszenie chropowatości powierzchni obrabianej [4], zmniejszenie zużycia ostrza skrawającego [5], obniżenie temperatury w strefie skrawania, zmniejsze-

nie tarcia [6] i siły skrawania [7] oraz korzystnie wpływają na kształt wióra [4, 5].

W celu zmniejszenia tarcia, a tym samym minimalizowania warunków generowania ciepła, wprowadza się do medium czynnego w metodzie MQL i MQCL dodatki przeciwzatarciowe i przeciwzużyciowe EP/AW [6, 8]. Autorzy [6] udowodnili, że dodatek na bazie związku Al_2O_3 i CuO do oleju bazowego w metodzie MQL powoduje m.in. zmniejszenie sił stycznych i obniżenie temperatury w strefie skrawania.

Praca ma na celu określenie wpływu metody MQCL na siłę skrawania podczas toczenia stali C45. Wykazano również, jak ważny wpływ na zmniejszenie siły skrawania ma wprowadzenie do medium czynnego dodatku EP/AW na bazie estru fosforanowego.

Warunki i metoda badań

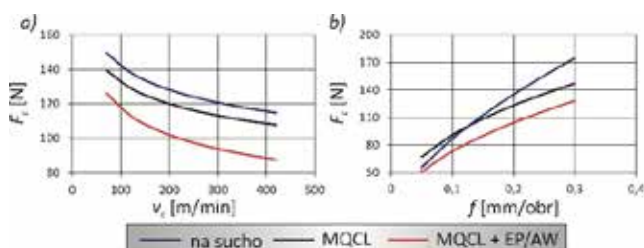
Podczas badań stosowano ostrze o symbolu według ISO SNUN120408 z węglika spiekanego P25 i oprawkę CS-DBM 2020-M12. Badania siły skrawania wykonywano na tokarce uniwersalnej w zakresie zmiennych parametrów skrawania: prędkości skrawania $v_c = 70\div 420$ m/min, posuwu $f = 0,05\div 0,3$ mm/obr i stałej głębokości skrawania 0,5 mm oraz przy zastosowaniu dynamometru typu 9129A firmy Kistler. Dokonywano pomiaru trzech składowych: F_c , F_p i F_f . Częstotliwość próbkowania sygnału ustalono na 1 kHz.

W trakcie eksperymentu jako materiał obrabiany zastosowano stal C45, która w obróbce skrawaniem traktowana jest jako stal wzorcowa. Do tworzenia mgły emulsyjnej w metodzie MQCL użyto urządzenia Micronizer Lenox 1LN wyposażonego w pokrętkła do regulacji przepływu powietrza $P = 1,2\div 5,9$ l/min i emulsji $E = 0,09\div 0,45$ g/min [8]. Medium czynne stanowił koncentrat emulsji EMULGOL-S na bazie oleju mineralnego, którego stężenie wynosiło 6%. Dodatkiem EP/AW w metodzie MQCL + EP/AW był ester fosforanowy o stężeniu 5%. W trakcie eksperymentu wykorzystano metodę PSI (*parameter space investigation*) [9].

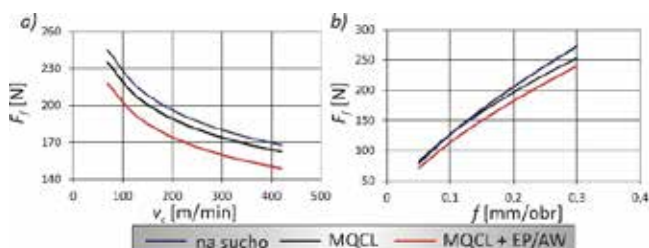
Wyniki badań

Analiza składowych siły skrawania wymagana jest przy ocenie procesu skrawania i jego warunków od strony fizyczno-technologicznej. Analiza ta wynika z istoty fizycznego mechanizmu procesu oraz aspektów kinematyczno-technologicznych, takich jak: kierunki ruchu skrawania, stereometria ostrza narzędzia, właściwości obrabianego materiału i rodzaj operacji technologicznej. Na podstawie wyników pomiaru składowych siły skrawania według 7 punktów PSI zostały wygenerowane przez program komputerowy równania regresji. Wpływ technologicznych parametrów skrawania na poszczególne składowe siły skrawania przedstawiono na rys. 1÷3.

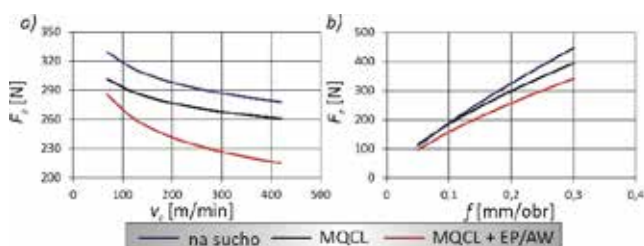
* Dr inż. Radosław Maruda (r.maruda@ibem.uz.zgora.pl) – Uniwersytet Zielonogórski; prof. dr hab. inż. Stanisław Legutko (stanislaw.legutko@put.poznan.pl) – Politechnika Poznańska; dr hab. Grzegorz Królczyk (g.krolczyk@po.opole.pl) – Politechnika Opolska; inż. Włodzimierz Kot (wlozdzimierzkot@wp.pl) – Uniwersytet Zielonogórski



Rys. 1. Wpływ metody chłodzenia na siłę składową główną F_c dla $E = 0,25$ g/min i $P = 3,5$ l/min w zależności od: a) zmiennej v_c dla $f = 0,175$ mm/obr, b) zmiennego f dla $v_c = 250$ m/min



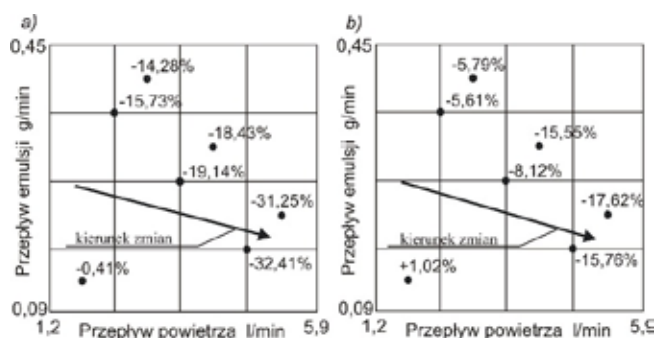
Rys. 2. Wpływ metody chłodzenia na siłę składową posuwową F_r dla $E = 0,25$ g/min i $P = 3,5$ l/min w zależności od: a) zmiennej v_c dla $f = 0,175$ mm/obr, b) zmiennego f dla $v_c = 250$ m/min



Rys. 3. Wpływ metody chłodzenia na siłę składową odporową F_p dla $E = 0,25$ g/min i $P = 3,5$ l/min w zależności od: a) zmiennej v_c dla $f = 0,175$ mm/obr, b) zmiennego f dla $v_c = 250$ m/min

Analizując wartości poszczególnych składowych siły skrawania (rys. 1÷3), zaobserwowano, że najmniejsze wartości w całym zakresie zmiennej prędkości skrawania uzyskano dla metody MQCL + EP/AW, a największe przy obróbce na sucho. Zawartość dodatku EP/AW na bazie estru fosforanowego w medium czynnym spowodowała wyraźne zmniejszenie wartości składowych siły skrawania. Może to być spowodowane tworzeniem się tribofilmu na powierzchniach materiału obrabianego i ostrza, co powoduje zmniejszenie współczynnika tarcia na powierzchni natarcia [6]. Chłodzenie strefy skrawania mgłą emulsyjną z dodatkiem EP/AW zmniejsza wartość rozpatrywanych składowych sił skrawania od około 10 do 25% w porównaniu do obróbki na sucho i od 5 do 19% w porównaniu do metody MQCL. Składowe siły skrawania zmniejszają swoją wartość wraz ze wzrostem prędkości skrawania, ponieważ większe prędkości skrawania generują wówczas wyższą temperaturę w strefie skrawania, co sprawia, że materiał obrabiany staje się mniej twardy i wytrzymały. Przy zmiennym posuwie największą siłę skrawania uzyskano w warunkach chłodzenia metodą MQCL dla małych posuwów $<0,12$ mm/obr, a powyżej tej wartości dla obróbki na sucho. W całym zakresie zmiennych posuwów najmniejsze wartości składowych siły skrawania otrzymano dla metody MQCL + EP/AW.

Na rys. 4 przedstawiono zmiany procentowe składowych F_c i F_r w zależności od zmiennych parametrów tworzenia mgły emulsyjnej.



Rys. 4. Zmiany procentowe wybranych składowych siły skrawania według siedmiu punktów metody PSI w warunkach chłodzenia metodą MQCL w porównaniu do metody MQCL + EP/AW: a) F_c , b) F_r („+” – zwiększenie wartości, „-” – zmniejszenie wartości)

Największe różnice dla wybranych składowych w zależności od warunków tworzenia mgły emulsyjnej zaobserwowano dla największych przepływów powietrza, czyli w warunkach, gdzie uzyskano najmniejsze średnice kropelek spadających w strefę skrawania [8]. Kroplecki o mniejszej średnicy wówczas odparowują w ciągu 1s, a wszystkie związki chemicznie czynne pozostają w strefie styku ostrze–materiał obrabiany, tworząc tribofilmy.

Wnioski

Na podstawie wyników badań można przedstawić następujące wnioski:

- zastosowanie chłodzenia strefy skrawania metodą MQCL + EP/AW zmniejsza wartości poszczególnych składowych siły skrawania w zależności od zmiennych parametrów skrawania od 2,3 do 19% w porównaniu do metody MQCL i od 2,1 do 25% w porównaniu do obróbki na sucho;
- siła skrawania zwiększa się wraz ze wzrostem posuwu oraz zmniejszeniem prędkości skrawania;
- największe różnice pomiędzy składowymi siły skrawania w zależności od zmiennych warunków tworzenia mgły emulsyjnej w metodzie MQCL i MQCL + EP/AW zaobserwowano dla małych przepływów objętościowych powietrza.

LITERATURA

1. 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.
2. Sharma J., Sidhu B.S. „Investigation of effects of dry and near dry machining on AISI D2 steel using vegetable oil”. *J. Clean. Prod.* Vol. 66 (2014): pp. 619÷623.
3. Malkin S., Guo C. „Thermal analysis of grinding”. *CIRP Ann. Manuf. Tech.* Vol. 56, No. 2 (2007): pp. 760÷782.
4. Maruda R.W., Legutko S., Królczyk G.M., Raos P. „Influence of cooling conditions on the machining process under MQCL and MQL conditions”. *The. Vjesn.* Vol. 22, No. 4 (2015): pp. 965÷970.
5. Kaynak Y., Karaca H.E., Noebe R.D., Jawahir I.S. „The Effect of Active Phase of the Work Material on Machining Performance of a NiTi Shape Memory Alloy”. *Metall. Mater. Trans. A.* Vol. 46, No. 6 (2015): pp. 2625÷2636.
6. Setti D., Sinha M.K., Ghosh S., Rao P.V. „Performance evaluation of Ti-6Al-4V grinding using chip formation, and coefficient of friction under the influence of nanofluids”. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* Vol. 88 (2015): pp. 237÷248.
7. Park K.H., Yang G.D., Suhaimi M.A., Lee D.Y., Kim T.G., Kim D.W., Lee S.W. „The effect of cryogenic cooling and minimum quantity lubrication on end milling of titanium alloy Ti-6Al-4V”. *J. Mech. Sci. Technol.* Vol. 29, No. 12 (2015): pp. 5121÷5126.
8. Maruda R.W., Królczyk G.M., 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.
9. Statnikov R.B., Matusov J.B. „Multicriteria Analysis in Engineering”. Springer, 2002.