

# Wpływ geometrii ostrza płytek Wiper wykonanych z PKD na chropowatość powierzchni po frezowaniu z dużymi prędkościami części lotniczych ze stopów aluminium 7075

The impact of PCD Wiper blade use on surface roughness of the elements of aluminum 7075 alloy in high speed milling

ROBERT OSTROWSKI  
MAREK ZWOLAK  
ROMANA EWA ŚLIWA\*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.12.598

W pracy przedstawiono ideę stosowania płytek skrawających o geometrii Wiper w narzędziach z ostrzami wykonanymi z diamentu polikrystalicznego do procesów wysokowydajnego frezowania czołowego. Zaprezentowano wyniki badań wpływu geometrycznych cech i mechanicznych i strukturalnych właściwości płytki Wiper na efekt frezowania wyrobu ze stopu aluminium 7075 o określonych właściwościach oceniany na podstawie pomiarów chropowatości powierzchni frezowanych próbek w zależności od szybkości posuwu narzędzia. Wykazano celowość doboru cech narzędzia skrawającego do określonych cech mechanicznych i struktury obrabianego elementu.

**SŁOWA KLUCZOWE:** HSM, HSC, płytka Wiper, chropowatość powierzchni, aluminium 7075, PKD

*In the article the idea of using PCD Wiper insert geometry in high speed milling of 7075 aerospace aluminum alloy was presented. The results of research on the influence of geometric characteristics, mechanical and structural properties of Wiper inserts for milling effect a part made of aluminum alloy 7075 with specific properties evaluated based on measurements of surface roughness of milled samples depending on the tool feed speed. It has been shown the advisability of selecting features of a cutting tool to specific mechanical characteristics and structure of the workpiece.*

**KEYWORDS:** HSM, Wiper insert, surface roughness, aluminum 7075, PCD

Pomimo ciągłego wzrostu wykorzystania materiałów kompozytowych w konstrukcjach lotniczych, obróbka stopów metali lekkich, w tym stopów aluminium, stanowi znaczną część produkcji lotniczej. Celem optymalizacji procesów obróbki skrawaniem niezbędne jest stosowanie strategii obróbki szybkościowej i wysokowydajnej. Aby umożliwić skrawanie z dużymi prędkościami, niezbędne jest wykorzystanie narzędzi, które ją umożliwią. Narzędzia skrawające z ostrzami wykonanymi z diamentu polikrystalicznego doskonale nadają się do zastosowania w obróbce wysokowydajnej i szybkościowej pozwalając na znaczne zwiększenie produktywności procesu.

W aplikacjach, gdzie wymaganiem jest niska chropowatość obrobionych powierzchni, przy użyciu typowych rozwiązań przeznaczonych do frezowania czołowego, ograniczeniem czasu zabiegu jest konieczność utrzymania

niskich prędkości posuwu. Zastosowanie płytki typu Wiper może dać podwójną korzyść. Pozwala na zwiększenie prędkości szybkości posuwu z zachowaniem niskiej chropowatości powierzchni oraz uzyskanie niższej chropowatości, niż w przypadku stosowania typowych rozwiązań, bez konieczności zmniejszania szybkości posuwu.

Badania naukowe dowodzą, że zastosowanie narzędzi o ostrzami PKD do obróbki stopów metali nieżelaznych daje możliwość uzyskania niskich chropowatości powierzchni przy zastosowaniu dużych prędkości skrawania [1]. Dowiedziono również zmniejszanie się wartości parametrów chropowatości powierzchni obrobionych narzędziem z płytką Wiper w procesach toczenia [2]. Istnieją również komercyjne rozwiązania tego typu oferowane przez wiodących producentów narzędzi z ostrzami PKD, jednakże niedostępne są publikacje traktujące o ich wpływie na chropowatość frezowanych powierzchni detali ze stopów aluminium.

Podjęte badania wykazują celowość poszukiwania korzystnego rozwiązania problemu, którego celem jest dobranie materiału na ostrza narzędzi oraz zaprojektowanie odpowiedniej jego geometrii, które będzie skutkowało zmniejszeniem wartości parametrów chropowatości po frezowaniu bez zmniejszania prędkości posuwu. [5, 6]

## Generowanie topografii powierzchni w procesie frezowania czołowego

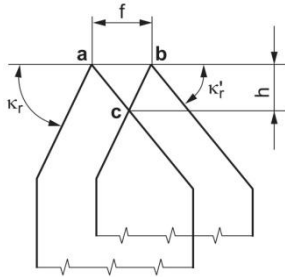
Z punktu widzenia konstrukcji narzędzia, przyjmując aspekt geometryczno-kinematyczny, wymiar parametru chropowatości  $R_z$  powierzchni obrabianych jest efektem odwzorowania działania ostrzy narzędzia skrawającego w warstwie skrawanej. Wysokość ta odpowiada wysokości resztkowego pola przekroju. Decydującymi czynnikami wpływającymi na „idealną” chropowatość powierzchni są czynniki geometryczne, kształt naroża płytki skrawającej, oraz czynnik dynamiczny, wartość posuwu [1]. Pomimo tego, że model ten nie uwzględnia czynników dynamicznych procesu, zużycia ostrzy skrawających czy odkształceń sprężysto-plastycznych, może być z powodzeniem stosowany do określenia przybliżonej teoretycznej chropowatości powierzchni i być wyznacznikiem dla konstruktora w procesie projektowania narzędzia.

### ■ Obliczanie chropowatości teoretycznej $R_{z1}$

Do obliczenia teoretycznej chropowatości powierzchni, uwzględniając aspekt geometryczno-kinematyczny dla frezowania czołowego, rozważa się dwa główne przypadki odwzorowania geometrycznego ostrza narzędzia w warstwie skrawanej: odwzorowanie liniowe i odwzorowanie łukowe.

\* mgr inż. Robert Ostrowski (rostroms@prz.edu.pl), mgr inż. Marek Zwolak (mzwolak@stud.prz.edu.pl), prof. dr hab. inż. Romana Ewa Śliwa (rsliva@prz.edu.pl), – Katedra Przeróbki Plastycznej, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

Odwzorowanie liniowe (rys. 1) stosowane jest dla narzędzia, którego ostrza skrawające posiadają ostre naroże bądź fazę na narożu.

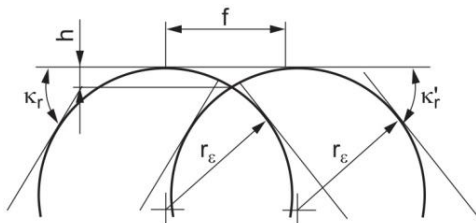


Rys. 1. Model geometryczny przyjęty do odwzorowania liniowego ostrzy skrawających w warstwie skrawanej [3]

Dla przyjętego modelu odwzorowania liniowego, chropowatość teoretyczna zależy od kąta przystawienia narzędzia ( $K_r$ ), pomocniczego kąta przystawienia ( $K_r'$ ) oraz posuwu na ostrze ( $f$ ) i może zostać obliczona zgodnie ze wzorem:

$$R_{zt} = f \frac{\sin K_r \sin K_r'}{\sin(K_r + K_r')} \quad (1)$$

Dla narzędzi, których ostrza posiadają promień naroża, bądź dla narzędzia na okrągłej płytce stosowane jest odwzorowanie łukowe (rys. 2).



Rys. 2. Model geometryczny przyjęty do odwzorowania łukowego ostrzy skrawających w warstwie skrawanej [3]

Chropowatość teoretyczna dla odwzorowania łukowego może zostać obliczona zgodnie ze wzorem:

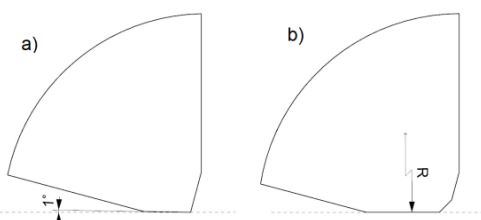
$$R_{zt} = \frac{f^2}{8r_\epsilon} \quad (2)$$

### Wpływ bicia osiowego i promieniowego na chropowatość powierzchni

Efektom występowania bicia osiowego i promieniowego, którym obciążone jest każde narzędzie, jest zmiana kształtu resztkowego pola przekroju warstwy skrawanej. Rezultatem tego jest uzyskanie powierzchni o chropowatości wyższej niż obliczona z modelu teoretycznego.

### Istota płytki Wiper oraz teoretyczny wpływ jej zastosowania

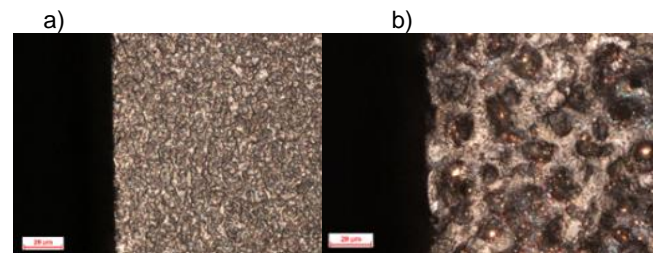
Istotą konstrukcji płytki Wiper jest modyfikacja pomocniczej krawędzi skrawającej (np. rys 3). W porównaniu do typowej geometrii ostrza narzędzia przeznaczonego do frezowania czołowego, płytka Wiper posiada baryłkową pomocniczą krawędź skrawającą o dużym promieniu.



Rys. 3. Poglądowy zarys ostrza typowej płytki skrawającej do frezowania czołowego (a) i płytki Wiper (b)

Ponadto, ostrze płytki Wiper jest ustalone 0.02- 0.05 mm poniżej ostrzy pozostałych płytek narzędzia.

Idea tego rozwiązania jest uzależnienie chropowatości powierzchni obrabianego detalu od tylko jednego ostrza skrawającego, co pozwala na uniknięcie niepożądanego wpływu bicia narzędzia, natomiast przyjmując model odwzorowania łukowego ostrza narzędzia w warstwie skrawanej, dzięki pomocniczej krawędzi skrawającej o dużym promieniu, przesuniętej o wartość posuwu na obrót, otrzymuje się niewielką wysokość resztkowego pola przekroju a w efekcie niższą wartość parametru chropowatości. Podczas projektowania narzędzi w celu uzyskania niskiej chropowatości powierzchni po procesie frezowania oprócz geometrii jest odpowiedni dobór materiałów na ostrza oraz technologii ich kształtowania. Diament polikrystaliczny składa się z diamentowego ziarna związanego w kobaltowej osnowie. W zależności od procentowego udziału diamentu i osnowy oraz wielkości ziarna, kompozyt ten posiada odmienne właściwości mechaniczne [4]. Jednak z punktu widzenia konstrukcji narzędzi skrawających o ostrzami PDK do obróbki wykończeniowej, najważniejszym parametrem kompozytu diamentowego zastosowanego do wykonania ostrzy skrawających jest rozmiar ziarna diamentowego w kompozycie. Wybór gatunku o zbyt dużym ziarnie (przykładowo 20  $\mu\text{m}$ ) może skutkować jego wpływem na chropowatość obrabianych powierzchni. Do aplikacji obróbki wykończeniowej wykorzystywane są drobnoziarniste gatunki PKD pozwalające uzyskać bardzo ostrą krawędź skrawającą bez widocznych nieciągłości oraz niską chropowatość powierzchni przyłożenia.

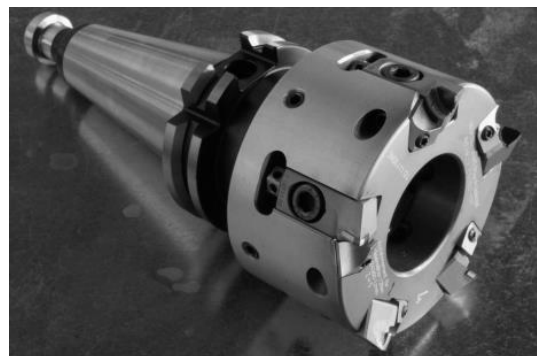


Rys. 4. Zdjęcie powierzchni przyłożenia kompozytów diamentowych w metalicznym spoiwie ukształtowanych w technologii WEDM, (a) ziarno 0.5 do 1  $\mu\text{m}$ , (b) ziarno 2 do 30  $\mu\text{m}$

### Badania doświadczalne

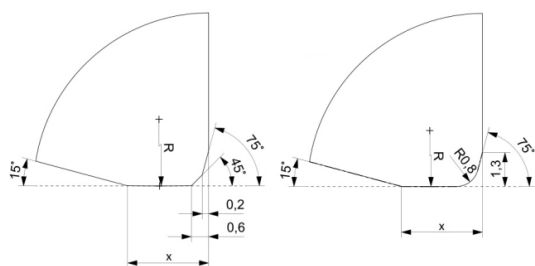
#### Narzędzie

Do przeprowadzenia prób frezowania, użyto pięciostorzowej głowicy frezarskiej (rys. 4) o średnicy nominalnej 80 mm. Narzędzie posiada osiową regulację wysokości wkładek narzędziowych, co umożliwiło wstępną korekcję bicia osiowego ostrzy a następnie ustawienie ostrza płytki Wiper  $\sim 0.03$  mm poniżej pozostałych ostrzy narzędzia.



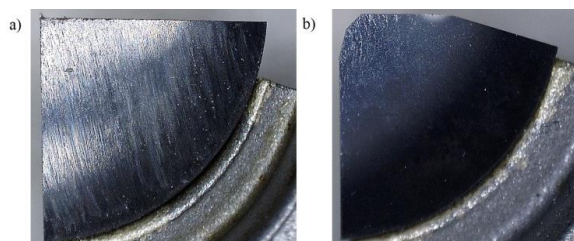
Rys. 5. Głowica frezarska na wymienne wkładki narzędziowe z diamentu polikrystalicznego

Wykonano cztery płytki Wiper o odmiennej geometrii pokazanej na rys. 6.



Rys. 6. Geometria płytek Wiper przygotowanych do przeprowadzenia prób frezowania

Do wykonania wkładek narzędziowych posłużyły oryginalne kasety, z których wylutowano płytki diamentu polikrystalicznego, wlutowano wstępnie ukształtowane metodą WEDM płytki drobnoziarnistego kompozytu diamentowego w osnowie metalicznej (ziarno diamentowe od 0.5 do 1  $\mu\text{m}$ ) i ostatecznie wyszlifowano zaprojektowaną geometrię ostrza (rys. 7).



Rys. 7. Płytki diamentowe przygotowane do modyfikacji geometrii (a), płytki z ukształtowaną geometrią (b)

#### ■ Stanowisko testowe

Próby frezowania przeprowadzono na frezarce CNC Makino PS95. Próbkę w postaci bloku aluminium 7075 wyciętego z płyty walcowanej zamocowano łapami dociskowymi bezpośrednio do stołu obrabiarki (rys. 8).



Rys. 8. Ustawienie próbek podczas przeprowadzania badań doświadczalnych

#### ■ Parametry nastawcze procesu

Próby frezowania przeprowadzono ze stałą prędkością skrawania i trzema różnymi wartościami posuwu na ząb. Parametry przedstawiono w tabeli I.

TABELA I. Parametry nastawcze procesu frezowania

Parametr	Wartość parametru	
Prędkość skrawania	$V_c$	2500 m/min
Obroty	$n$	9947 $\text{min}^{-1}$
Posuw na ząb	$f_z$	0,1 mm/z
		0,15 mm/z
		0,2 mm/z
Głębokość skrawania	$a_p$	0,3 mm
Procent zaangażowania narzędzia		70 %
Szerokość skrawania	$a_e$	56 mm
Typ frezowania		współbieżne

Próby przeprowadzono z zewnętrznym doprowadzeniem chłodziwa.

#### ■ Pomiary wartości parametrów chropowatości powierzchni

Pomiary wartości parametrów chropowatości powierzchni po frezowaniu zostały zmierzone metodą stykową, do czego posłużono się profilometrem MahrMarSurf SD26 oraz metodą bezstykową, mikroskopem 3D AliconaInfinite Focus (rys. 9).



Rys. 9. Skanowanie frezowanej powierzchni próbki na mikroskopie 3D

#### Wyniki badań

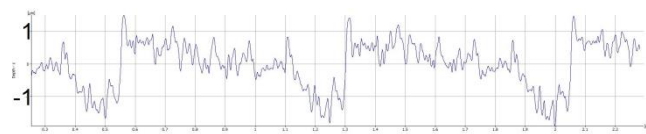
Wyniki pomiarów wartości parametrów chropowatości powierzchni próbek po frezowaniu przedstawiono w tabeli II.

TABELA II. Wyniki pomiarów wartości parametrów chropowatość powierzchni próbek po frezowaniu

Prędkość skrawania	Typ wkładek narzędziowych	Posuw mm/z	Chropowatość powierzchni	
			Ra [ $\mu\text{m}$ ]	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
2500 m/min	Z	0,1	0,547	2,923
		0,15	0,500	3,223
		0,2	0,480	3,027
	A1	0,10	0,237	1,580
		0,15	0,199	1,292
		0,20	0,280	1,580
	A2	0,10	0,187	1,137
		0,15	0,337	1,833
		0,20	0,320	1,763
	B1	0,10	0,190	1,227
		0,15	0,250	1,747
		0,20	0,240	1,563
B2	0,10	0,160	1,093	
	0,15	0,190	1,313	
	0,20	0,200	1,347	

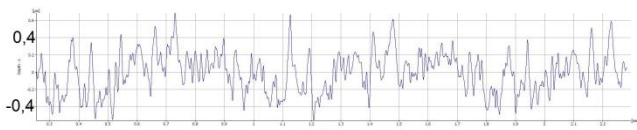
Z analizy wyników pomiarów wartości parametrów chropowatości jednoznacznie wynika, że niezależnie od użytego wariantu płytki Wiper, uzyskana chropowatość powierzchni jest znacznie niższa w porównaniu do chropowatości powierzchni obrobionych narzędziem uzbrojonym jedynie w typowe wkładki do frezowania czołowego. Najniższą chropowatość powierzchni otrzymano z zastosowaniem płytki w wariacie B2.

Analizując profil powierzchni obrobionej narzędziem uzbrojonym jedynie w typowe wkładki do frezowania czołowego (rys. 10) wyraźnie widoczny jest, powtarzający się o wartość posuwu na ząb, układ odwzorowania kolejnych ostrzy narzędzia w materiale obrabianym. Różna głębokość wrębów jest efektem bicia osiowego narzędzia.



Rys. 10. Profil powierzchni obrobionej narzędziem uzbrojonym jedynie w typowe wkładki do frezowania czołowego z posuwem 0,15 mm/z

Profil powierzchni obrobionej narzędziem uzbrojonym w płytkę doglądającą wariant B2 (rys. 11) tak jak w przypadku narzędzia bez płytki Wiper posiada powtarzalny charakter, jednakże posiadający tylko jeden wrób o znacznie niższej amplitudzie. Widoczne jest odwzorowanie pomocniczej krawędzi skrawającej płytki Wiper.



Rys. 11. Fragment profilu powierzchni obrabianej narzędziem uzbrojonym w płytkę doglądającą w wariantcie B2 z posuwem 0,15 mm/z

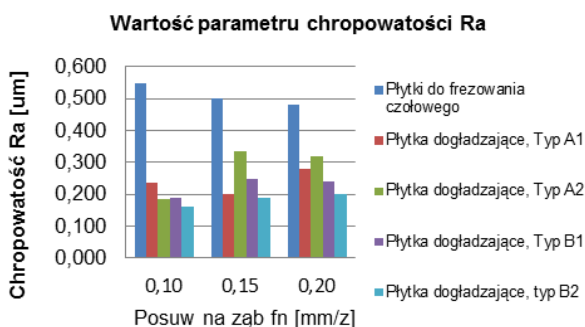
Obliczoną wartość parametru chropowatość teoretyczną powierzchni przedstawiono w tabeli III.

**TABELA III. Obliczona wartość parametru chropowatości teoretyczna**

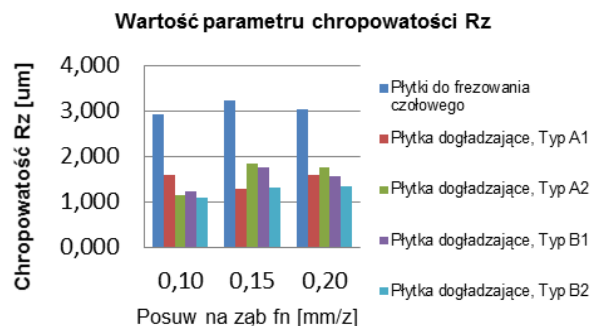
Vc=2500	Z	A1	A2	B1	B2
Posuw na ząb	Rzt				
0,1	1,7	0,3	0,3	0,2	0,2
0,15	2,5	0,7	0,7	0,47	0,47
0,2	3,43	1,25	1,25	0,83	0,83

Obliczeniowe wartości chropowatości teoretycznej wyraźnie wskazują wzrost chropowatości wraz ze wzrostem prędkości posuwu jak również spadek chropowatości teoretycznej w przypadku jej obliczania ze wzoru na odwzorowanie łukowe i przyjętej wartości posuwu równej wartości posuwu na obrót dla płytek Wiper.

Na graficznym przedstawieniu wyników pomiarów chropowatości obrabianych powierzchni (rys. 12, rys. 13) wyraźnie zauważalny jest wzrost chropowatości dla posuwu 0,15 mm/z dla niektórych wariantów uzbrojenia narzędzia. Dla tej prędkości posuwu zanotowano najwyższe wartości chropowatości powierzchni obrabianych narzędziem z płytką Wiper w wariantach A2, i B1. Dla narzędzia uzbrojonego w płytkę A1 dla tej prędkości posuwu uzyskano najniższą chropowatość.



Rys. 12. Graficzne zestawienie wyników pomiarów wartości parametru chropowatości  $R_a$  powierzchni po frezowaniu



Rys. 13. Graficzne zestawienie wyników pomiarów wartości parametru chropowatości  $R_z$  powierzchni po frezowaniu

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania doświadczalne dowodzą, że zastosowanie płytki Wiper w aplikacjach frezowania czołowego z dużymi prędkościami skrawania umożliwia osiągnięcie niższej wartości chropowatości obrabianych powierzchni w zakresie zbadanych parametrów nastawczych procesu. Stosowanie przedstawionego rozwiązania prowadzi do znacznego skrócenia czasu zabiegu przy użyciu typowych wkładek narzędziowych z ostrzami z diamentu polikrystalicznego przeznaczonych do frezowania czołowego i nieporównywalnie większą produktywność w porównaniu z narzędziami na płytce wymiennej z węgla spiekane.

Wartości parametrów chropowatości zmierzone są porównywalne do maksymalnych wartości obliczeniowych. Różnice są efektem występowania bicia osiowego narzędzia (dla narzędzia uzbrojonego w typowe wkładki do frezowania czołowego) oraz czynników dynamicznych występujących w procesie frezowania. Stosowanie formuł matematycznych opisujących odwzorowanie geometryczno-kinematyczne procesu pozwala wstępnie oszacować wartość parametru chropowatości powierzchni po procesie frezowania czołowego.

Interesującym zjawiskiem, wymagającym wyjaśnienia, jest rozrzut wartości chropowatości  $R_a$  i  $R_z$  powierzchni obrabianych z posuwem 0,15 mm/z. Dla tej wartości posuwu zanotowano najwyższe wartości chropowatości powierzchni obrabianych narzędziem z płytkami w wariantach A2 i B1 natomiast najniższe dla narzędzia uzbrojonego w płytkę A1.

## Podziękowanie

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.

## LITERATURA

1. Kuczmaszewski J., Zagórski P., „Badania sił skrawania i ich amplitud podczas frezowania stopów magnezu”. Postępy Nauki i Techniki nr 15 (2012).
2. Stachurski W., Kruszyński B., Midera S., „Influence of Cutting Conditions in Turning with Wiper Type Inserts on Surface Roughness and Cutting Forces”. Mechanics and Mechanical Engineering Vol. 16, No. 1 (2012)
3. Grzesik W., „Podstawy skrawania materiałów konstrukcyjnych”. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2010.
4. Jaworska L., „Diament, otrzymywanie i zastosowanie w obróbce skrawaniem”, Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2007.
5. Śliwa R., Zwolak M., Ostrowski R., „Wpływ geometrii ostrza płytek Wiper wykonanych z PKD na chropowatość powierzchni po frezowaniu z dużymi prędkościami lotniczych stopów aluminium 7075” VIII Seminarium zadań badawczych ZB1, ZB2, ZB5 Projektu kluczowego PKAERO, Uniejów 2015.
6. Śliwa R., Zwolak M., Ostrowski R., „The influence of wiper blade geometry in PCD face milling cutters on aerospace aluminum alloys surface roughness after high speed milling”, 10th AIRTEC International Congress, Monachium 2015.