

Elektroerozyjne kształtowanie ostrzy narzędzi z kompozytów na bazie diamentu polikrystalicznego

Electrodischarge shaping of tool inserts with composites based on polycrystalline diamond

ROBERT OSTROWSKI
MAREK ZWOLAK
STANISŁAW BUSZTA
ROMANA E. ŚLIWA*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.12.597

W pracy przedstawiono wyniki zastosowania technologii kształtowania narzędzi z materiałów super twardych w tym PKD. Zaprezentowano wyniki badań wpływu kąta kształtowania wkładek, parametrów technologicznych obróbki elektroerozyjnej WEDM oraz rodzaju kompozytu na efekt obróbki oceniany na podstawie pomiarów chropowatości powierzchni po obróbce oraz analizy okoliczności występowania zjawisk negatywnych podczas ich kształtowania. Wykazano celowość wykorzystania technologii WEDM w wytwarzaniu narzędzi z PKD.

Słowa kluczowe: PKD, WEDM, Elektroerozja, materiały supertwarde

In this work, the results of technology used to shape ultrahard tool materials was shown. The test results of impact of the angle, technological parameters in WEDM shaping process and PCD grade on a machining effect was presented based on the surface roughness measurement and analysis of circumstances of the occurrence of negative phenomena during the forming process. WEDM technology desirability in the production of PCD tools was proved.

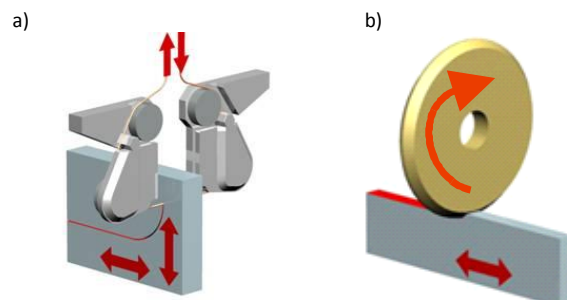
PKD składa się z warstwy polikrystalicznego diamentu na podłożu z węgla spiekane produkowanego, jako jednolity krążek. Diament polikrystaliczny jest używany na ostrza narzędzi do obróbki zaawansowanych materiałów takich jak stopy aluminium i tytanu oraz kompozytów. Dzięki swoim właściwościom mechanicznym PKD zastąpił w tych aplikacjach stosowane dotychczas materiały narzędziowe.

Ze względu na swe parametry – twardość jest materiałem trudnoobrabialnym. Narzędzia o prostych geometriach podawane są procesom szlifowania. Istnieją takie rozwiązania narzędzi o skomplikowanych wewnętrznych kształtach, które nie można wykonać w technologii szlifowania i tutaj szerokie pole do zastosowania ma obróbka laserowa oraz elektroerozyjna ze względu na średnicę elektrody drutowej, jaką możemy zastosować od profilowania.[5]

Spiekanie proszku diamentowego w kobaltowej fazie wiążącej powoduje, że PKD przewodzi prąd, co pozwala na obróbkę elektroerozyjną tego kompozytu. Kompozyt diamentowy PKD znalazł szerokie zastosowanie w wielu aplikacjach obróbki skrawaniem, należy do materiałów super twardych. Jest coraz częściej wykorzystywany do produkcji narzędzi do obróbki metali, stopów nieżelaznych, kompozytów, tworzy sztucznych, ceramiki, materiałów drewnopochodnych oraz

minerałów. Technologie wytwarzania PKD pozwalają uzyskać kompozyt w postaci krążków nie zapewniają jednak możliwości uzyskania skomplikowanych geometrycznie kształtów. Dlatego niezbędne jest stosowanie dodatkowej obróbki kształtującej. Opracowano wiele gatunków kompozytu w celu zapewnienia optymalnej kombinacji właściwości wymaganych przy obróbce różnych materiałów. [1,2,3,6]

Zawartość diamentu, rozkład i wielkość ziaren są starannie kontrolowane, aby zapewnić właściwą równowagę pomiędzy odpornością na ścieranie i udarnością. W PKD ziarna diamentu rzędu 1 – 30 μm są spiekane w obecności katalizatora kobaltowego. Kobalt jest przewodnikiem elektrycznym, co czyni kompozyt diamentowy podatnym na obróbkę elektroerozyjną. W celu ułatwienia wytwarzania narzędzi (lutowania), diament polikrystaliczny jest spiekany bezpośrednio na podłożu z węgla wolframu. Grubość warstwy diamentu wynosi średnio 0,5 mm natomiast węgla od 0,5 do nawet 3mm. [7]. Diament PKD jest dostarczany w postaci cienkich krążków o różnej średnicy lub w postaci gotowych wkładek o określonej geometrii wstępnie ciętych laserem lub WEDM. Jednym z efektywnych sposobów kształtowania narzędzi z diamentu polikrystalicznego jest obróbka elektroerozyjna: EDM, EDG oraz WEDM. Jakość obróbki WEDM (Wire Electrical Discharge Machining) zależy od gatunku PKD, wpływ na nią mają między innymi: pory i integralności struktury szkieletowej kobaltu pomiędzy kryształami diamentu, która tworzy przewodzącą elektrycznie sieć. Produkty o niskiej zawartości kobaltu, dużych kryształach diamentu (> 50 μm) lub o dużym zagęszczeniu kryształów, mogą stwarzać problemy w zakresie wydajności obróbki oraz jakości krawędzi i powierzchni powstałej po procesie obróbki. Na rysunku 1 przedstawiono najpopularniejsze procesy kształtowania materiałów PKD w technologii WEDM oraz EDM lub EDG (Electrical Discharge Machining Elektrical Discharge Grinding)

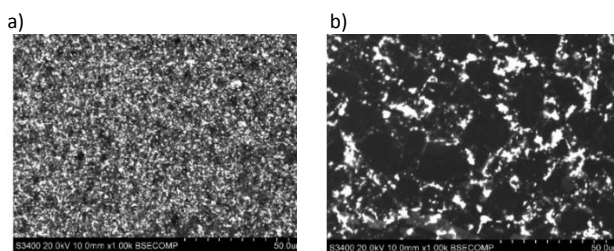


Rys 1 Proces kształtowania ostrzy za pomocą obróbki elektroerozyjnej [1], a) elektrodą drutową WEDM, b) elektrodą obrotową EDG [4]

* mgr inż. Robert Ostrowski (rostrows@prz.edu.pl), prof. dr hab. inż. Romana E. Śliwa (rslwi@prz.edu.pl) – Katedra Przeróbki Plastycznej, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej; mgr inż. Marek Zwolak (mzwolak@stud.prz.edu.pl); inż. Stanisław Buszta – PPUH BRYK

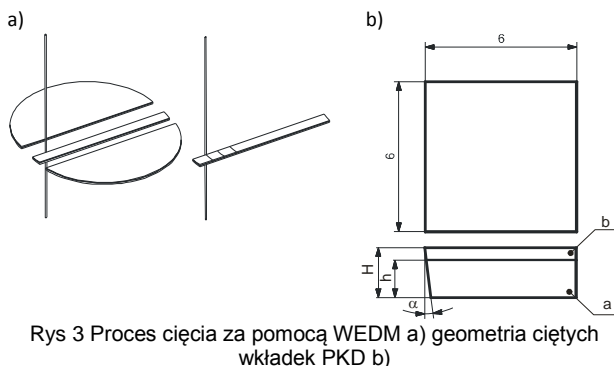
Badania doświadczalne

W artykule przedstawiono wpływ gatunku diamentu oraz rodzaju obróbki WEDM na właściwości powierzchni kompozytu diamentowego po obróbce – uzyskanie parametrów chropowatości powierzchni, promień zaokrąglenia krawędzi skrawającej, występowanie zjawiska negatywnego w postaci krateru pojawiającego się na styku kompozytu z podłożem węglkowym, co osłabia ostrze. Do badania użyto 7 odmian kompozytów diamentowych PKD dwa firmy Element Six w postaci krążków o średnicy 76 mm i grubości 1.6mm oraz 5 gatunków firmy Tigr a o średnicy 52mm i grubość 2mm. Wszystkie wyselekcjonowane kompozyty przeznaczone są do produkcji narzędzi przeznaczonych do obróbki skrawaniem stopów aluminium. Kompozyty różnią się pomiędzy sobą strukturą, składem chemicznym, wielkością i ilością ziaren diamentu (Rys 2).



Rys 2 Mikrostruktura dwóch skrajnie zróżnicowanych gatunków kompozytów diamentowych a) wielkość ziarna poniżej 1µm, b) wielkość ziarna od 2µm do 30µm. [8,9,10]

Z każdego gatunku kompozytu wycięto pasek o szerokości 6 mm, który pocięto pod kątami 7, 13 i 20 stopni. (Rys 3) Dobór kątów cięcia kompozytów diamentowych dobrano w oparciu o przegląd literatury oraz wytyczne czołowych producentów diamentów syntetycznych (ElementSix, Tigr a).



Rys 3 Proces cięcia za pomocą WEDM a) geometria ciętych wkładek PKD b) geometria ciętych wkładek PKD

■ Stanowisko testowe

Próby kształtowania kompozytów diamentowych w osnowie metalicznej przeprowadzono na dwóch różnych elektrodrążarkach: Sodick AQ 327L oraz Makino UPV-5. (Rys. 4) Obydwie drążarki zaopatrzone są w specjalne generatory zawierającą technologię kształtowania kompozytów PKD. Różnicą jest technologia kształtowania – środowisko, w jakim zachodzi proces erozji - dielektryk. W przypadku Makino UPV-5 jest to olej syntetyczny a Sodick woda dejonizowana.

■ Narzędzie

Do przeprowadzenia prób kształtowania została użyta elektroda drutowa PAPS-25HW o podwyższonej wytrzymałości (1050 N/mm²) i większej zawartości cynku (CuZn40), przez co można ją obciążać większym prądem uzyskując wzrost szybkości cięcia do 10% w stosunku do standardowych drutów mosiężnych. Średnica elektrody drutowej od 0.2 mm dla Makino i 0.25 mm dla Sodick.



Rys 4 Stanowisko do kształtowania ostrzy z PKD w technologii WEDM – Makino UPV-5

■ Parametry nastawcze

Kompozyt kształtowano według kilku nastaw generatora. Pierwsze nastawy dotyczą cięcia szybkiego. Cięcie szybkie polega na jednokrotnym przejściu elektrody drutowej przez cięty materiał z maksymalnymi możliwymi parametrami ustawień generatora w celu uzyskania jak największej prędkości cięcia. Kolejne nastawienia to cięcie – kształtowanie dokładne z wyiskrzaniem polegające na kilkukrotnym przejściu elektrody drutowej przez cięty materiał z innymi ustawieniami generatora dla każdego kolejnego przejścia. Przejście pierwsze jest wykonywane przy stosunkowo dużych parametrach generatora i odcina naddatek materiału. Kolejne przejścia kształtują powierzchnię i są wykonywane przy łagodniejszych nastawach generatora, przy czym każde kolejne przejście ma łagodniejsze ustawienia od poprzedniego.

TABLEA I. Średnie czasy cięcia zgrubnego i kształtującego dla kompozytów PKD użytych do badań

Cięcie WEDM	Średnie czasy cięcia poszczególnych kompozytów PKD						
	CMX	CTM	FX	MX	CX	MU	CU
1	1,37	2,2	1,31	1,36	1,35	1,37	1,36
2	8	13,08	7,22	7,22	7,17	7,28	7,29

■ Pomiar parametrów chropowatości powierzchni

Dla każdej z próbek wykonano zdjęcia oraz pomiar parametrów chropowatości powierzchni kompozytów diamentowych po obróbce metodą WEDM, dodatkowo wykonano zdjęcia krawędzi ostrza kompozytu powstałego po cięciu pod kątem w celu zmierzenia kąta cięcia i średniego promienia ostrza powstałego w wyniku procesu kształtowania. Do wykonania zdjęć i pomiaru chropowatości użyto mikroskopu ALICONA INFINITE FOCUS. (Rys. 5) . Pomiar parametrów powierzchni wykonywany jest poprzez wskazanie obszaru, którego profil ma być wygenerowany. Oprogramowanie oblicza profil uśredniony na podstawie zadanych ilości profili bądź szerokości wskazanego pola (w tym przypadku szerokość pola = 1mm, liczba profili powierzchni uwzględnionych do wyznaczenia profilu średniego ~1150). Pomiarów parametrów geometrycznych obliczonego profilu średniego dokonuje się poprzez wskazanie 2 lub więcej punktów, przez które aproksymowana jest wielkość geometryczna odpowiednia dla użytego narzędzia (linia prosta, łuk, okrąg, kąt [min. 3 punkty dla łuku czy kąta]). Pomiar wysokości stopnia (maksymalnej) odbywa się poprzez wskazanie dwóch zbiorów punktów, przez które aproksymowane są dwie proste równoległe. Wynikiem pomiaru jest zamierzona długość odcinka prostokątnego do wyznaczonych przez oprogramowanie prostych.



Rys. 5 Skanowanie powierzchni i krawędzi wkładek na mikroskopie 3D

Wyniki badań

Wyniki pomiarów parametrów powierzchni oraz krawędzi próbek i głębokości krateru po procesie ich kształtowania WEDM przedstawiono w tabelach i wykresach poniżej.

TABLEA II. Uzyskane wartości parametrów chropowatości Sa kompozytu diamentowego

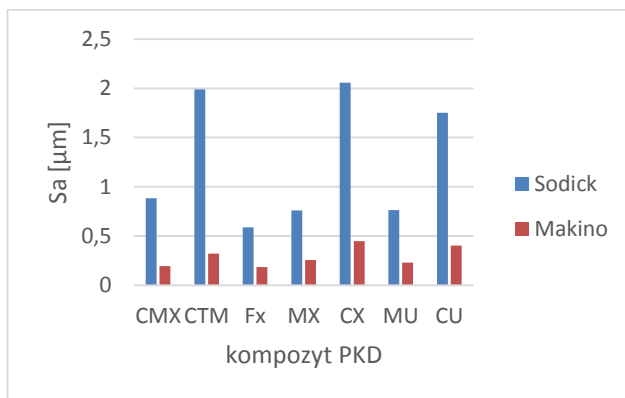
	Parametr chropowatości powierzchni Sa [μm]							
	kąt	CMX	CTM	FX	MX	CX	MU	CU
Sodick	7	0,883	1,988	0,589	0,76	2,056	0,763	1,75
	13	0,529	2,03	0,545	0,652	1,464	0,721	1,393
	20	0,27	1,159	0,658	0,408	1,199	0,467	0,934
Makino	7	0,194	0,32	0,185	0,258	0,447	0,232	0,403
	13	0,174	0,323	0,18	0,272	0,465	0,211	0,4
	20	0,26	0,35	0,189	0,235	0,493	0,222	0,461

TABLEA III. Głębokość krateru podczas kształtowania h [μm]

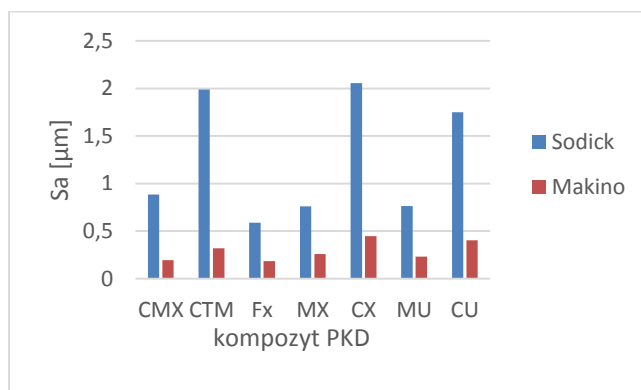
	Głębokość krateru podczas kształtowania [μm]							
	kąt	CMX	CTM	FX	MX	CX	MU	CU
Sodick	7	9,903	37,278	3,543	3,384	5,862	21,618	12,658
	13	5,876	69,838	2,154	1,726	6,404	18,025	8,215
	20	1,146	38,129	2,053	1,267	1,682	9,274	5,734
Makino	7	0,221	2,549	0,501	0,617	1,003	1,149	1,121
	13	0,26	2,517	0,549	0,711	1,161	1,368	0,954
	20	0,242	3,313	0,836	0,752	1,171	1,385	1,291

TABLEA IV Średnie zaokrąglenie krawędzi skrawającej r [μm]

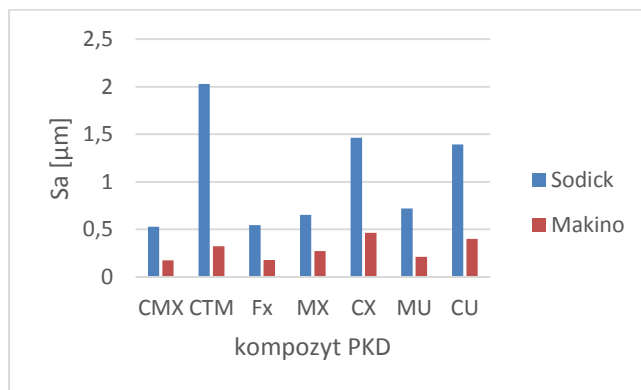
	Średnie zaokrąglenie krawędzi skrawającej r [μm]							
	kąt	CMX	CTM	FX	MX	CX	MU	CU
Sodick	7	8.8557	10.1902	5.8827	6.9248	7.6751	7.6897	8.9284
	13	5.2427	9.5018	7.3242	8.0149	9.2534	12.4934	7.4894
	20	6.5737	8.4228	7.9353	5.0387	6.4211	9.1942	8.5898
Makino	7	9.8461	14.5329	6.2193	10.9482	9.2413	10.3785	7.8009
	13	7.4913	6.5236	9.3966	9.0702	10.3891	9.5743	6.5565
	20	7.5860	6.9125	9.8339	6.7788	9.4693	7.2966	9.6334



Rys. 6. Wykres wartości chropowatości powierzchni kompozytów diamentowych w zależności od gatunku kompozytu diamentowego i technologii kształtowania dla kąta 7 stopni.



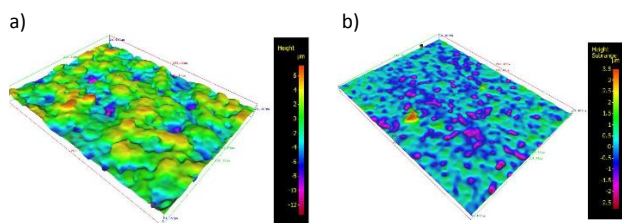
Rys. 7. Wykres wartości chropowatości powierzchni kompozytów diamentowych w zależności od gatunku kompozytu diamentowego i technologii kształtowania dla kąta 13 stopni



Rys. 8. Wykres wartości chropowatości powierzchni kompozytów diamentowych w zależności od gatunku kompozytu diamentowego i technologii kształtowania dla kąta 20 stopni

Wnioski.

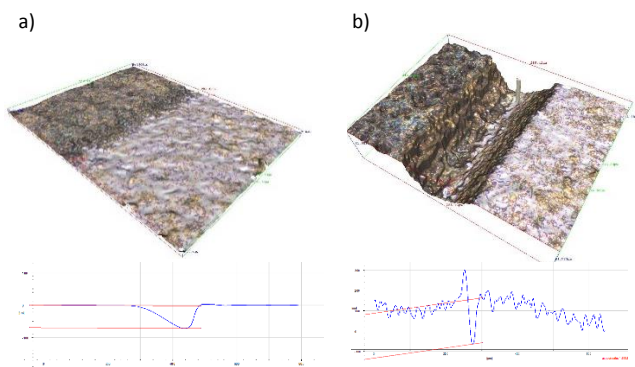
Decydujący wpływ na chropowatość po kształtowaniu ma technologia elektroerozji – generator i środowisko, w którym następuje proces erozji. Zdecydowanie najlepsze parametry chropowatości powierzchni wykonano podczas kształtowania na maszynie Makino UPV-5 w dielektryku – oleju syntetycznym. Drugim decydującym parametrem wpływającym na parametry chropowatości powierzchni po kształtowaniu jest struktura kompozytu – wielkość ziaren diamentu. Kąt cięcia nie ma wpływu na parametry chropowatości. Dla niektórych odmian kompozytów kształtowanych na obrabiarkę SODICK zaobserwowano zmniejszenie chropowatości wraz ze wzrostem kąta pochylenia.



Rys 9 SGP powierzchni PKD po obróbce.

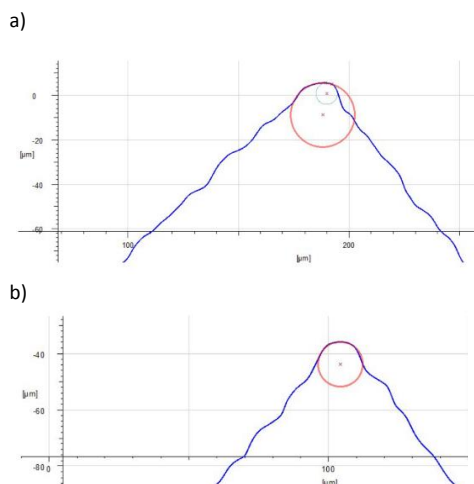
- a) Kompozyt CMX, kąt ostrzenia 7° – obrabiarka Sodick AQ327L, $S_a = 2,056 \mu\text{m}$
 b) Kompozyt CTM, kąt ostrzenia 13° , obrabiarka Makino UPV-5, $S_a = 0,174 \mu\text{m}$

Decydujący wpływ na tworzenie się zjawiska negatywnego polegającego na powstawanie krateru na granicy faz ma technologia kształtowania. Największy krater powstał przy kształtowaniu na maszynie SODICK erodującej w środowisku wody dejonizowanej przy kształtowaniu kompozytu o największych ziarnach diamentu - CTM. Najmniejszy krater powstał przy erozji w środowisku oleju syntetycznego na obrabiarce Makino UPV-5 dla kompozytu drobnoziarnistego CMX i kąta 7 stopni.



Rys. 10. Miejsce styku PKD z podłożem.

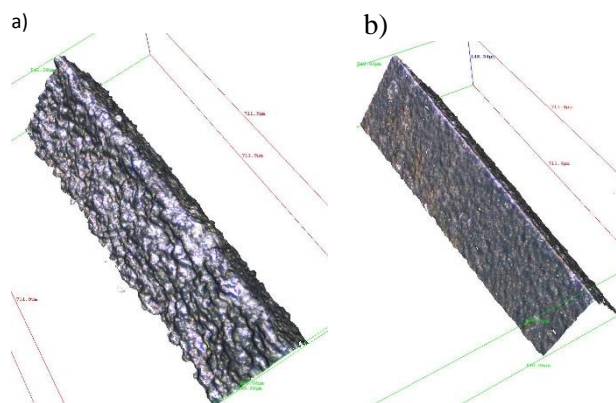
- a) Kompozyt CMX, kąt ostrzenia 7° – obrabiarka Makino UPV-5, głębokość $g = 0,221 \mu\text{m}$,
 b) Kompozyt CTM, kąt ostrzenia 13° , obrabiarka Sodick AQ327L. $g = 69,838 \mu\text{m}$



Rys. 11. Uśredniony profil krawędzi ostrzy PKD – promień zaokrąglenia.

- a) Kompozyt CTM, kąt ostrzenia 7° – obrabiarka Makino UPV-5 promień krawędzi $r = 14.53 \mu\text{m}$,
 b) Kompozyt CMX, kąt ostrzenia 7° , obrabiarka Sodick AQ327L, promień krawędzi $r = 5.04 \mu\text{m}$

Na średni promień krawędzi skrawającej wpływ ma wielkość ziaren diamentu. Technologia kształtowania nie ma wpływu na zaokrąglenie krawędzi kompozytu.



Rys 12. Obraz krawędzi wkładki PKD po skanowaniu a) kompozytu CMT b) kompozytu CMX

Dzięki podjętym badaniom nad procesem elektroerozyjnego kształtowania możemy odpowiednio dobrać kompozyt, geometrię ostrzy oraz technologię ich kształtowania uzyskując tym samym narzędzia spełniające kryteria wymagającego przemysłu lotniczego.

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. Kozak J. Rajurkar K.P., Wang S.Z. *Material Removal in WEDM of PCD Blanks*. ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 116, Nr 3, 1994
2. Element Six Diamond tool materials. *Diamond tool materials for metalworking*. Element Six, 2012.
3. Element Six Giving toolmakers a competitive edge with PCD, PCBN, CVD, diamond and single crystal diamond. www.e6.com. 2013
4. Vollmer seminar 2011
5. Jedraszak. K. New laser system for cutting and shaping industrial diamond. *INDUSTRIAL DIAMOND REVIEW*. 2009, 1
6. Perończyk J. Kozak, J. Pracki, M. Drażenie elektroerozyjne (EDM) kompozytu polikrystalicznego diamentu (PCD). *Inżynieria Maszyn*, s 94--102. Politechnika Warszawska, Instytut Technick Wytwarzania, 2007, Tomy R. 12, z. 1.
7. Jaworska L. *Diament otrzymywanie i zastosowanie w obróbce skrawaniem*. Warszawa : WNT, 2007.
8. Śliwa R, Ostrowski R. „The impact of technology of edge forming tools with diamond composite inserts on roughness of surface Al 7075 aerospace parts in HSM”, 10th AIRTEC International Congress, Monachium 2015.
9. 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.
10. Śliwa R., Ostrowski R. „Elektroerozyjne kształtowanie kompozytów diamentowych na ostrza narzędzi skrawających do obróbki wysokowydajnej stopów Al” VIII Seminarium zadań badawczych ZB1, ZB2, ZB5 Projektu kluczowego PKAERO, Uniejów 2015.