

Dr hab. inż. Kazimierz ZALESKI, prof. PL;
mgr inż. Tomasz PAŁKA (Politechnika Lubelska):

WPLYW MINIMALNEGO SMAROWANIA NA MOMENT SKRAWANIA I CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI W PROCESIE WIERCENIA STOPU ALUMINIUM

Streszczenie

Zastosowanie minimalnego smarowania w obróbce skrawaniem przynosi wiele korzyści. W pracy przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych dotyczące momentu skrawania, siły posuwowej oraz chropowatości powierzchni podczas wiercenia otworów w stopie aluminium EN AW 7075. Proces wiercenia przeprowadzono z zastosowaniem minimalnego smarowania i emulsji olejowej oraz na sucho. Testowano różne strategie wiercenia otworów.

Słowa kluczowe: *chropowatość powierzchni, wiercenie, minimalne smarowanie*

EFFECT OF MINIMUM QUANTITY LUBRICATION ON CUTTING TORQUE AND SUR- FACE ROUGHNESS IN ALUMINUM ALLOY DRILLING PROCESS

Abstract

Application of minimum quantity lubrication in machining has many advantages. This paper presents the results of an experimental study undertaken to investigate the cutting torque, feed force and surface roughness during hole drilling in the EN AW 7075 aluminum alloy. The drilling process was conducted using minimum quantity lubrication, oil emulsion and dry machining. Various strategies of hole drilling were tested.

Keywords: *surface roughness, drilling, Minimum Quantity Lubrication*

WPLYW MINIMALNEGO SMAROWANIA NA MOMENT SKRAWANIA I CHROPOWATOŚĆ POWIERZCHNI W PROCESIE WIERCENIA STOPU ALUMINIUM

Kazimierz ZALESKI¹, Tomasz PAŁKA¹

1. WPROWADZENIE

Minimalne smarowanie stanowi alternatywę dla dotychczasowych sposobów chłodzenia i smarowania, zarówno w aspekcie ekologicznym jak i ekonomicznym. Właściwości adhezyjne stopów aluminium powodują, że wymagane jest stosowanie cieczy obróbkowych w większości zabiegów obróbki skrawaniem. Stopy aluminium są jednym z podstawowych materiałów stosowanych do wytwarzania statków powietrznych. Przykładowo w strukturze samolotu Airbus A380 stanowią one 61% ogólnej masy [1]. Ze względu na skomplikowaną strukturę geometryczną elementy ze stopów aluminium najczęściej frezuje się, rzadziej - toczy. Otwory o małych średnicach wykonuje się wiertłami krętymi. W przypadku wiercenia otworów w stopach aluminium należy stosować obfite chłodzenie. Emulsja usuwa wióry z rowków wiórowych oraz eliminuje, w znacznym stopniu, zjawisko powstawania narostu. Ponadto zmniejsza tarcie w strefie skrawania.

Prowadzone dotychczas badania wykazują, że minimalne smarowanie (MQL) może być alternatywą dla stosowania emulsji w procesach obróbki ubytkowej. W prowadzonych badaniach najczęściej analizowano wpływ MQL na siły skrawania. Porównywano frezowanie stopu aluminium EN-AW 6061 narzędziami z powłoką PKD na sucho, z minimalną ilością środka smarnego i chłodzeniem emulsją. Stwierdzono, że siły skrawania i chropowatość powierzchni są porównywalne dla MQL i chłodzenia emulsją [6]. W przypadku frezowania stopu EN-AW 7175 badano wpływ sposobów chłodzenia i smarowania na chropowatość, zmieniając posuw oraz rodzaj frezowania. Stwierdzono, że sposób chłodzenia nie ma istotnego wpływu na uzyskaną chropowatość powierzchni [3]. Według innych Autorów [2], stosując właściwy spo-

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Podstaw Inżynierii Produkcji, ul. Nadbystrzycka 36, 20-618 Lublin

sób chłodzenia i środek smarny, można zmniejszyć szybkość zużywania się narzędzi oraz uzyskać poprawę jakości powierzchni. Stwierdzono, że korzystne jest stosowanie smarowania olejem, podawanym z dużą prędkością. W porównaniu do obróbki na sucho i z zastosowaniem emulsji, obróbka z zastosowaniem MQL obniża siły skrawania, zmniejsza zużycie narzędzia, zwiększa trwałość ostrza i zmniejsza chropowatość powierzchni, zwłaszcza podczas toczenia z dużymi prędkościami skrawania [2]. Przeprowadzono również próby toczenia stopów aluminium z prędkościami od 100 do 400 m/min. Wyniki badań sugerują, że mechanizm tarcia w trakcie toczenia stopów aluminium zmienia się w zależności od środka smarnego. Przykładowo, dla estrów można uzyskać znaczne zmniejszenie siły tarcia [5]. Mechanizmy smarowania badane były również dla różnych wydatków strumienia oleju oraz w połączeniu z dodatkowym nośnikiem środka smarnego w postaci kropeł wody. Stwierdzono, że w celu uzyskania dobrej wydajności, konieczne jest zastosowanie syntetycznego estru, który wytwarza silną warstwę graniczną [4].

Najsłabiej rozpoznany procesem jest wiercenie stopów aluminium z wykorzystaniem minimalnego smarowania. W praktyce przemysłowej zastosowanie MQL wiąże się z problemem katastroficznego niszczenia narzędzi, przez powstawanie nadmiernego narostu, a w konsekwencji zalepienia przestrzeni wiórowych. Wydaje się jednak, że w powiązaniu z odpowiednią strategią obróbki możliwe jest wiercenie z zastosowaniem MQL. Wpłyne to na zmniejszenie kosztów produkcji oraz zwiększy ekologiczność procesu. Główną przyczyną problemów jest niedostateczny dostęp mgły olejowej do strefy skrawania oraz zbyt duża lepkość czynnika, co przyczynia się do zalegania wiórów w przestrzeniach wiórowych. Jest to wskazywane jako główna przyczyna katastroficznego niszczenia narzędzi.

2. PLAN BADAŃ

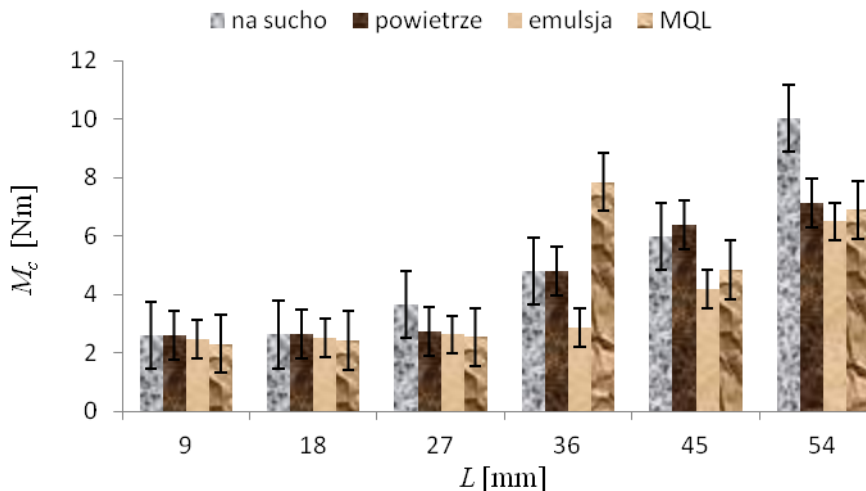
Za cel badań postawiono określenie wpływu sposobu chłodzenia i smarowania na moment skrawania M_c oraz chropowatość powierzchni podczas wiercenia z zastosowaniem dwóch strategii. Badania prowadzono na pionowym centrum frezarskim Avia 800HS. Proces wiercenia przeprowadzono monolitycznym wiertłem krętym o geometrii dedykowanej do skrawania stopów aluminium. Wybrano narzędzie z węgla spiekane, wyposażone w kanały do chłodzenia, o średnicy $D = 6$ mm i długości części roboczej $L_N = 60$ mm. Dla każdej przyjętej strategii obróbki wykonano próby z różnymi sposobami chłodzenia. Badano moment skrawania M_c oraz siłę posuwową F_f przy użyciu siłomierza obrotowego Kistler 9123. Wyznaczano maksymalne wartości badanej siły i momentu. W celu uzupełnienia informacji o procesie mierzono parametr chropowatości Ra . Obróbkę prowadzono ze stałymi parametrami technologicznymi, zgodnie z zaleceniami producenta narzędzia (prędkość skrawania $v_c = 120$ m/min, posuw $f = 0,08$ mm/obr). Jako materiał skrawany przyjęto stop aluminium EN AW - 7075. Próbkę w kształcie prostopadłościanu o wymiarach 150 mm x 60 mm x 60 mm mocowano w imadle maszynowym. Pierwsza strategia wiercenia

polegała na wierceniu otworu w pełnym materiale na głębokość $9D = 54$ mm w jednym przejściu. Druga strategia została opracowana na potrzeby wykonania otworów z zastosowaniem minimalnego smarowania. Otwór wykonywano w ten sposób, że wiertło zagłębiało się ruchem roboczym na $l_1 = 9$ mm, następnie zatrzymywało na dnie na czas $t = 0,1$ s w celu złamania wiórów. Wycofywało się ruchem szybkim ponad otwór do wysokości $l = 5$ mm. Na określonej wysokości zatrzymywało się w celu wyrzucenia wiórów z rowków wiórowych. Zagłębiało się ruchem szybkim do głębokości wcześniej wykonanego otworu. Ruchem roboczym wykonywano kolejny etap obróbki $l_2 = 18$ mm. Czynności były powtarzane do głębokości $9D = 54$ mm. Dla każdego ze sposobów zagłębiania stosowano cztery sposoby chłodzenia (na sucho, powietrze, emulsja, MQL), powtarzając każdą próbę pięciokrotnie. Uzyskane w ten sposób wyniki pozwoliły na określenie korzystniejszej strategii wiercenia w zależności od sposobu chłodzenia i smarowania.

Przeprowadzono również próbę określenia wpływu wyrzucania wiórów podczas wiercenia otworów na chropowatość powierzchni Ra z uwzględnieniem zastosowanej strategii chłodzenia. W tym celu przyjęto sześć metod wykonania otworów o głębokości wiercenia $L = 54$ mm, przy czym w pierwszej metodzie wyrzucenie wiórów nastąpiło na głębokości $l_1 = 54$ mm, w drugiej pierwsze łamanie i wyrzucenie wiórów nastąpiło w połowie głębokości $l_2 = 27$ mm i na dnie otworu. W kolejnych próbach liczbę wyrzuceń wiórów zwiększano o jeden (do sześciu). Chropowatość powierzchni mierzono profilografometrem Hommel Tester T1000. Powstałe otwory frezowano wzdłuż osi, po czym mierzono chropowatość w pięciu punktach na całej długości.

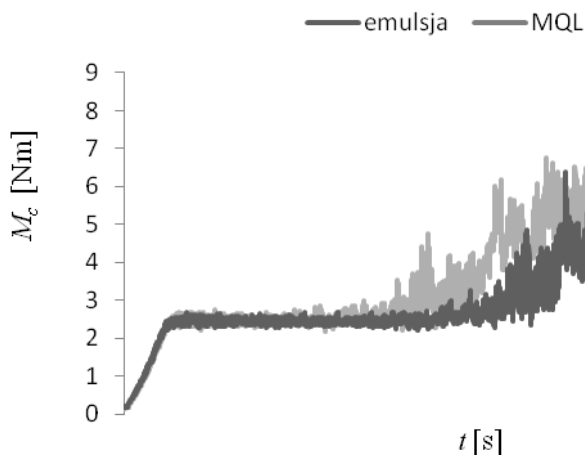
3. WYNIKI BADAŃ

W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano następujące rezultaty. Analizowano przebieg momentu skrawania M_c oraz siły posuwowej F_f . Na rys. 1 przedstawiono wpływ głębokości wiercenia na moment skrawania M_c . Wiercenie prowadzono na głębokość $L = 54$ mm bez pośredniego usuwania wiórów z rowków wiórowych. Można zauważyć, że przebieg momentu jest niestabilny dla MQL. Dla chłodzenia emulsją przebieg jest zadowalający. Dla tego sposobu chłodzenia uzyskano najniższą wartość momentu. W przypadku MQL pierwszy wzrost momentu następuje dla głębokości $l = 27$ mm i osiąga maksimum dla wartości $l = 36$ mm. Podczas próby zaobserwowano, że zwiększona lepkość oleju stosowanego do smarowania powoduje zaleganie wiórów w rowkach wiórowych. Po zakończeniu zabiegu wiercenia rowki wiórowe były wypełnione na całej długości zdeformowanymi wiórami. W przypadku emulsji takie zjawisko nie wystąpiło. Dla próby chłodzenia na sucho i chłodzenia powietrzem również nie zaobserwowano tak dużej ilości zgromadzonych wiórów w rowkach wiórowych. Potwierdza to, że w procesie wiercenia należy stosować środek smarny o zmniejszonej lepkości.



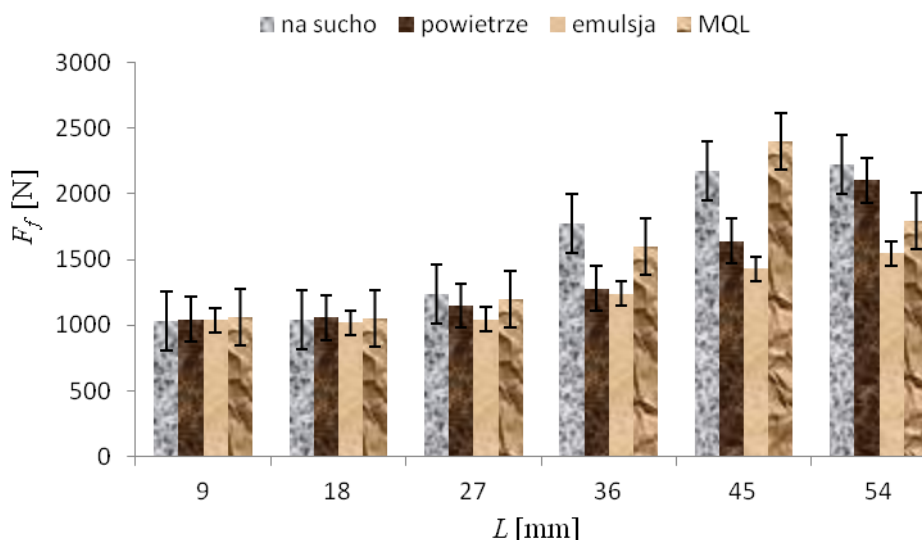
Rys. 1. Wpływ sposobu chłodzenia i smarowania na moment skrawania podczas wiercenia otworu w pełnym materiale na głębokość $L = 54$ mm

Na rys. 2 przedstawiono dwa przykładowe przebiegi momentu skrawania M_c dla MQL i chłodzenia emulsją. Na przedstawionym przebiegu w przypadku chłodzenia emulsją obserwujemy stały wzrost wartości momentu skrawania M_c . Wzrost ten spowodowany jest stale narastającą siłą tarcia, zwiększającą się w miarę zwiększania głębokości wiercenia L . W przypadku MQL siła tarcia narasta gwałtowniej od początku procesu, co spowodowane jest gromadzeniem się wiórów.



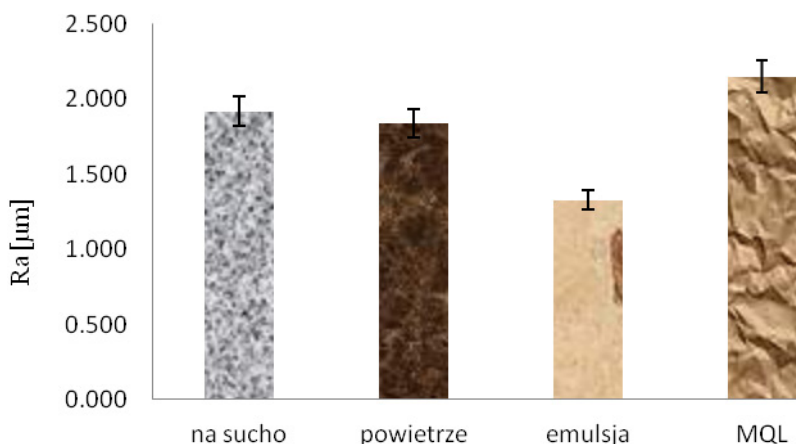
Rys. 2. Przebieg momentu skrawania podczas wiercenia ($L = 54$ mm) dla chłodzenia emulsją i MQL

Na rys. 3 przedstawiono wpływ głębokości wiercenia L na siłę posuwową F_f . Można zaobserwować, że do głębokości wiercenia $L = 18$ mm, co stanowi 3D średnicy wiertła, siły posuwowe są porównywalne, niezależnie od sposobu chłodzenia. Dla kolejnych głębokości następuje znaczne zróżnicowanie wartości siły posuwowej, przy czym największa siła występuje dla obróbki z minimalnym smarowaniem a najmniejsza dla chłodzenia emulsją. Można również zaobserwować, że dla chłodzenia emulsją wartość siły wzrasta jednostajnie. W przypadku zastosowania MQL widać, że siła wzrasta do wartości maksymalnej dla głębokości $L = 45$ mm. Jest to spowodowane siłą tarcia, zwiększającą się okresowo przez zalegające wióry.



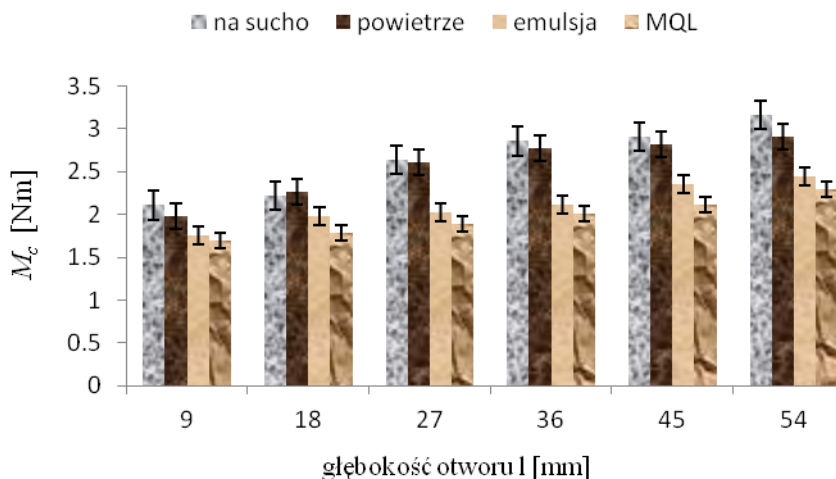
Rys. 3. Wpływ sposobu chłodzenia i smarowania na siłę posuwową podczas wiercenia otworu w pełnym materiale na głębokość $L = 54$ mm

Na rys. 4 przedstawiono wpływ sposobu chłodzenia i smarowania na chropowatość powierzchni Ra . Najmniejsze wartości chropowatości uzyskano w przypadku chłodzenia emulsją ($Ra = 1,33 \mu\text{m}$). Największe wartości, o około 60% większe w porównaniu do chłodzenia emulsją, uzyskano dla minimalnego smarowania ($Ra = 2,15 \mu\text{m}$). Wynik ten spowodowany jest zaleganiem wiórów w przestrzeniach wiórowych, co powoduje zniszczenie powierzchni obrabianej. Okresowo mogło również dochodzić do zjawiska tzw. podwójnego skrawania. Zalegające wióry mogły dostawać się między główną krawędź skrawającą a materiał obrabiany. Istotne jest również, że w czasie głębokiego wiercenia dostęp MQL do strefy skrawania jest znacznie ograniczony.



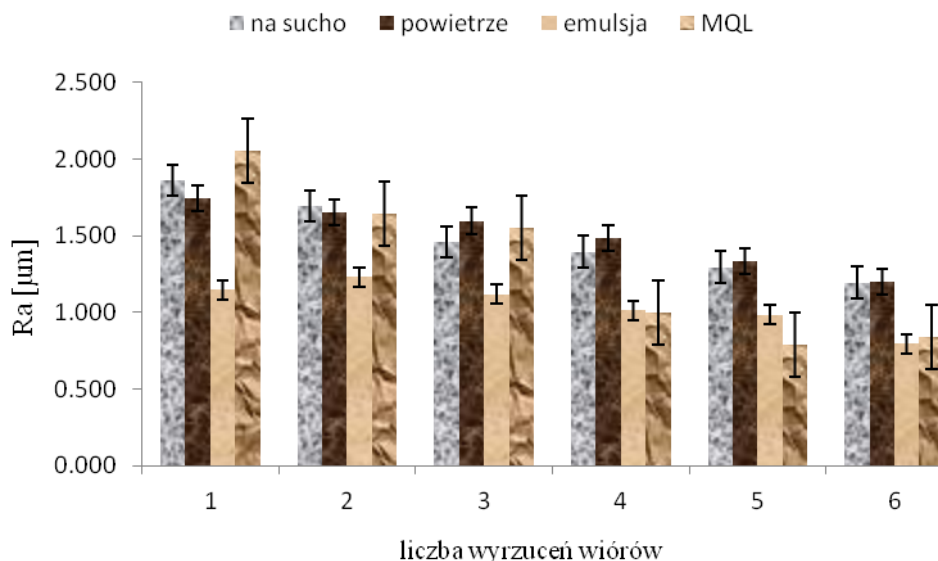
Rys. 4. Wpływ sposobu chłodzenia na chropowatość powierzchni otworów wierconych bez wyrzucania wiórów

W kolejnym etapie prowadzono badania stosując wiercenie z okresowym wyrzucaniem wiórów. Na rys. 5 przedstawiono wpływ ewakuacji wiórów podczas wiercenia na moment skrawania, uwzględniając sposób chłodzenia. Widoczny jest wyraźny spadek wartości momentu skrawania na głębokości wiercenia powyżej 27 mm w porównaniu z wierceniem bez wyrzucania wiórów. W największym stopniu spadek ten dotyczy wiercenia z zastosowaniem MQL.



Rys. 5. Wpływ sposobu chłodzenia na moment skrawania podczas wiercenia z wyrzucaniem wiórów

Na rys. 6. przedstawiono wpływ wyrzucania wiórów podczas wiercenia na chropowatość powierzchni R_a . Można zauważyć, że w przypadku obróbki na sucho następuje zmniejszenie chropowatości powierzchni o 30% po wprowadzeniu wyrzucania wiórów. W przypadku chłodzenia powietrzem i emulsją zwiększanie liczby wyrzuceń wiórów w niewielkim stopniu wpływa na chropowatość powierzchni. Największą poprawę jakości powierzchni wraz ze zwiększaniem liczby wyrzuceń wiórów uzyskano dla wiercenia z minimalnym smarowaniem. Najmniejsza uzyskana wartość parametru chropowatości porównywalna jest z wartością chropowatości po wierceniu z chłodzeniem emulsją. W stosunku do strategii wiercenia bez wyrzucania wiórów uzyskano poprawę jakości powierzchni o około 50%.



Rys. 6. Wpływ liczby wyrzuceń wiórów na chropowatość powierzchni

4. WNIOSKI

Przeprowadzone badania miały na celu ocenę wpływu wyrzucania wiórów podczas wiercenia na moment skrawania i chropowatość powierzchni wykonanego otworu, z uwzględnieniem różnych sposobów chłodzenia i smarowania. Na podstawie uzyskanych wyników badań wiercenia otworu o średnicy $D = 6$ mm w stopie aluminium 7075 sformułowano następujące wnioski:

1. Podczas wiercenia otworów o głębokości nie przekraczającej 3-krotnej wartości średnicy wartość momentu skrawania oraz siły posuwowej utrzymuje się na zbliżonym poziomie.
2. Po przekroczeniu przez skrawające wiertło głębokości otworu równej $3D$ następuje wzrost wartości zarówno momentu skrawania jak i siły osiowej.

3. Zastosowanie wyrzucania wiórów podczas wiercenia otworów powoduje znaczące obniżenie momentu skrawania na głębokości wierzonego otworu powyżej 3D w stosunku do wiercenia bez wyrzucania wiórów.
4. Wprowadzenie wyrzucania wiórów podczas wiercenia wpływa korzystnie na chropowatość powierzchni wierzonego otworu, przy czym ze wzrostem liczby wyrzuceń następuje zmniejszenie chropowatości powierzchni.
5. Zarówno moment skrawania jak i chropowatość powierzchni wierzonego otworu zależą od zastosowanego środka chłodząco - smarującego. Zróznicowanie momentu skrawania jest widoczne na głębokości przekraczającej 3D.
6. Korzystny wpływ minimalnego smarowania (MQL) na moment skrawania oraz chropowatość powierzchni widoczny jest przy zastosowaniu wyrzucania wiórów podczas wiercenia. Należy zatem zalecać stosowanie wyrzucania wiórów szczególnie podczas wiercenia z minimalnym smarowaniem.

LITERATURA

- [1] ADAMSKI W., *Nowe technologie obniżające czas wykonania części integralnych w przemyśle lotniczym*. Mechanik 2, 2015, 489-495.
- [2] BELLUCO W., CHILDS T.H.C., ITOIGAWA F., NAKAMURA T., *Effects and mechanisms in minimal quantity lubrication machining of an aluminum alloys*. Wear 260, 2006, 359 – 364.
- [3] BRAN G., DICIUC V., LAZAR V., LOBONTIU M., *The Influence of the Lubrication Method and the Cutting Regime on the Surface Roughness when Milling 7175 Aluminum Alloy*. Applied Mechanics and Materials 3719, 2013, 28–32.
- [4] COUPARD D., GIROT F, LIST G., NOUARI M., *Experimental study on lubrication mechanism in MQL intermittent cutting process*. Science Direct, Wear 255, 2003, 1359-1368.
- [5] HAMDI M., MITSUI K., THEPSONTHI T., *Investigation into minimal-cutting-fluid application in high-speed milling of hardened steel using carbide mills*. International Journal of Machine Tools & Manufacture 49, 2009, 156–162.
- [6] SREEJITH P.S., *Machining of 6061 aluminium alloy with MQL dry and flooded lubricant conditions*. Science Direct, Materials Letters 62, 2008, 276 – 278.
- [7] ZALESKI K., PAŁKA T., *Wpływ minimalnego smarowania na chropowatość powierzchni stopów magnezu po frezowaniu*. Mechanik 8-9, 2012, 439-446.
- [8] ZALESKI K., PAŁKA T., *Wpływ minimalnego smarowania na moment skrawania podczas frezowania stopów magnezu..* Mechanik 8-9, 2013, 581-588.

Badania realizowane w ramach Projektu "Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym", Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (PO IG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.