

Dr inż. Radosław MARUDA (Uniwersytet Zielonogórski),
dr inż. Mariusz MICHALSKI (Uniwersytet Zielonogórski),
dr inż. Grzegorz KRÓLCZYK (Politechnika Opolska):

WPLYW KONSTRUKCJI URZĄDZEŃ DO TWORZENIA MGŁY EMULSYJNEJ NA CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI OBROBIONEJ PO PROCESIE SKRAWANIA STALI C45

Streszczenie

Zaprezentowano budowę i zasadę działania dwóch urządzeń wykorzystywanych podczas obróbki z minimalnym chłodzeniem i smarowaniem. Podano wartości wejściowych parametrów tworzenia mgły emulsyjnej dla urządzenia GAV 1500 i Micronizer Lenox (przepływ objętościowy powietrza i przepływ masowy emulsji). Wybrane parametry chropowatości uzyskane dla powierzchni obrobionej metodą MQCL poddano analizie regresyjnej i porównano z wynikami obróbki na sucho.

Słowa kluczowe: urządzenie do tworzenia mgły emulsyjnej, metoda MQCL, obróbka na sucho, chropowatość powierzchni obrobionej

THE IMPACT OF THE DESIGN OF EMULSION MIST GENERATING DEVICES ON THE MACHINED SURFACE ROUGHNESS AFTER THE CUTTING PROCESS OF C45 STEEL

Abstract

The paper presents the design and principle of operation of two devices used during machining with minimum cooling and lubrication. The input parameter values for emulsion mist generation for the GAV 1500 and Micronizer Lenox device (air volume flow and emulsion mass flow) were given. The assorted roughness parameters obtained for a surface machined with the MQCL method were subject to regression analysis and compared with results of dry machining.

Keywords: emulsion mist generation device, MQCL methods, dry machining, machined surface roughness

WPLYW KONSTRUKCJI URZĄDZEŃ DO TWORZENIA MGŁY EMULSYJNEJ NA CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI OBROBIONEJ PO PROCESIE SKRAWANIA STALI C45

Radosław MARUDA¹, Mariusz MICHALSKI¹, Grzegorz KRÓLCZYK²

1. WPROWADZENIE

Stosowanie cieczy chłodząco-smarujących (CCS) w procesach obróbki skrawaniem podyktowane jest pragnieniem ograniczenia zużycia narzędzi skrawających, jak również zmniejszeniem chropowatości powierzchni obronionej. Jednak w ostatnich latach wzrost zużycia energii, zanieczyszczeń powietrza i produkcji odpadów przemysłowych stały się tematem rozważań wielu organizacji ekologicznych i władz poszczególnych państw. Dlatego, równoległe z optymalizacją procesu produkcyjnego dąży się do zmniejszenia negatywnego wpływu działalności przemysłowej na środowisko.

Dotychczasowe prace badawcze wykazały, że chłodzenie zalewowe nie dostarcza CCS do strefy skrawania w sposób zadawalający i skuteczny [1], a koszty z tym związane wynoszą od 16% do 30% całkowitych kosztów produkcji [2]. Dlatego w obróbce skrawaniem zaczęto stosować metodę MQL (bardzo małe ilości smarowania) lub MQCL (bardzo małe ilości chłodzenia i smarowania). Metody te pozwalają na skuteczne smarowanie w strefie skrawania, a co jest także bardzo istotne, są bardziej przyjazne dla środowiska [3].

Wyżej wymienione metody stosowane są w różnych procesach obróbki skrawaniem, takich jak: frezowanie, toczenie, wiercenie i szlifowanie [4–8]. Powodują one m.in. znaczne zmniejszenie siły skrawania [7], temperatury w strefie skrawania [9], zwiększenie okresu trwałości narzędzia [9, 10], zmniejszenie chropowatości powierzchni obrobionej [9–11], jak również korzystnie wpływają na kształt wióra [12].

¹ Uniwersytet Zielonogórski, Prof. Z. Szafrana 4, 65-516 Zielona Góra, Polska

² Politechnika Opolska, Prószkowska 76, 45-758 Opole, Polska

Dlatego bardzo ważnym zagadnieniem staje się projektowanie procesu oraz konstrukcja urządzeń do tworzenia mgły emulsyjnej lub olejowej. Niestety nie ma opracowanych katalogów doboru odpowiedniego sprzętu dla chłodzenia metodą MQCL, dlatego na inżynierach i technologach zatrudnionych w przemyśle spoczywa bardzo trudne zadanie doboru odpowiedniego urządzenia w zależności od procesu skrawania.

Pierwszy poziom klasyfikacji urządzeń do tworzenia mgły olejowej lub emulsyjnej obejmuje sposób, w którym aerozol jest dostarczany do strefy obróbki. Wyróżnia się dwa sposoby podawania aerozolu:

- drogą zewnętrzną, czyli za pomocą dyszy umieszczonej w urządzeniu podobnym do dyszy wykorzystywanej przy chłodzeniu zalewowym [12, 13];
- drogą wewnętrzną (przez narzędzie) [14].

Jednym ze sposobów podawania CCS do strefy skrawania sposobem zewnętrznym jest doprowadzanie emulsji i sprężonego powietrza do pompy ssącej, gdzie aerozol tworzy się wewnątrz zbiornika, czyli przed dyszą. Drugim sposobem jest podawanie medium czynnego osobno dwoma kanałami a ich mieszanie następuje w dyszy. Wówczas pierwszy z kanałów znajduje się na zewnątrz i tworzy tzw. powłokę powietrzną. Emulsja z kolei dostarczana jest wówczas poprzez kanał środkowy [15].

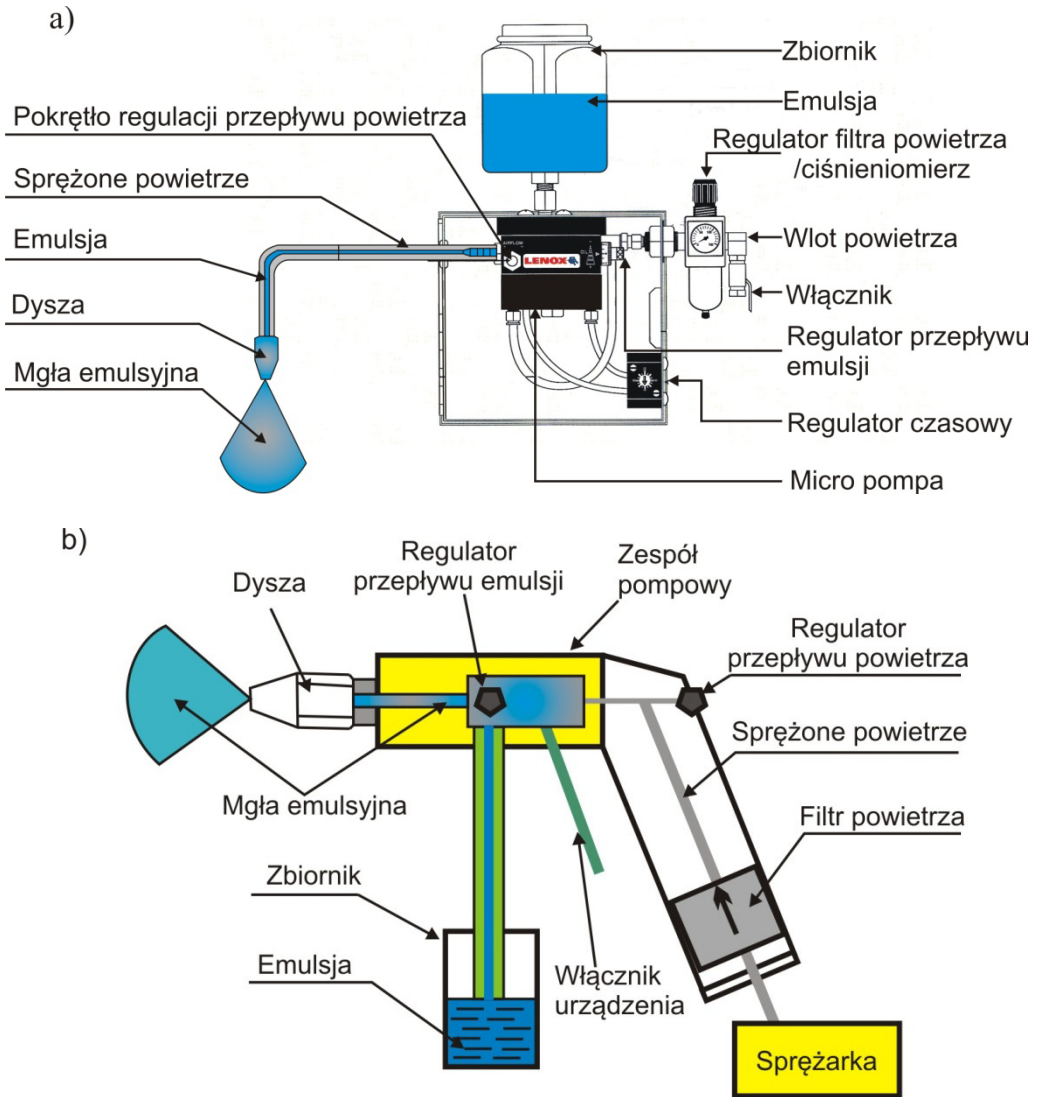
Celem pracy jest ustalenie wpływu przepływu masowego emulsji, przepływu objętościowego powietrza oraz ciśnienia powstawania aerozolu na chropowatość powierzchni obrobionej dwufazowej stali węglowej C45 dla chłodzenia metodą MQCL oraz bez użycia substancji chłodząco-smarującej.

2. WARUNKI BADAŃ

Do tworzenia mgły emulsyjnej w metodzie MQCL użyto dwóch urządzeń: Micronizer 1LN Micro Unit Lenox Nozzle (rys. 1a), oraz GAV1500 (rys. 1b). W obu przypadkach mgła emulsyjna dostarczana była do strefy skrawania drogą zewnętrzną. W urządzeniu Micronizer powstanie aerozolu dokonuje się bezpośrednio przed wyłotem mgły emulsyjnej z trzech dysz, których średnica zmienia się w zależności od objętości przepływającego powietrza od 0,3 do 1,2 mm. Wewnętrznym kanałikiem (rys. 1a) podawana jest emulsja, a zewnętrznym sprężone powietrze. Natomiast aerozol w GAV1500 powstaje w specjalnej komorze, gdzie emulsja jest zasycana wskutek podciśnienia. Następnie sprężone powietrze wskutek ciśnienia powoduje transport gotowego aerozolu do dyszy o średnicy 0,9 mm.

Zakres tworzenia poszczególnych parametrów wejściowych mgły emulsyjnej dla obu urządzeń przedstawiono w tabeli I.

W badaniach wykorzystano koncentrat emulsji EMULGOL na bazie wysokorafinowanego oleju mineralnego, emulgatorów jonowych i niejonowych, inhibitorów korozji i innych substancji uszlachetniających. Koncentrat ten nie zawiera: azotynów, chloru, metali ciężkich i fenoli. Mieszaninę przygotowano przy wykorzystaniu mieszadła elektromagnetycznego typu ES21H i zastosowano stężenie zalecane przez producenta dla procesu toczenia 5%.



Rys. 1. Konstrukcja urządzeń wykorzystywanych przy chłodzeniu metodą MQCL:
 a) Micronizer b) GAV1500

W trakcie badań podczas procesu toczenia wykorzystano tokarkę uniwersalną oraz narzędzie składane z płytki niepowlekaney z węgla spiekaneego P25 o symbolu ISO-SNUN120408 i oprawki ISO-CSDBM 2020-M12. Badania przeprowadzono przy stałej głębokości skrawania $a_p = 0,5$ mm i zmiennym posuwie $f = 0,05 - 0,3$ mm/obr oraz prędkości skrawania $v_c = 80 - 450$ m/min. Materiałem obrabianym była stal wę-

głowa C45. Podczas procesu toczenia zastosowano obróbkę na sucho oraz chłodzenie metodą MQCL przy wykorzystaniu urządzenia Micronizer i GAV1500.

Tabela I. Zakres parametrów tworzenia mgły emulsyjnej

	Przepływ masowy emulsji g/min	Przepływ objętościowy powietrza l/min	Regulator impulsów imp/min	Ciśnienie MPa
Micronizer	0,028 – 1,645	1,2 – 5,9	0 – 90	0,48
GAV1500	1,2 – 3,6	4,7 – 6,9	----	2

Pomiaru parametrów chropowatości Ra , Rq i Rz dokonano na profilografometrze TR-200 zgodnie z normą ISO 4287:1998. Parametr Ra (średnia arytmetyczna rzędnych profilu) i Rz (największa wysokość profilu) są powszechnie stosowane w praktyce przemysłowej. Parametr Rq jest średnią kwadratową rzędnych profilu i funkcjonalnie jest połączony z parametrem Ra . Z punktu widzenia naukowego parametr Rq jest bardziej miarodajnym parametrem, ponieważ odpowiada odchyleniu standardowemu σ stosowanemu w statystyce.

W badaniach ze względu na dużą liczbę zmiennych wykorzystano metodę Parameter Space Investigation (PSI) [16, 17].

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

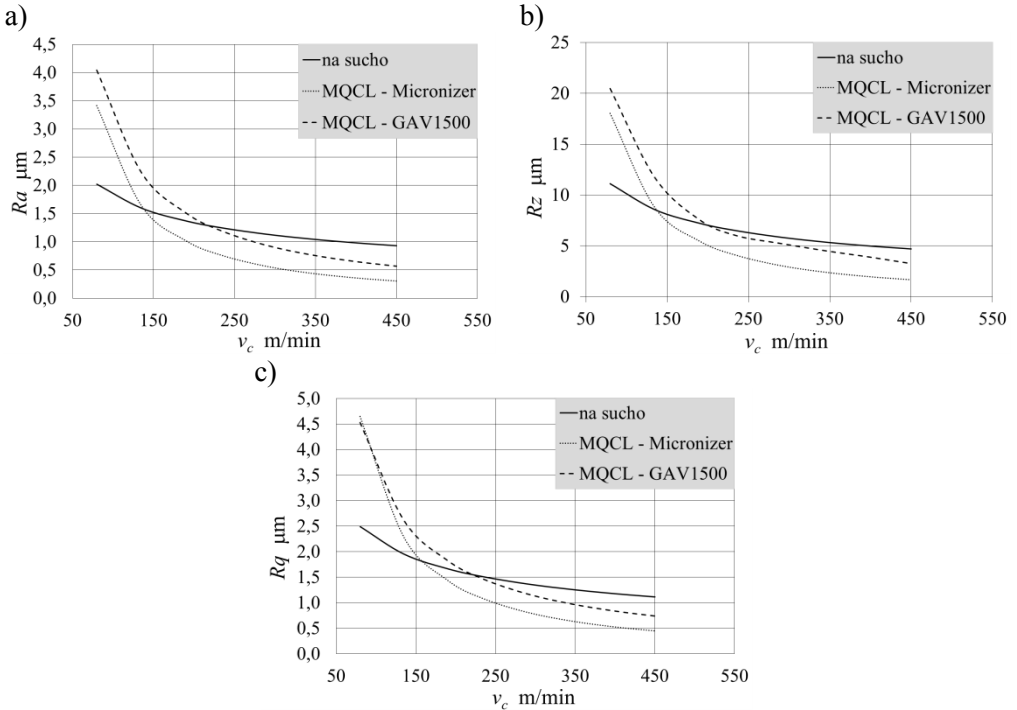
Przy wykorzystaniu programu komputerowego wyniki pomiarów poszczególnych parametrów chropowatości zostały podane analizie regresyjnej, a następnie na podstawie obróbki matematycznej uzyskano równania regresji wielowymiarowej, które przedstawiono w tabeli 2 wraz ze współczynnikiem korelacji wielowymiarowej.

Tabela II. Równania regresji i wartość współczynnika korelacji wielowymiarowej

	Na sucho	MQCL (Micronizer)	MQCL (GAV1500)
Ra μm	$Ra = 30,7 \cdot v_c^{-0,449} \cdot f^{0,397}$ $r = 0,9515$	$Ra = 0,189\text{E}+06 \cdot v_c^{-1,395}$ $f^{0,019} \cdot P^{-2,324} \cdot E^{-2,045}$ $r = 0,9865$	$Ra = 0,105\text{E}+05 \cdot v_c^{-1,136}$ $f^{0,086} \cdot P^{-1,427} \cdot E^{-0,634}$ $r = 0,9641$
Rz μm	$Rz = 168 \cdot v_c^{-0,493} \cdot f^{0,279}$ $r = 0,9639$	$Rz = 0,559\text{E}+06 \cdot v_c^{-1,381}$ $f^{-0,075} \cdot P^{-1,969} \cdot E^{-0,863}$ $r = 0,9786$	$Rz = 0,781\text{E}+04 \cdot v_c^{-0,868}$ $f^{0,009} \cdot P^{-0,960} \cdot E^{-0,577}$ $r = 0,9528$
Rq μm	$Rq = 40 \cdot v_c^{-0,466} \cdot f^{0,387}$ $r = 0,9513$	$Rq = 0,144\text{E}+06 \cdot v_c^{-1,358}$ $f^{0,005} \cdot P^{-2,003} \cdot E^{-0,806}$ $r = 0,9769$	$Rq = 0,798\text{E}+04 \cdot v_c^{-1,051}$ $f^{0,046} \cdot P^{-1,236} \cdot E^{-0,560}$ $r = 0,9557$

Wykresy zmian wybranych parametrów chropowatości powierzchni obrobionej stali C45 po toczeniu w zależności od zmiennej prędkości skrawania v_c na podstawie

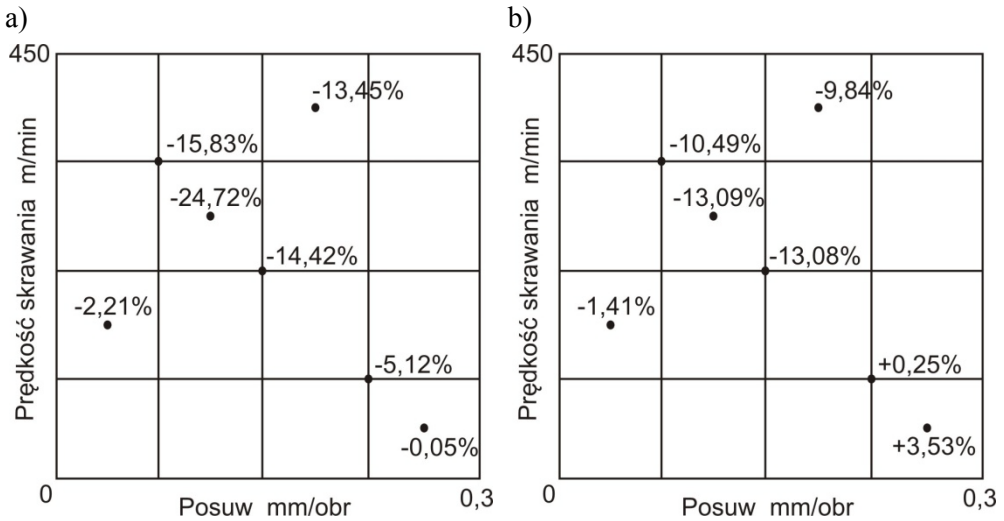
równań regresji przedstawiono na rys. 2. Dla poniższych wykresów zastosowano wartości parametrów tworzenia mgły emulsyjnej, których wartości pokrywają się w zakresie przepływu objętościowego powietrza i przepływu masowego emulsji dla obydwu urządzeń (tab. I).



Rys. 2. Wpływ prędkości skrawania v_c na parametry chropowatości powierzchni obrabianej stali C45 po toczeniu przy $f=0,15$ mm/rev; $P=5,8$ m³/h; $E=1,4$ g/min: a) parametr Ra ; b) parametr Rz ; c) parametr Rq

Analizując rys. 2, zaobserwowano, że najniższe wartości poszczególnych parametrów chropowatości dla prędkości skrawania 140 m/min uzyskano przy obróbce na sucho, natomiast powyżej $v_c > 140$ m/min otrzymano dla chłodzenia w warunkach MQCL przy wykorzystaniu urządzenia Micronizer. W całym zakresie zmiennej prędkości skrawania otrzymano wyższe wartości parametrów przy zastosowaniu GAV1500 w porównaniu z Micronizer.

Na rys. 3 zostały zaprezentowane zmiany procentowe dla parametru Ra po toczeniu stali C45 dla dwóch urządzeń w porównaniu z obróbką na sucho w zależności od zmiennego posuwu i prędkości skrawania dla 7 punktów według metody PSI.

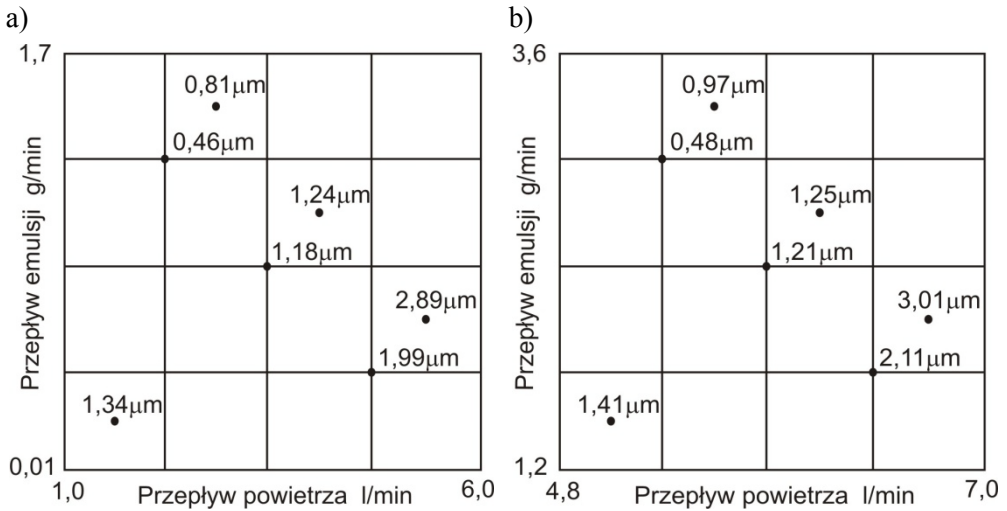


Rys. 3. Zmiany procentowe parametru chropowatości R_a po toczeniu stali C45 po obróbce na sucho w porównaniu z chłodzeniem metodą MQCL: a) Micronizer b) GAV1500 (znak "-" – zmniejszenie wartości ; znak "+" – zwiększenie wartości)

Zastosowanie metody MQCL pozwoliło na zmniejszenie wartości parametrów chropowatości w zakresie do 25% przy wykorzystaniu urządzenia typu Micronizer (rys. 3a) i do 13% przy zastosowaniu GAV1500 (rys. 3b) w porównaniu z obróbką na sucho. W obu przypadkach największe różnice odnotowano dla prędkości skrawania powyżej 210 m/min. Tylko dla dużych posuwów i małych prędkości skrawania (rys. 3b) zaobserwowano przy obróbce na sucho niższe wartości parametru R_a w porównaniu z chłodzeniem mgłą emulsyjną wytwarzaną przez GAV1500.

Na rys. 4 przedstawione zostały diagramy z wartościami parametru R_a w zależności od warunków tworzenia mgły emulsyjnej (przepływ masowy emulsji E i przepływ objętościowy powietrza P).

Analizując przepływ objętościowy powietrza (rys. 4) zaobserwowano, że wraz ze wzrostem P zwiększa się chropowatość powierzchni obrabianej dla obydwu urządzeń. Może to być spowodowane tym, że kropelki wyrzucane są wówczas z większą prędkością, co może spowodować turbulencję i zmiany kierunków ruchu kropelek, a tym samym pogorszyć warunki chłodzenia i smarowania w strefie skrawania. Zauważono również, że zwiększony przepływ masowy emulsji powoduje zwiększenie parametru chropowatości R_a . To z kolei może być spowodowane łączeniem się kropelek na powierzchni styku ostrza z materiałem obrabianym, co powoduje pogorszenie odprowadzania ciepła ze strefy skrawania.



Rys. 4. Wartości parametru chropowatości R_a po toczeniu stali C45 w zależności od przepływu masowego emulsji E i przepływu objętościowego powietrza P : a) Micronizer b) GAV1500

4. WNIOSKI

Na podstawie wyników uzyskanych w niniejszej pracy sformułowano następujące wnioski:

1. Metoda MQCL przy wykorzystaniu urządzenia Micronizer pozwala na zmniejszenie wartości poszczególnych parametrów chropowatości stali C45 po toczeniu w całym zakresie zmiennej prędkości skrawania do 24% w porównaniu z obróbką na sucho. Przy zastosowaniu urządzenia GAV1500 tylko dla małych prędkości skrawania i względnie dużych posuwów uzyskano wyższe wartości chropowatości niż przy obróbce na sucho.
2. Wykorzystanie urządzenia Micronizer do tworzenia mgły emulsyjnej, gdzie aerol powstaje na wyjściu z dyszy zmniejsza się chropowatość powierzchni obrabianej ze stali C45 w całym zakresie zmiennych parametrów skrawania i tworzenia mgły emulsyjnej w porównaniu z urządzeniem GAV1500 od 2% do 12%.
3. W przypadku obu urządzeń największy wpływ na chropowatość powierzchni ma przepływ objętościowy powietrza. Wraz ze zwiększeniem przepływu wzrasta wartość parametru R_a .

LITERATURA

- [1] KRAMAR D., SEKULIČ M., JURKOVIČ Z., KOPAČ J., *The machinability of nickel-based alloys in high-pressure jet assisted (HPJA) turning*. Metalurgija, 52 (2013) 4, 512-514.
- [2] PUSAVEC F, KRAMAR D, KRAJNIK P, KOPAČ J., *Transitioning to sustainable production – part II: evaluation of sustainable machining technologies*. Journal of Cleaner Production, 18 (2010) 12, 1211-1221.
- [3] ADLER D.P., HII W.S., MICHALEK D.J., SUTHERLAND J.W., *Examining the role of cutting fluids and efforts to address associated environmental/health concerns*. Machining Science and Technology, 10 (2006) 1, 23-58.
- [4] HADAD M., SADEGHI B., *Minimum quantity lubrication-MQL turning of AISI 4140 steel alloy*. Journal of Cleaner Production, 54 (2013), 332-343.
- [5] LEPPERT T., *Effect of cooling and lubrication conditions on surface topography and turning process of C45 steel*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 51 (2011), 120-126.
- [6] RAHMAN M., SENTHIL KUMAR A., SALAM M.U., *Experimental evaluation on the effect of minimal quantities of lubricant in milling*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 42 (2002) 5, 539-547.
- [7] KALITA P., MALSHE A.P., KUMAR S.A., YOGANATH V.G., GURUMURTHY T., *Study of specific energy and friction coefficient in minimum quantity lubrication grinding using oil-based nanolubricants*. Journal of Manufacturing Processes, 14 (2012), 160-166.
- [8] RAHIM E.A., SASAHARA H., *A study of the effect of palm oil as MQL lubricant on high speed drilling of titanium alloys*. Tribology International, 44 (2011), 309-317.
- [9] SARIKAYA M., GÜLLÜ A., *Taguchi design and response surface methodology based analysis of machining parameters in CNC turning under MQL*. Journal of Cleaner Production, 65 (2014), 604-616.
- [10] SANCHEZ J.A., POMBO I., ALBERDI R., IZQUIERDO B., ORTEGA N., PLAZA S., MARTINEZ-TOLEDANO J., *Machining evaluation of a hybrid MQL-CO2 grinding technology*. Journal of Cleaner Production, 18 (2010), 1840-1849.
- [11] HADAD M., SADEGHI B., *Minimum quantity lubrication-MQL turning of AISI 4140 steel alloy*. Journal of Cleaner Production, 54 (2013), 332-343.
- [12] MARUDA R.W., LEGUTKO S., KROL CZYK G.M., *Influence of Minimum Quantity Cooling Lubrication (MQCL) on chip formation zone factors and shearing force in turning AISI 1045 steel*. Applied Mechanics and Materials, 657 (2014), 43-47.
- [14] HÄNLE P., GSÄNGER D., *MMS – gerechte Gestaltung des Bohrenschaftes*. Werkstatt und Betrieb, 136 (2003), s 54-56.
- [13] TAWAKOLI T., HADAD M.J., SADEGHI M.H., *Influence of oil mist parameters on minimum quantity lubrication–MQL grinding proces*. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 50 (2010), 521-531.
- [15] PAULO DAVIM J., *Machining. Fundamentals and Recent Advances*, London, Springer-Verlag London Limited, 2008.
- [16] STATNIKOV R.B., STATNIKOV A., *The Parameter Space Investigation Method Toolkit*, Artech House, Boston/London, 2011.
- [17] FELDSHTEIN E., MARUDA R., *Zastosowanie metody "Parameter Space Investigation" w planowaniu badań inżynierskich (na przykładzie badań chropowatości)*, Mechanik, 8-9 (2013), 403-409.