

# Chropowość powierzchni stali austenitycznej 316L po toczeniu w warunkach chłodzenia metodą MQCL

On the surface roughness of 316L austenitic stainless steel after turning when cooling with MQCL method

RADOSŁAW MARUDA\*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.246

Przedstawiono wyniki badań chropowości powierzchni stali austenitycznej 316L po procesie toczenia. W trakcie eksperymentu porównywano obróbkę na sucho oraz z chłodzeniem metodą MQCL. Badania przeprowadzono dla zmiennych parametrów skrawania i tworzenia mgły emulsyjnej. W związku z dużą liczbą zmiennych do planowania eksperymentu zastosowano metodę *parameter space investigation* (PSI).

**SŁOWA KLUCZOWE:** obróbka na sucho, metoda MQCL, chropowość powierzchni

*Presented are the results of the surface roughness investigation of austenitic stainless steel 316L after the turning process. During the experiment, different cutting conditions have been compared: dry and MQCL cooling method machining. Research was carried out for the variable cutting parameters and different parameters of emulsion mist generation. Due to the large number of variables Parameter Space Investigation (PSI) method have been applied in this investigation.*

**KEYWORDS:** dry cutting, MQCL method, surface roughness

Ciecze chłodząco-smarujące (CCS) są szeroko stosowane we wszystkich gałęziach przemysłu, ponieważ odgrywają istotną rolę w procesie wytwarzania części maszyn. Jeszcze kilka lat temu najczęściej dostarczano CCS do strefy skrawania tzw. metodą zalewową. Jednak wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej [1] oraz dotyczącej ochrony ludzkiego zdrowia [2, 3] rozpoczęto badania nad nowymi metodami chłodzenia strefy skrawania. Alternatywą dla metody zalewowej stały się: obróbka na sucho [3, 4], metoda z bardzo małą ilością smarowania (MQL) [1, 5, 6], metoda z bardzo małą ilością smarowania i chłodzenia (MQCL) [4, 6] oraz metoda kriogeniczna [5]. Jednak większa ilość ciepła powstającego w strefie skrawania podczas obróbki na sucho prowadzi do zbyt wysokich naprężeń w materiale obrabianym [3], co może powodować pogorszenie jakości powierzchni obrobionej [3, 7]. Dlatego zaleca się – zwłaszcza przy obróbce wykończeniowej – stosowanie chłodzenia strefy skrawania [5, 6].

Zastosowanie metod MQL i MQCL zapewnia poprawę skrawalności materiałów obrabianych, m.in. zwiększa trwałość narzędzia [5], zmniejsza siłę skrawania [5], lepszą odprowadzanie ciepła [1] i zmniejsza chropowość powierzchni obrobionej [5, 6], a także korzystnie wpływa na proces kształtowania wiórów [6].

Badania miały na celu określenie wpływu metody MQCL na wybrane parametry chropowości w zależności od zmiennych parametrów skrawania. Do testów użyto stal nierdzewną 316L ze względu na jej reaktywność chemiczną z materiałami narzędziowymi – podczas obróbki przyklepia się ona do narzędzia skrawającego, co negatywnie wpływa na wykończenie powierzchni [8].

## Warunki i metoda badań

Podczas badań stosowano ostrze o symbolu według ISO WNMG060408 PF z węgla spiekanego P25, z powłoką TiAlN, mocowane w oprawce DWLNR 12 3C. Proces toczenia realizowano na tokarce uniwersalnej. Przyjęto: stałą głębokość skrawania 0,5 mm, która odpowiada obróbce wykończeniowej, prędkości skrawania z zakresu  $v_c$  70÷420 m/min i posuw  $f$  0,05÷0,3 mm/obr.

Obrabiano stal nierdzewną 316L o strukturze stabilnego austenitu.

Do tworzenia mgły emulsyjnej w metodzie MQCL użyto urządzenia Micronizer Lenox 1LN wyposażonego w pokrętła do regulacji przepływu powietrza i emulsji. Emulsię stanowił koncentrat oleju mineralnego wysokorafinowanego EMULGOL-S. Stężenie EMULGOLU-S w medium czynnym wynosiło 6%. Zastosowano przepływ objętościowy powietrza  $P$  w zakresie 1,2÷5,9 l/min i przepływ masowy emulsji  $E$  0,09÷0,45 g/min.

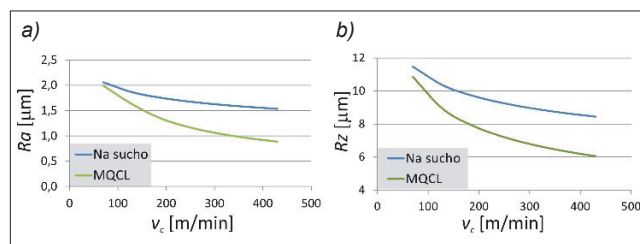
Do planowania eksperymentu w związku z dużą liczbą zmiennych wykorzystano metodę PSI (*parameter space investigation*), która pozwala na skuteczne rozmieszczenie punktów badań w przestrzeni wielowymiarowej [9].

Chropowość powierzchni materiału obrabianego po procesie toczenia analizowano z użyciem mikroskopu różnicowania ogniskowego Infinite Focus G4.

## Wyniki badań

Wyniki pomiarów parametrów chropowości zostały poddane obróbce statystycznej z wykorzystaniem programu komputerowego, a następnie na podstawie obróbki matematycznej uzyskano równania regresji. Wykresy zmian wybranych parametrów chropowości powierzchni obrobionej po toczeniu w zależności od zmiennej prędkości skrawania  $v_c$  na podstawie równań regresji przedstawiono na rys. 1, a w zależności od warunków tworzenia mgły emulsyjnej – na rys. 2.

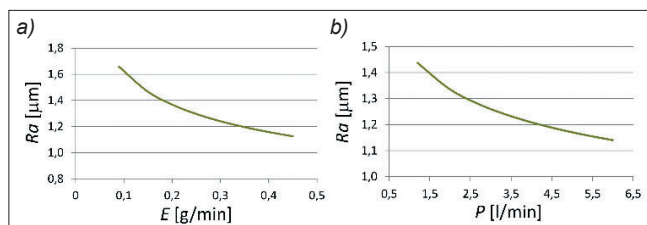
Analizując wybrane parametry chropowości (rys. 1), zauważono, że najmniejsze wartości w całym zakresie zmiennej prędkości skrawania uzyskano dla metody MQCL. Chłodzenie strefy skrawania mgłą emulsyjną



Rys. 1. Wpływ sposobu chłodzenia na wybrane parametry chropowości w zależności od zmiennej prędkości skrawania  $v_c$  dla  $f = 0,167$  mm/obr,  $E = 0,298$  g/min,  $P = 3,3$  l/min: a) parametr  $R_a$ , b) parametr  $R_z$

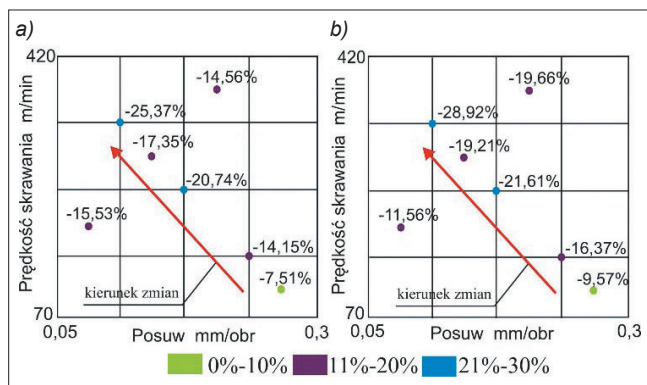
\* Dr inż. Radosław Maruda (r.maruda@ibem.uz.zgora.pl) – Uniwersytet Zielonogórski

zmniejsza od 4% do 38,5% wartość parametru  $R_a$  i od 5,5% do 28,4% wartość parametru  $R_z$  w porównaniu z obróbką na sucho.



Rys. 2. Wpływ parametrów tworzenia mgły emulsyjnej w metodzie MQCL na parametr chropowatości  $R_a$  dla  $v_c = 220$  m/min i  $f = 0,167$  mm/obr w zależności od zmiennego: a) przepływu masowego emulsji  $E$ , b) przepływu objętościowego powietrza  $P$

Na podstawie analizy warunków tworzenia się mgły emulsyjnej zauważano, że wraz ze wzrostem przepływu objętościowego powietrza i masowego emulsji zmniejsza się wartość parametru  $R_a$ . Zwiększenie przepływu objętościowego powietrza powoduje zwiększenie liczby kropelek spadających na powierzchnię obrabianą oraz zmniejszenie ich średnicy [10]. Kropleki o mniejszej średnicy mogą zapewnić lepszą penetrację do strefy skrawania i są bardziej korzystne, zwłaszcza dla mikroobszarów, gdzie powierzchnia styku ostrze–materiał obrabiany jest stosunkowo niewielka [11].



Rys. 3. Procentowe zmniejszenie wartości wybranych parametrów chropowatości według siedmiu punktów metody PSI po toczeniu z MQCL w porównaniu z obróbką na sucho: a) parametr  $R_a$ , b) parametr  $R_z$

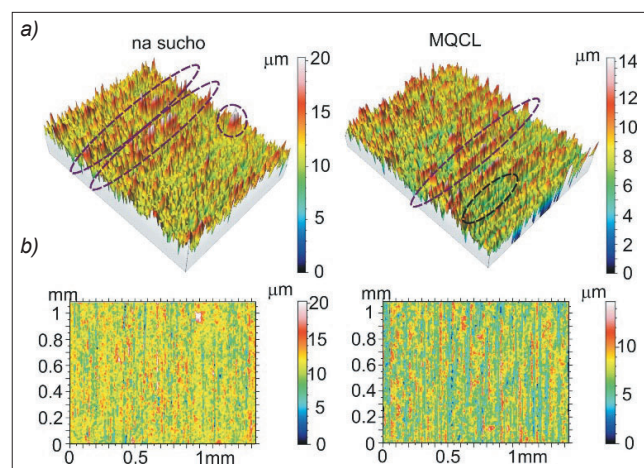
Na rys. 3 zostały zaprezentowane zmiany procentowe wybranych parametrów chropowatości po toczeniu stali 316L dla różnych metod chłodzenia w zależności od zmiennego posuwu i prędkości skrawania.

Zastosowanie metody MQCL (rys. 3) pozwoliło na zmniejszenie wartości wybranych parametrów chropowatości w zakresie od 7% do 29% w porównaniu z obróbką na sucho. Największe różnice odnotowano dla metody MQCL przy obróbce z małymi posuwami i dużymi prędkościami skrawania (obróbka wykończeniowa).

Kolejnym krokiem analizy powierzchni stali 316L po określeniu jej parametrów chropowatości jest przedstawienie powierzchni technologicznej w formie graficznej. Na rys. 4 pokazana została powierzchnia stali 316L w zależności od sposobu chłodzenia dla wybranych parametrów skrawania i tworzenia mgły emulsyjnej ( $v_c = 150$  m/min,  $f = 0,05$  mm/obr,  $E = 0,39$  g/min,  $P = 3,9$  l/min).

Analizując powierzchnię stali 316L w kontekście zmienionych warunków obróbki (rys. 4), zaobserwowano, że morfologia powierzchni po toczeniu z zastosowaniem metody MQCL charakteryzuje się bardziej równomiernym rozmieszczeniem wierzchołków (rys. 4b), które są znacznie wyższe niż pojedynczo pojawiające się wgłębienia w po-

równaniu z obróbką na sucho. Linia przerywaną zaznaczono charakterystyczne grzbiety będące wynikiem posuwu. Wyższe średnie wartości analizowanych parametrów chropowatości odnotowano dla obróbki na sucho, co znajduje również odzwierciedlenie w skali legendy.



Rys. 4. Powierzchnia stali 316L po toczeniu w zależności od metody chłodzenia: a) widok izometryczny, b) mapa warstwowa

## Wnioski

Na podstawie wyników eksperymentalnych można stwierdzić, że:

- zastosowanie chłodzenia metodą MQCL w porównaniu z obróbką na sucho zmniejsza wartości analizowanych parametrów chropowatości powierzchni obrabianej ze stali nierdzewnej 316L od 7% do 29%,
- zwiększenie przepływów parametrów tworzenia mgły emulsyjnej  $E$  i  $P$  w metodzie MQCL przyczynia się do zmniejszenia wartości parametru chropowatości  $R_a$ ,
- morfologia powierzchni dla toczenia z użyciem metody MQCL charakteryzuje się bardziej równomiernym rozłożeniem dolin i wierzchołków w porównaniu z obróbką na sucho.

## LITERATURA

1. Hadad M., Sharbati A. „Thermal Aspects of Environmentally Friendly-MQL grinding Process”. *Procedia CIRP*. Vol. 40 (2016): pp. 509-515.
2. Shokrani A., Dhokia V., Newman S.T. „Environmentally conscious machining of difficult-to-machine materials with regard to cutting fluids”. *Int. J. Mach. Tools Manuf.* Vol. 57 (2012): pp. 83-101.
3. 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.
4. Klocke F., Eisenblätter G. „Dry Cutting”. *CIRP Ann. – Manuf. Techn.* Vol. 46, No. 2 (1997): pp. 519-526.
5. Klocke F., Settineri L., Lung D., Priarone P.C., Arft M. „High performance cutting of gamma titanium aluminides: Influence of lubricant strategy on tool wear and surface integrity”. *Wear*. Vol. 302 (2013): pp. 1136-1144.
6. Maruda R., Legutko S., Królczyk G., 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.
7. Malkin S., Guo C. „Thermal analysis of grinding”. *CIRP Ann. – Manuf. Techn.* Vol. 56, No. 2 (2007): pp. 760-782.
8. Jianxin D., Jiantou Z., Hui Z., Pei Y. „Wear mechanisms of cemented carbide tools in dry cutting of precipitation hardening semi-austenitic stainless steels”. *Wear*. Vol. 270 (2011): pp. 520-527.
9. Statnikov R.B., Matusov J.B. „*Multicriteria Analysis in Engineering*”. Springer, 2002.
10. Maruda R., Królczyk 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.
11. Jun M.G.B., Joshi S.S., DeVor R.E., Kapoor S.G. „An experimental evaluation of an atomization-based cutting fluid application system for micromachining”. *J. Manuf. Sci. Eng.* Vol. 130, No. 3 (2008): 031118-031118-8.