

Dr inż. Paweł KAROLCZAK (Politechnika Wroclawska),
dr inż. Marek KOŁODZIEJ (Politechnika Wroclawska):

BADANIA WPŁYWU ZASTOSOWANIA MINIMALNEGO SMAROWANIA MQL NA SIŁY SKRAWANIA I POSTAĆ WIÓRA W OBRÓBCE KOMPOZYTÓW ALUMINIOWYCH NARZĘDZIAMI POWLEKANymi

Streszczenie

Prezentowane zagadnienia związane z zastosowaniem, właściwościami i skrawalnością materiałów kompozytowych na bazie stopów aluminium. Zaprezentowano wyniki badań pokazujące wpływ zastosowania minimalnego smarowania MQL na siły skrawania i postać wióra w obróbce kompozytów aluminiowych ostrzami powlekanymi warstwą diamentu. Wyniki te porównano z analogicznymi badaniami wykonanymi ostrzami bez powłoki. Określono efektywne zakresy stosowalności minimalnego smarowania MQL w obróbce aluminiowych materiałów kompozytowych.

Słowa kluczowe: *materiały kompozytowe, smarowanie strefy skrawania, siły skrawania, wióry*

STUDIES OF THE INFLUENCE OF MINIMUM QUANTITY LUBRICATION MQL APPLICATION ON CUTTING FORCES AND CHIP FORM IN ALUMINUM MATRIX COMPOSITES MACHINING WITH COATED INSERTS

Abstract

The article presents the issues related to the application, properties and machinability of aluminum matrix composites. The results of studies showing the influence of the application of the minimum lubrication MQL on cutting forces and chip form in machining of aluminum matrix composites coated with diamond coated inserts are presented. These results were compared with tests carried out blades without coating. Scope of the effective applicability of minimum quantity lubrication MQL in aluminum matrix composites machining are defined.

Keywords: *composite materials, cutting zone lubrication, cutting forcercs, chips*

BADANIA WPLYWU ZASTOSOWANIA MINIMALNEGO SMAROWANIA MQL NA SIŁY SKRAWANIA I POSTAĆ WIÓRA W OBRÓBCE KOMPOZYTÓW ALUMINIOWYCH NARZĘDZIAMI POWLEKANymi

Paweł KAROLCZAK¹, Marek KOŁODZIEJ¹

1. WPROWADZENIE

Sposób, ilość i rodzaj podawanej cieczy obróbkowej w procesie skrawania ma istotny wpływ na efekty technologiczne obróbki. W wielu procesach technologicznych wymagane jest intensywne chłodzenie i smarowanie strefy skrawania, a w innych zaleca się, ze względu na niekorzystne dla narzędzi szoki termiczne, obróbkę na sucho. W ostatnich latach można zauważyć dwie tendencje w stosowaniu płynów obróbkowych w skrawaniu. Z jednej strony stosuje się chłodzenie i smarowanie obfite, ale podawane pod dużym ciśnieniem i w sposób skoncentrowany wprost do strefy skrawania np. na powierzchnię natarcia ostrza w toczeniu. Z drugiej strony, ze względów ekologicznych, stosuje się minimalne smarowanie strefy skrawania (MQL) mgłą olejową, podawaną również bezpośrednio do strefy skrawania.

Minimalne smarowanie strefy skrawania, w porównaniu z chłodzeniem tradycyjnym ma tę zaletę, że używa się do niego zdecydowanie mniej środków chłodząco-smarujących, co jest bardzo korzystne dla środowiska. Jednocześnie, nawet minimalna ilość podawanego płynu obróbkowego pozwala na poprawienie warunków oddzielania materiału, poprzez zwiększenie trwałości ostrzy skrawających i zmniejszenie siły skrawania [1,7]. Zmianę w wartościach sił skrawania tłumaczyć można zmniejszeniem tarcia pomiędzy ostrzem i wiórem, a także wolniejszym zużywaniem się narzędzi [9]. Ponadto możliwe jest uzyskanie wiórów o korzystniejszej postaci dzięki zastosowaniu MQL [1]. Minimalne smarowanie strefy skrawania powoduje także zmniejszenie intensywności tworzenia się zadziorów np. w mikroobróbce [8], dzięki czemu można w wielu przypadkach zrezygnować z operacji gratowania.

¹ Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny, Katedra Obrabiarek i Technologii Mechanicznych, ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław

Potrzebne są jednak wciąż nowe badania nad możliwością zastosowania MQL w obróbce skrawaniem. Wynika to z faktu, że efektywność MQL i wpływ tego sposobu chłodzenia i smarowania zależy w dużej mierze od warunków skrawania (materiału obrabianego, parametrów skrawania, rodzaju materiału narzędziowego, geometrii ostrza) i rodzaju obróbki [2,3,4,5,6].

Jedną z grup materiałowych, w których obróbce MQL może znaleźć zastosowanie są aluminiowe materiały kompozytowe. Problemy ze skrawalnością kompozytów związane są głównie z szybkim zużywaniem się ostrzy skrawających. Zużycie to jest wynikiem silnego działania ściernego materiałów stanowiących wzmocnienie kompozytu. Zużywanie się ostrzy skrawających może ulec przyspieszeniu w przypadku wystąpienia dużych sił skrawania czy nieodpowiednich postaci powstających wiórów, a przyspieszone zużycie może powodować pogorszenie jakości wytwarzanych wyrobów.

W Katedrze Obrabiarek i Technologii Mechanicznych Politechniki Wrocławskiej prowadzone są badania nad zastosowaniem MQL w obróbce kompozytów aluminiowych wzmocnianych zarówno włóknami jak i cząstkami. Stwierdzono, że zastosowanie minimalnego smarowania w obróbce kompozytów wzmocnianych włóknami Al_2O_3 zmniejsza chropowatość powierzchni, w stosunku do obróbki na sucho, przy skrawaniu jedynie narzędziami niepowlkanymi. Pozytywny wpływ MQL zmniejsza się wraz ze wzrostem objętościowej zawartości wzmocnienia w kompozycie [4,5]. Obrabiając ten materiał narzędziami niepowlkanymi uzyskano znaczne zmniejszenie sił skrawania w porównaniu z obróbką na sucho oraz w pewnym zakresie parametrów skrawania poprawę postaci i kształtu wióra [3]. W przypadku kompozytów wzmocnianych cząstkami SiC nie zaobserwowano wpływu MQL na jakość powierzchni po toczeniu [2].

2. CEL ORAZ METODYKA BADAŃ

2.1. CEL BADAŃ

Celem badań było określenie możliwości zmniejszenia sił skrawania w obróbce, aluminiowych materiałów kompozytowych wzmocnianych włóknami ceramicznymi, narzędziami powlekanymi diamentem, poprzez zastosowanie minimalnego smarowania strefy skrawania MQL oraz wpływu zastosowania MQL na postać powstających wiórów w obróbce badanych kompozytów.

2.2. WARUNKI PROWADZENIA BADAŃ

Badaniom poddano materiał kompozytowy, którego osnową był odlewniczy stop aluminium o oznaczeniu AlSi9Mg, a wzmocnieniem były włókna typu Al_2O_3 , których objętościowa zawartość w kompozycie wynosiła 10%.

Toczenie przeprowadzono na tokarce ze sterowaniem numerycznym CNC TUR 560 MN (rys 1). Podczas obróbki mierzono składowe siły skrawania za pomocą toru pomiarowego, w którego skład wchodziły: siłomierz piezoelektryczny typu 9257A firmy

KISTLER, wzmacniacz sygnałów elektrycznych dla składowych F_c , F_f , F_p typu 5011 firmy KISTLER, oscyloskop Digital Phospor Oscilloscope TDS 5054B (rys. 1).

Do badań użyto płytek skrawających o oznaczeniu TCGX16T304-A1 1810, z węgla spiekane go powlekanego diamentem. W płytkach tych powłoka z diamentu o grubości 6–8 μm nałożona jest na węgiel dostosowany do powłok diamentowych. Narzędzia te zalecane są do obróbki stopów nieżelaznych o zwiększonej twardości, ponieważ odznaczają się wysoką odpornością na ścieranie. Zastosowano następujące parametry skrawania: $v_c = 150$; 450 i 900 m/min; $f = 0,08$; 0,13; 0,27 mm/obr. Głębokość skrawania wynosiła $a_p = 0,5$ mm. Próby skrawania przeprowadzono w warunkach obróbki na sucho i z minimalnym smarowaniem strefy skrawania. Do skąpego podawania cieczy chłodząco-smarującej użyto system firmy Accu-Lube (rys.1). Mgła olejowa doprowadzana była zewnątrz dwoma przewodami. Jako środek chłodząco-smarujący użyto ciecz o oznaczeniu LB-500.

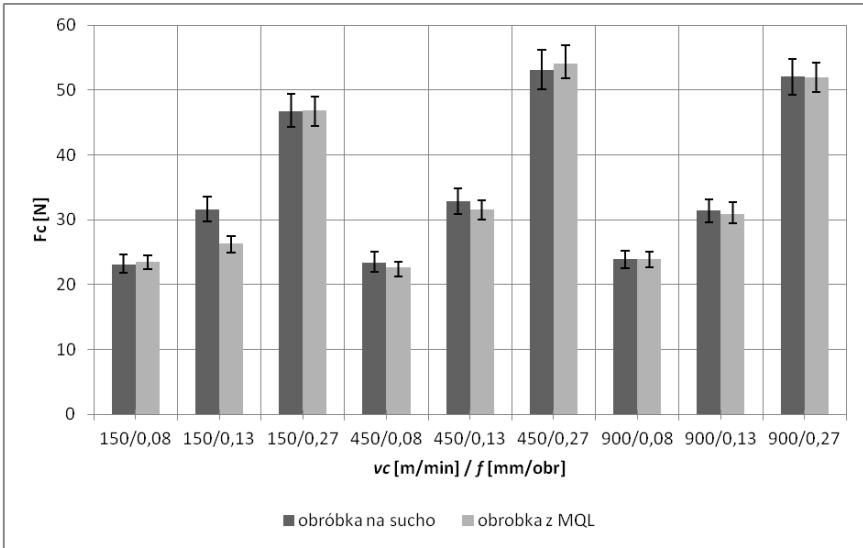


Rys. 1. Stanowiska i urządzenia wykorzystane w badaniach (oscyloskop, obrabiarka, urządzenia do smarowania MQL)

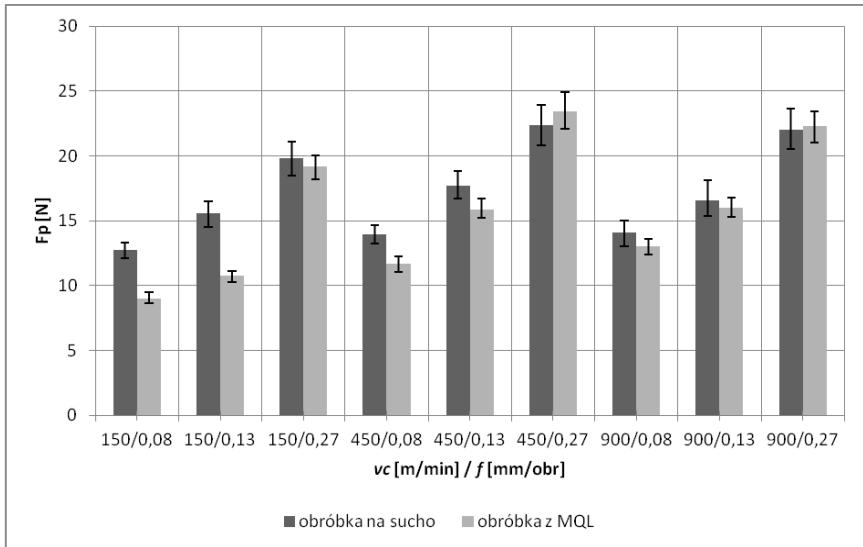
3. WYNIKI BADAŃ

3.1. WPŁYW ZASTOSOWANIA MINIMALNEGO SMAROWANIA NA WARTOŚCI SKŁADOWYCH SIŁY SKRAWANIA W TOCZENIU KOMPOZYTÓW ALUMINIOWYCH OSTRZAMI POWLEKANYMI DIAMENTEM

Na rysunkach 2-4 przedstawiono wyniki pomiarów sił skrawania w czasie toczenia aluminiowego materiału kompozytowego wzmacnianego włóknami Al_2O_3 , o 10% objętościowym udziale wzmocnienia. Zastosowanie minimalnego smarowania MQL podczas toczenia badanego kompozytu płytkami z powłoką, w porównaniu z obróbką na sucho, nie zmniejsza znacząco wartości składowej głównej siły skrawania. Zaobserwowano, że wraz ze wzrostem prędkości skrawania pozytywny wpływ MQL na główną składową siły skrawania zanika. Największe zmniejszenie wartości tej składowej (z 31N na 26N) zmierzono podczas toczenia z prędkością $v_c = 150\text{m/min}$ i posuwem $f = 0,13\text{mm/obr}$. Podczas obróbki z prędkościami $v_c = 450$ i 900m/min otrzymano porównywalne wartości siły w czasie obróbki z MQL i na sucho.



Rys. 2. Wpływ zastosowania minimalnego smarowania MQL na wartość głównej składowej siły skrawania F_c w toczeniu kompozytu aluminiowego



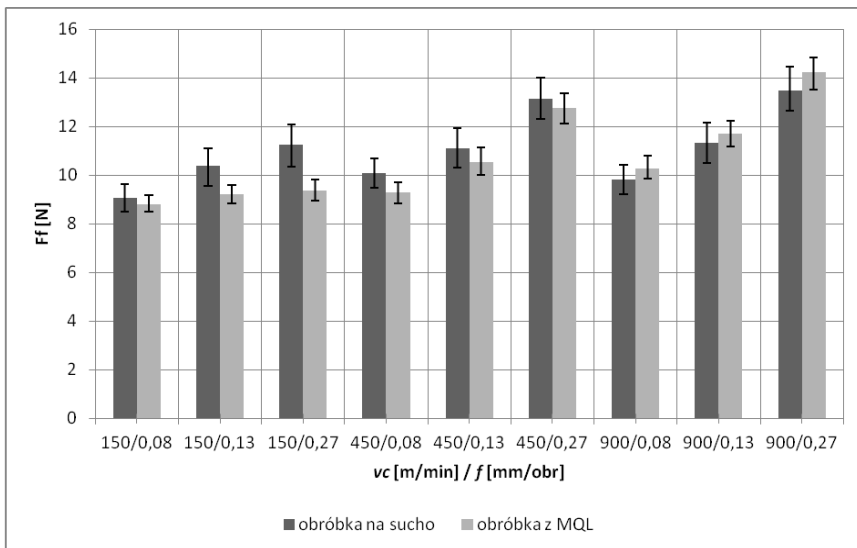
Rys. 3. Wpływ zastosowania minimalnego smarowania MQL na wartość składowej odporowej siły skrawania F_p w toczeniu kompozytu aluminiowego

Większy wpływ minimalnego smarowania MQL zaobserwowano w przypadku składowej odporowej. Największe zmniejszenie wartości tej składowej, dzięki zastosowaniu

MQL, uzyskano podczas obróbki z prędkości $v_c = 150\text{m/min}$ oraz posuwu $f = 0,08\text{ mm/obr}$ i $f = 0,13\text{ mm/obr}$. W pierwszym przypadku zmniejszenie wyniosło około 30% (z 12,7 na 9N), a w drugim przypadku około 31% (z 15,6 na 10,7N). W przypadku składowej odporowej pozytywny wpływ MQL maleje znacznie wraz ze wzrostem prędkości. Zaobserwowano także, że dla największych zastosowanych posuwów siła F_f w czasie obróbki z MQL jest podobna lub nawet większa niż podczas toczenia na sucho.

Analizując pomiary składowej posuwowej stwierdzono, że największe zmniejszenie jej wartości wyniosło około 15% w warunkach obróbki z małą prędkością skrawania i dużym posuwem. Zaobserwowano podobną tendencję jak w przypadku pozostałych składowych tzn. pozytywny wpływ MQL maleje wraz ze wzrostem prędkości skrawania. Dla składowej posuwowej otrzymano nawet zależność pokazującą, że podczas obróbki z prędkością $v_c = 900\text{m/min}$ wartości tej składowej podczas obróbki z MQL są większe niż w przypadku obróbki na sucho.

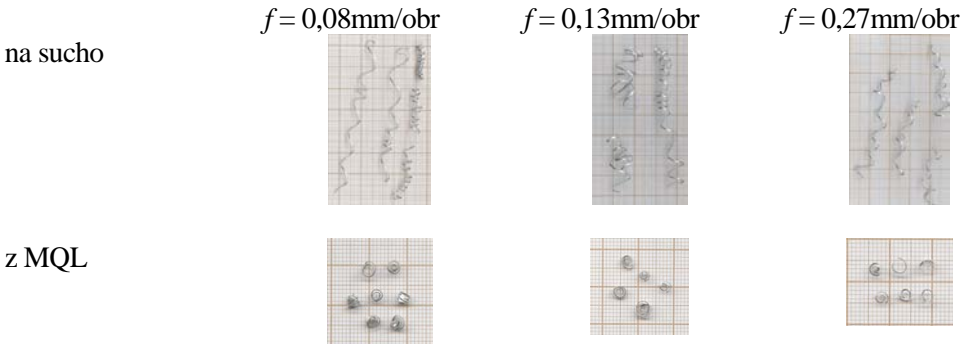
Porównując wpływ MQL na wartości składowych siły skrawania podczas obróbki kompozytów narzędziami powlekanymi z obróbką kompozytów narzędziami bez powłoki [3] zauważono, że wpływ ten jest większy podczas toczenia płytami niepewlekanymi. Jest to wynik analogiczny do wpływu MQL na chropowatość powierzchni po obróbce kompozytów [4,5]. Wynika to z pewnością z faktu pozytywnego wpływu powłoki diamentowej na procesy tarcia i zjawiska termiczne podczas toczenia na sucho. Ponadto zauważono, że rozrzuty wyników pomiarów sił skrawania podczas obróbki narzędziami powlekanymi są mniejsze niż podczas toczenia narzędziami bez powłoki [3].



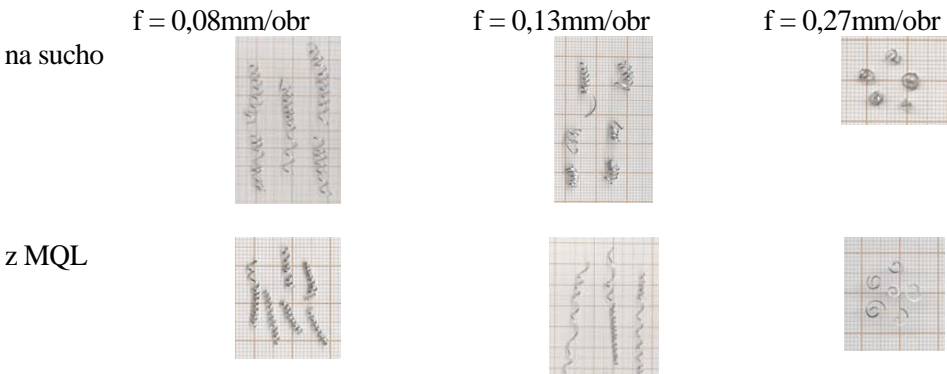
Rys. 4. Wpływ zastosowania minimalnego smarowania MQL na wartość składowej posuwowej siły skrawania F_f w toczeniu kompozytu aluminiowego

3.2. WPŁYW ZASTOSOWANIA MINIMALNEGO SMAROWANIA NA POSTAĆ WIÓRA W TOCZENIU KOMPOZYTÓW ALUMINIOWYCH

Na rysunkach 5-7 pokazano wióry powstające podczas toczenia aluminiowego materiału kompozytowego w warunkach obróbki na sucho oraz z minimalnym smarowaniem MQL, narzędziami powlekanymi.



Rys. 5. Wpływ zastosowania MQL na postać wióra w toczeniu kompozytu aluminiowego z prędkością skrawania $v_c = 150\text{m/min}$

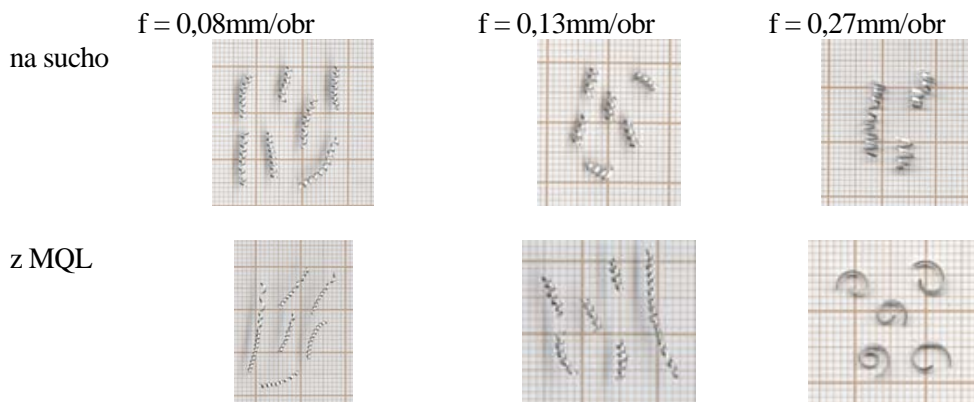


Rys 6. Wpływ zastosowania MQL na postać wióra w toczeniu kompozytu aluminiowego z prędkością skrawania $v_c = 450\text{m/min}$

Analizując kształt i postać otrzymanych wiórów można zauważyć wyraźny pozytywny wpływ minimalnego smarowania w przypadku toczenia z prędkością 150 m/min. W warunkach obróbki na sucho otrzymano wióry śrubowe i rurowe długie. Zastosowanie płynów smarujących nawet w niewielkiej ich ilości sprawiło, że postać wióra zmieniła się na spiralną krótką. Ten pozytywny wpływ zaobserwowano dla każdego z posuwów. Wraz ze wzrostem prędkości skrawania pozytywny wpływ MQL na wiór zdecydowanie zmniejsz-

szal się. Podczas toczenia z prędkością 450m/min nie zaobserwowano zmian w kształcie i postaci wiórów wraz ze zmianą warunków obróbki. Podczas toczenia z prędkością 900 m/min jedynie dla posuwu 0,27 mm/obr wióry otrzymane w warunkach minimalnego smarowania były korzystniejsze.

Porównując prezentowane wyniki z obróbką kompozytów narzędziami niepowlakany- mi [3] można stwierdzić, że zakres łamania wióra dzięki zastosowaniu minimalnego sma- rowania jest podobny, trudno jest wyznaczyć i określić wpływ powłoki narzędziowej na poprawę kształtu powstających wiórów w warunkach obróbki z MQL.



Rys 7. Wpływ zastosowania MQL na postać wióra w toczeniu kompozytu aluminiowego z prędkością skrawa- nia $v_c = 900\text{m/min}$

4. PODSUMOWANIE

Wyniki badań eksperymentalnych, toczenia aluminiowego materiału kompozytowego wzmocnianego włóknami ceramicznymi, narzędziami powlekanymi diamentem, w warunkach obróbki na sucho i z minimalnym smarowaniem MQL pokazują, że:

- minimalne smarowanie nie wpływa znacząco na zmniejszenie wartości składowych sił skrawania w porównaniu z obróbką na sucho,
- najbardziej znaczące zmniejszenie wartości głównej składowej sił skrawania, dzięki zastosowaniu MQL uzyskano w przypadku obróbki z prędkością skrawania 150 m/min oraz posuwem 0,13 mm/obr i wyniosło ono 16%;
- w przypadku składowej odporowej największe obniżenie jej wartości wyniosło oko- ło 30%, podczas toczenia z prędkością skrawania 150 m/min oraz posuwami 0,08 mm/obr oraz 0,13 mm/obr;
- dla składowej posuwowej największe obniżenie jej wartości wyniosło 16% i uzyskane zostało podczas toczenia z prędkością skrawania 150 m/min oraz posu- wem 0,27 mm/obr;

- pozytywny efekt zastosowania MQL na składowe siły skrawania małe wraz ze wzrostem prędkości skrawania, a dla prędkości 900 m/min nie zauważono wpływu minimalnego smarowania MQL na wartości składowych siły skrawania lub nawet otrzymano wartości wyższe podczas obróbki z minimalnym smarowaniem,
- wpływ minimalnego smarowania na siły skrawania podczas obróbki kompozytów aluminiowych narzędziami powlekanymi jest zdecydowanie mniejszy niż w przypadku zastosowania ostrzy niepowlękanych,
- najbardziej znaczącą poprawę postaci i kształtu wióra, dzięki zastosowaniu MQL uzyskano w przypadku obróbki z prędkością skrawania 150 m/min,
- wraz ze wzrostem prędkości skrawania pozytywny wpływ MQL na postać wióra maleje,
- zakres łamania wióra, dzięki zastosowaniu MQL, podczas obróbki kompozytów narzędziami powlekanymi i niepowlękanymi jest podobny,
- badania przeprowadzono w stabilnych warunkach zużycia ostrza, które było niezauważalne.

LITERATURA

- [1] DHAR N. R., KAMRUZZAMAN M., MAHIUDDIN AHMED, *Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear and surface roughness in turning AISI-4340 steel*, Journal of Materials Processing Technology 172(2006) 299–306.
- [2] KAROLCZAK P., *Lubrication MQL in machining aluminium matrix composites reinforced with SiC particles*. Technologiczne Inżynierstwo. 2012, vol. 9, nr 1, s. 29 – 33.
- [3] KAROLCZAK P., KOŁODZIEJ M., *Badania wpływu zastosowania minimalnego smarowania MQL na siły skrawania i postać wióra w obróbce kompozytów aluminiowych*, Mechanik 8-9/2014, s.387 – 394.
- [4] KAROLCZAK P., KOWALSKI M., *Ocena wpływu zastosowania minimalnego smarowania MQL na chropowatość powierzchni po toczeniu aluminiowych materiałów kompozytowych wzmacnianych włóknami Al_2O_3* , Mechanik 8-9/2012, s.415 – 422.
- [5] KAROLCZAK P., KOWALSKI M., WAŚCIŃSKA H., *Wpływ minimalnego smarowania na chropowatość powierzchni po toczeniu materiałów kompozytowych na osnowie aluminium, Obróbka Skrawaniem*. Nauka a Przemysł. Wit Grzesik (red.), Wydawnictwo Sutoris, Wrocław/Opole 2011, s. 103 – 110.
- [6] LEPPERT T., *Effect of cooling and lubrication conditions on surface topography and turning process of C45 steel*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 51(2011) 120–126.
- [7] SREEJITH P. S., *Machining of 6061aluminium alloy with MQL, dry and flooded lubricant conditions*, Materials Letters 62(2008) 276–278.
- [8] VAZQUEZ E., GOMAR J., CIURANA J., RODRIGUEZ C. A., *Analyzing effects of cooling and lubricated conditions in micromilling of Ti6Al4V*, Journal of Cleaner Production 87(2015) 906–913
- [9] ZHANG S., LI J. F., WANG Y. W., *Tool life and cutting forces in end milling Inconel 718 under dry and minimum quantity cooling lubrication cutting conditions*, Journal of Cleaner Production 32(2012) 81–87