

# Wpływ dodatku EP/AW w warunkach chłodzenia metodą MQCL na morfologię powierzchni stali nierdzewnej 316L

## Effect of EP/AW additive under MQCL cooling conditions on the surface morphology of 316L stainless steel

GRZEGORZ KRÓLCZYK  
RADOSŁAW MARUDA  
MARIUSZ MICHAŁSKI  
ANDRZEJ STASZEWSKI\*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.310

Przedstawiono wyniki badań morfologii powierzchni stali nierdzewnej 316L po toczeniu. Dla zmiennych parametrów skrawania przeprowadzono analizę parametru  $S_a$ , krzywej udziału materiałowego oraz gęstości widmowej mocy w zmiennych warunkach chłodzenia: obróbka na sucho, MQCL oraz MQCL + EP/AW. Wykorzystano metodę *parameter space investigation* (PSI).

**SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka na sucho, MQCL, dodatek EP/AW, morfologia powierzchni

*The paper presents the results of investigation of the surface morphology 316L stainless steel after turning. For variable cutting parameters  $S_a$  parameter, Abbott-Firestone curve and power spectral density were analyzed. The analysis was conducted for variables cooling conditions: dry cutting, MQCL and MQCL + EP/AW. In the research Parameter Space Investigation (PSI) method has been used.*

**KEYWORDS:** dry cutting, MQCL, EP/AW additive, surface morphology

Procesy produkcyjne wpływają na jakość powierzchni materiału obrabianego, m.in. ze względu na wzrost temperatury w strefie skrawania w wyniku odkształcenia plastycznego przedmiotu obrabianego [1], zmian w strukturze geometrycznej powierzchni [2] oraz reakcji chemicznej między narzędziem a przedmiotem obrabianym [3]. Naprężenia rozciągające na powierzchni obrabianej są zazwyczaj zjawiskiem niepożądanym, ponieważ mogą się przyczynić do uszkodzeń zmęczeniowych przedmiotu [4]. Zastosowanie odpowiedniej cieczy chłodząco-smarującej (CCS) zmniejsza tarcie w strefie styku ostrza z materiałem obrabianym oraz zwiększa ilość ciepła odprowadzanego ze strefy skrawania [5]. Zjawiska te powodują m.in. ograniczenie oddziaływania mechanicznego na materiał obrabiany i wzrost naprężeń ściskających [4], które są korzystne ze względu na większą wytrzymałość zmęczeniową przedmiotu obrabianego.

Rosnąca świadomość co do negatywnego wpływu procesów wytwarzania na środowisko naturalne była impulsem do podjęcia badań nad obróbką na sucho. W procesach, w których nie można zastosować obróbki na sucho ze względu na wymagania dotyczące jakości powierzchni obrabianej, alternatywę stanowią metody oparte na małej ilości CCS: MQL (*minimum quantity lubrication*) [3, 6] oraz MQCL (*minimum quantity cooling lubrication*) [5, 7].

W celu zwiększenia efektywności chłodzenia i smarowania strefy skrawania do medium czynnego stosowanego w metodach MQL i MQCL wprowadzono dodatki

przeciwzatarciowe (*extreme pressure*) EP oraz przeciwzużyciowe (*anti wear*) AW [7, 8].

Celem artykułu jest określenie wpływu dodatku EP/AW na bazie estru fosforanowego w warunkach chłodzenia metodą MQCL na wybrane parametry morfologii powierzchni stali austenitycznej 316L.

### Metodyka badań

Badania przeprowadzono z użyciem tokarki uniwersalnej oraz narzędzia o symbolu oprawki DWLNR 12 3C i płytki WNMG060408 PF z węglika spiekane P25, z powłoką TiAlN. Przyjęto prędkość skrawania  $v_c = 35 \pm 200$  m/min, posuw  $f = 0,05 \pm 0,30$  mm/obr oraz stałą głębokość skrawania  $a_p = 0,5$  mm.

Do chłodzenia metodą MQCL oraz MQCL + EP/AW wykorzystano urządzenie Micronizer Lenox 1LN; przyjęto następujący zakres parametrów tworzenia mgły emulsyjnej: przepływ objętościowy powietrza  $P = 1,2 \pm 5,9$  l/min i przepływ masowy emulsji  $E = 0,09 \pm 0,45$  g/min. Ustalono stałą odległość dyszy od strefy skrawania  $l = 0,3$  m i ciśnienie sprężonego powietrza na poziomie 0,48 MPa. Medium czynne w metodzie MQCL stanowił koncentrat emulsji na bazie wysoko rafinowanego oleju mineralnego (EMULGOL-S). Jako dodatek EP/AW wykorzystano CRODAFOS EHA-LQ-(MH) na bazie estru fosforanowego. Mieszaninę przygotowano za pomocą mieszałki elektromagnetycznej ES21H. W trakcie przygotowywania medium czynnego do wody dodano 6% koncentratu emulsji i podgrzano do temperatury 60 °C. Do przygotowanego roztworu dodano 5% dodatku EP/AW.

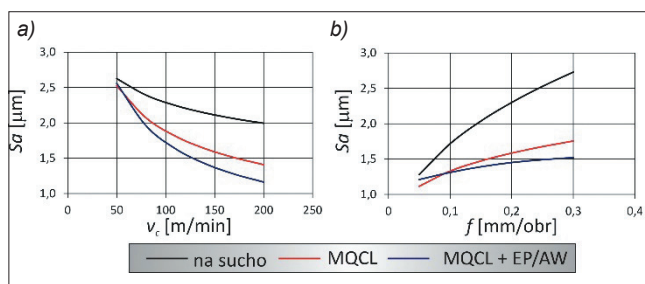
Materiałem obrabianym była stal nierdzewna 316L o strukturze stabilnego austenitu w szerokim zakresie temperaturowym. Do analizy morfologii powierzchni materiału obrabianego wykorzystano mikroskop różnicowania ogniskowego Infinite Focus G4. Do analizy wyników wykorzystano metodę PSI (*parameter space investigation*).

### Wyniki badań

Średnia arytmetyczna wysokość powierzchni  $S_a$  (według siedmiu punktów metody PSI) została obliczona w programie komputerowym, za pomocą którego uzyskano równania regresji dla poszczególnych metod chłodzenia. Wpływ parametrów skrawania na wybrany parametr 3D powierzchni obrobionej przedstawiono na rys. 1.

Stwierdzono, że najmniejsze wartości parametru chropowatości  $S_a$  w całym zakresie zmiennej prędkości skrawania (rys. 1a) uzyskano z zastosowaniem metody MQCL + EP/AW. Przy małych posuwach ( $f < 0,09$  mm/obr) najniższe wartości parametru  $S_a$  uzyskano dla powierzchni wygenerowanej z chłodzeniem metodą MQCL, przy większych posuwach – dla metody MQCL + EP/AW (rys. 1b).

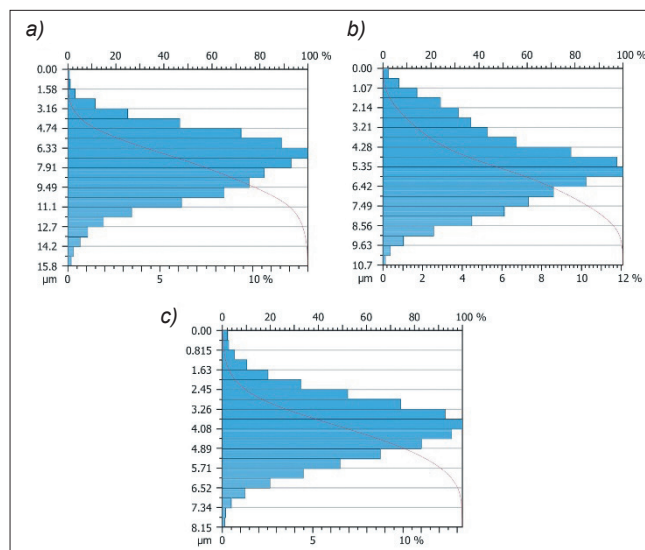
\* Dr hab. Grzegorz Królczyk prof. PO (g.krolczyk@po.opole.pl) – Politechnika Opolska; dr inż. Radosław Maruda (r.maruda@ibem.uz.zgora.pl), dr inż. Mariusz Michałski (m.michalski@ibem.uz.zgora.pl), inż. Andrzej Staszewski (andrzej.staszewski@op.pl)



Rys. 1. Wpływ sposobu chłodzenia na parametr Sa w zależności od: a) zmiennej prędkości skrawania, b) zmiennego posuwu

Metoda MQCL + EP/AW zmniejsza wartość wysokości powierzchni od 3 do 44% w porównaniu z obróbką na sucho.

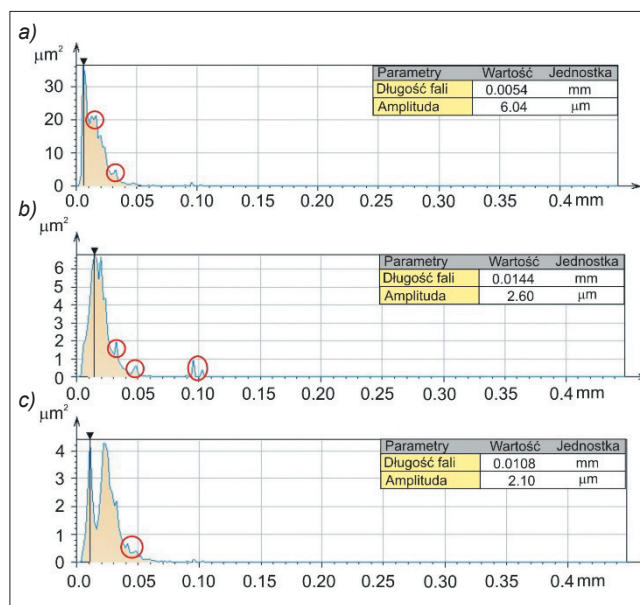
Na rys. 2 przedstawiono krzywe udziału materiałowego, a na rys. 3 – analizę gęstości widmowej mocy (GWM) dla punktu badań według metody PSI, przy którym stwierdzono największe różnice procentowe wartości parametru Sa w zależności od sposobu chłodzenia ( $v_c = 140$  m/min,  $f = 0,1$  mm/obr,  $E = 0,411$  g/min i  $P = 2,9$  l/min).



Rys. 2. Przestrzenna krzywa udziału materiałowego powierzchni stali austenitycznej 316L po toczeniu w zależności od sposobu chłodzenia: a) na sucho, b) MQCL, c) MQCL + EP/AW

Krzywa udziału materiałowego dostarcza pewnych istotnych informacji o kształcie nierówności powierzchni. Na rys. 2 pokazano, że powierzchnia stali 316L po toczeniu w warunkach MQCL + EP/AW charakteryzują się równomiernym rozłożeniem materiału na powierzchni. Zastosowanie metody MQCL + EP/AW sprawia, że gęstość rozmieszczenia punktów w analizowanych profilach jest bardziej skoncentrowana na wartościach średnich. Wszystkie krzywe udziału materiałowego charakteryzują się degresywno-progresywnym kształtem.

W warunkach toczenia GWM (rys. 3) skoncentrowana jest w jednym zakresie długości fal. To dowodzi, że charakter generowanej powierzchni nie jest przypadkowy. Dla obróbki na sucho uzyskano najmniejszą długość fal 0,0054 mm (rys. 3a). Doprowadzając mgłę emulsyjną (rys. 3b, c) w strefę styku ostrze-wiór, uzyskano powierzchnię o większej długości fal. Najniższe wartości amplitudy uzyskano dla powierzchni w warunkach chłodzenia metodą MQCL + EP/AW. GWM jest bardzo wrażliwa na zakłócenia podczas konstytuowania powierzchni konstrukcyjnych, co zaznaczono kolorem czerwonym na rys. 3.



Rys. 3. Analiza gęstości widmowej mocy powierzchni stali 316L po toczeniu: a) na sucho, b) MQCL, c) MQCL + EP/AW

## Wnioski

Analiza wyników badań przedstawionych w pracy pozwoliła na wyciągnięcie następujących wniosków:

- najniższe wartości wybranego parametru 3D w całym zakresie prędkości skrawania uzyskano dla obróbki z wykorzystaniem metody MQCL + EP/AW. Największe różnice wartości Sa pomiędzy rozpatrywanymi warunkami chłodzenia zaobserwowano przy większych prędkościach skrawania i posuwach.
- w warunkach chłodzenia metodą MQCL + EP/AW uzyskano krzywą udziału materiałowego o równomiernym rozłożeniem materiału na powierzchni,
- przy doprowadzeniu bardzo małych ilości chłodzenia i smarowania (MQCL oraz MQCL + EP/AW) stwierdzono, że amplituda zmniejsza się o ok. 57% w porównaniu z obróbką na sucho.

## LITERATURA

1. Masmiatia N., Sarhan A.A.D. „Optimizing cutting parameters in inclined end milling for minimum surface residual stress – Taguchi approach”. *Measurement*. Vol. 60 (2015): pp. 267÷275.
2. Kivak T. „Optimization of surface roughness and flank wear using the Taguchi method in milling of Hadfield steel with PVD and CVD coated inserts”. *Measurement*. Vol. 50 (2014): pp. 19÷28.
3. Liao Y.S., Lin H.M. „Mechanism of minimum quantity lubrication in high-speed milling of hardened steel”. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* Vol. 47, No. 11 (2007): pp. 1660÷1666.
4. Masmiatia N., Sarhan A.A.D., Hassan M.A.N., Hamdi M. „Optimization of cutting conditions for minimum residual stress, cutting force and surface roughness in end milling of S50C medium carbon steel”. *Measurement*. Vol. 86 (2016): pp. 253÷265.
5. 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.
6. Leppert T. „Effect of cooling and lubrication conditions on surface topography and turning process of C45 steel”. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* Vol. 51, No. 2 (2011): pp. 120÷126.
7. Maruda R.W., Legutko S., Królczyk G.M., Hloch S., Michalski M. „An influence of active additives on the formation of selected indicators of the condition of the X10CrNi18-8 stainless steel surface layer in MQCL conditions”. *Int. J. Surf. Sci. Eng.* Vol. 9, No. 5 (2015): pp. 452÷465.
8. Vengudusamy B., Grafl A., Novotny-Farkas F., Schimmel T., Adam K. „Tribological behavior of antiwear additives used in hydraulic applications: Synergistic or antagonistic with other surface-active additives?”. *Tribol. Int.* Vol. 67 (2013): pp. 199÷210.