

**ANALIZA SKŁADOWYCH SIŁ SKRAWANIA ORAZ  
CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI  
PODCZAS TOCZENIA WĘGLIKÓW SPIEKANYCH NARZĘDZIAMI  
Z OSTRZAMI DIAMENTOWYMI**

**ANALYSIS OF CUTTING FORCES COMPONENTS AND SURFACE  
ROUGHNESS DURING SINTERED CARBIDES TURNING BY TOOLS  
WITH DIAMOND EDGES**

Robert KOWALCZYK<sup>1</sup>, Wojciech ZĘBALA<sup>1</sup>

*Streszczenie:* Artykuł przedstawia wyniki badań procesu toczenia wałków z węglików spiekanych WC-Co o różnej zawartości kobaltu w strukturze materiału. Do badań wykorzystano płytki skrawające z ostrzami diamentowymi typu MD220 firmy Mitsubishi o trzech różnych promieniach zaokrąglenia ostrza (0,2; 0,4; 0,8 mm).

Głównym celem badań było pokazanie wpływu prędkości skrawania, posuwu i promienia zaokrąglenia ostrza na wartości składowych siły skrawania i jakości powierzchni obrabianej po procesie toczenia wałków węglkowych na długości toczenia 54 mm. Na podstawie analizy zarejestrowanych wartości składowych całkowitej siły skrawania, zauważono, że największe wartości zaobserwowano dla składowej odporowej  $F_p$ , a najmniejsze dla głównej siły skrawania  $F_c$ . Struktury materiału przedmiotu obrabianego zostały zaprezentowane na fotografiach, wykonanych przy pomocy mikroskopu skaningowego. W drugiej części pracy przedstawiono wyniki pomiarów chropowatości powierzchni, wykonanych przy pomocy przenośnego profilografometru Mitutoyo. Zaobserwowano najniższe wartości chropowatości powierzchni po toczeniu ostrzem o największym promieniu zaokrąglenia ostrza.

*Słowa kluczowe:* węgliki spiekane, toczenie WC-Co, płytka skrawająca, ostrze z diamentu polikrystalicznego, zużycie ostrza, siła skrawania, chropowatość powierzchni

*Abstract:* The results of sintered carbides WC-Co turning with different content of cobalt are presented in the work. Particular shafts used for investigation have 25 and 15% Co in their material structure. The inserts with edges made of polycrystalline diamond PCD type of MD220 produced by Mitsubishi company with three different nose radii  $r_e$  (0.2; 0.4; 0.8 mm) were used while the research of sintered carbides turning. The main idea of research was to show influence of cutting speed, feed and nose radius on Th values of cutting force components

---

<sup>1</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii Maszyn i Narzędzi, Kraków, al. Jana Pawła II 37, zebala@mech.pk.edu.pl

and quality surface after a turning process of sintered carbide shafts with the turning length equals 54 mm. The first part of the work presents the characteristics of cutting force components ( $F_f$  – feed force,  $F_p$  - passive force,  $F_c$  - main force) depend on the time of turning process. Based on the analysis of recorded values of cutting forces, it is noticed, the biggest increase is for the passive component of the cutting force  $F_p$  and the smallest for the main cutting  $F_c$ . This kind of increase for particular cutting force components while WC-Co turning process is caused by hardness of work piece materials, which hardness are above 80 HRA. The structures of work piece material are presented on the suitable pictures obtained by use of scanning microscope. The second part of the work presents the results of surface roughness research for particular obtained surfaces using the portable Mitutoyo profilometer. Particular obtained surfaces were measured six times along the turning path. Based on the results, the influence of a nose radius on the surface quality after the turning process was confirmed, the larger nose radius causes the lower value of surface roughness after a turning process. The last part of the work presents the pictures with particular used inserts, which illustrate state before and after machining process.

*Keywords:* sintered carbide, WC-Co turning, cutting insert, polycrystalline diamond edge, cutting edge wear, cutting force, surface roughness

## 1. WPROWADZENIE

Rozwój nowych materiałów narzędziowych (PCD – polikrystaliczny diament, CBN – regularny azotek boru) [1–5] umożliwiają obróbkę skrawaniem materiałów trudno skrawalnych, do których zaliczamy węgliki spiekane WC-x (x-materiał wiążący lub dodatki, np. kobalt) [6–9]. Ograniczeniem zastosowania obróbki wiórowej twardych materiałów jest niewielka trwałość ostrzy skrawających spowodowana właściwościami fizyczno/chemicznymi materiałów narzędziowych przy nieodpowiednio dobranych parametrach skrawania ( $v_c$  – prędkość skrawania,  $f$  - posuw,  $a_p$  – głębokość skrawania) lub geometrii ostrza narzędzia ( $r_\epsilon$  – promień naroża lub kształt płytki) [10–14]. Z tego powodu przeprowadzono badania wpływu parametrów skrawania oraz promienia naroża płytek skrawających na wartości składowych całkowitej siły skrawania ( $F_f$ ,  $F_p$ ,  $F_c$ ) podczas toczenia węglików spiekanych o różnej zawartości kobaltu oraz pomiary chropowatości powierzchni obrobionej (parametr Ra). Wzrost oporów skrawania przyczynia się do zwiększenia zapotrzebowania na energię oraz może spowodować intensyfikację naturalnego zużycia ostrza lub krytycznego zniszczenia płytki skrawającej. Zużycie narzędzia skrawającego powoduje pogorszenie jakości uzyskiwanej powierzchni po procesie obróbki.

W przeprowadzonych badaniach procesowi toczenia poddano wałki węglkowe WC-Co o 25 i 15% zawartości kobaltu Co oraz twardości odpowiednio: 85,4 i 88,2 HRA, z użyciem narzędzi z ostrzami wykonanymi z polikrystalicznego diamentu PCD typu MD220. Polikrystaliczny diament jest jednym z najtwardszych materiałów, ale charakteryzuje się również małą wytrzymałością na kruche pękanie. Dlatego w przypadku obróbki węglików spiekanych narzędziami z PCD wymaga się doboru odpowiednich parametrów skrawania, które zapobiegą gwałtownemu zużyciu ostrza skrawającego poprzez wykruszenia jego części [6–11,15].

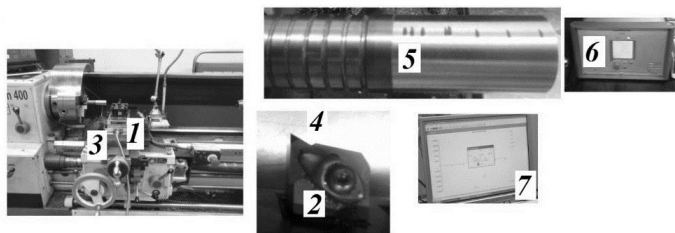
Charakterystyki poszczególnych składowych całkowitej siły skrawania i chropowatości powierzchni ilustrują wpływ zużycia narzędzi skrawających na jakość obróbki węglików spiekanych narzędziami z ostrzami diamentowymi.

## 2. BADANIA

Próby toczenia wałków węglkowych WC-Co wykonano na tokarce precyzyjnej firmy Mitsubishi, (Rys. 1). Stanowisko do badań składowych całkowitej siły skrawania  $F$  zbudowane było na bazie siłomierza piezoelektrycznego Kistler, wzmacniacza ładunku oraz komputera z odpowiednim oprogramowaniem do analizy sił (DynoWare). W badaniach zastosowano trójkątnie jednoostrzowe płytki skrawające o trzech różnych promieniach naroża  $r_c$  (0,2; 0,4; 0,8 mm) [16]. Parametry obróbki ( $v_c$ ,  $f$ ) określone zostały na podstawie wcześniejszych badań procesu toczenia węglków spiekanych WC-Co o różnej zawartości materiału wiążącego (10, 15, 25% Co) narzędziami z ostrzami z PCD [17–18]. Głębokość skrawania  $a_p$  wynosiła 0,2 mm. Poszczególne próby toczenia przeprowadzono dla tej samej drogi skrawania  $l_s = 54$  mm dla obu gatunków węglków spiekanych WC-Co. Wartości zastosowanych parametrów skrawania i promieni naroża przedstawiono w tabelach 1 i 2 (tabela 1 opisuje parametry dla WC-Co o zawartości 25%, tabela 2 opisuje parametry dla WC-Co o zawartości 15%). W tabeli 3 przedstawiono zdjęcia struktur materiałów obrabianych wykonanych przy użyciu mikroskopu skaningowego.

Typy płytek wykorzystanych podczas badań składowych całkowitej siły skrawania [16]:

- TNGA 160402 ( $r_c = 0,2$  mm)
- TNGA 160404 ( $r_c = 0,4$  mm)
- TNGA 160408 ( $r_c = 0,8$  mm).



Rys. 1. Stanowisko do rejestracji składowych całkowitej siły skrawania ( $F_f$ ,  $F_p$ ,  $F_c$ ) podczas toczenia wałków węglkowych WC-Co narzędziami z PCD: 1) tokarka precyzyjna, 2) oprawka, 3) siłomierz piezoelektryczny firmy Kistler, 4) płytka skrawająca, 5) wałek węglkowy, 6) wzmacniacz ładunku, 7) komputer z odpowiednim oprogramowaniem do analizy sił skrawania (DynoWare)

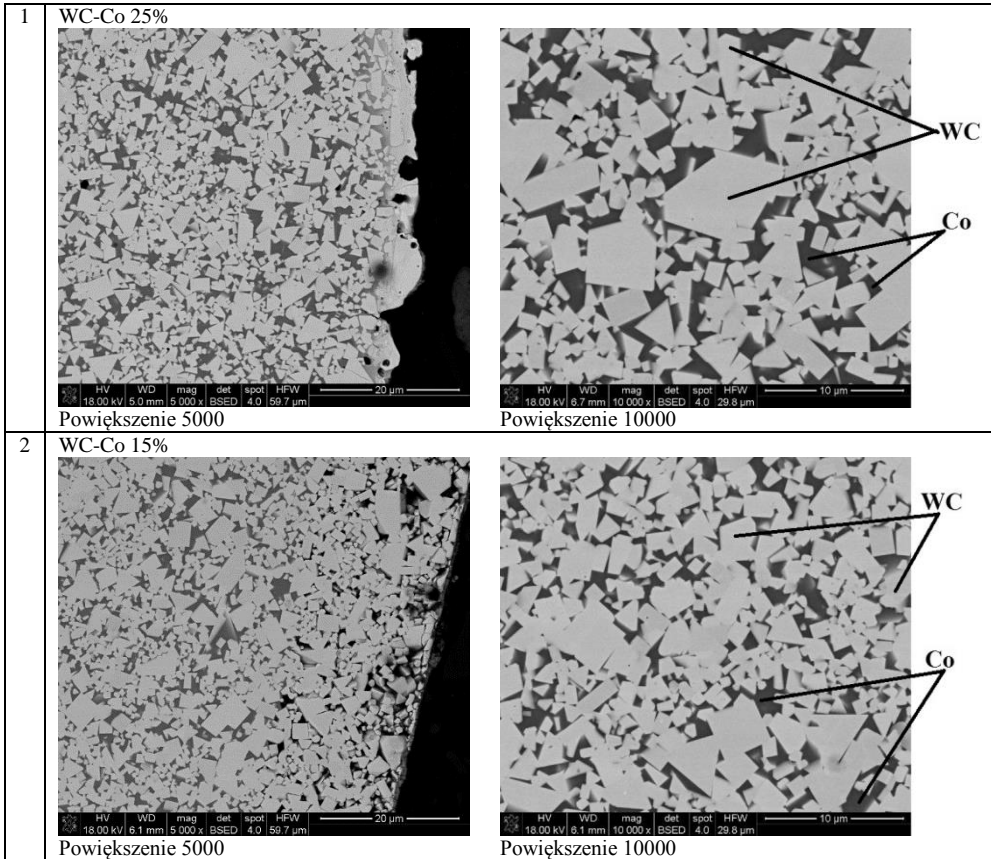
Tabela 1. Wartości parametrów skrawania oraz promieni naroża dla trzech prób toczenia węglków spiekanych o zawartości 25% Co narzędziami z PCD typu MD220

No	$v_c$ [m/min]	$f$ [mm/obr]	$r_c$ [mm]
1	20	0,211	0,2
2	10		0,4
3	15		0,8

Tabela 2. Wartości parametrów skrawania oraz promieni naroża dla trzech prób toczenia węglków spiekanych o zawartości 15% Co narzędziami z PCD typu MD220

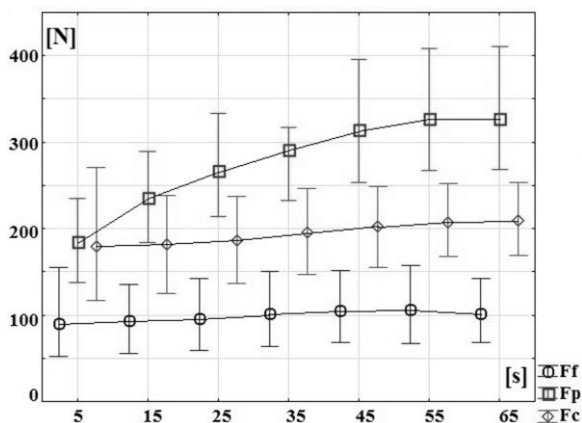
No	$v_c$ [m/min]	$f$ [mm/obr]	$r_c$ [mm]
1	15	0,153	0,2
2	10	0,211	0,4
3	15		0,8

Tabela 3. Zdjęcia struktur materiałów obrabianych (węgliki spiekane o zawartości 15 i 25% Co, struktury od strony obrabianych powierzchni)

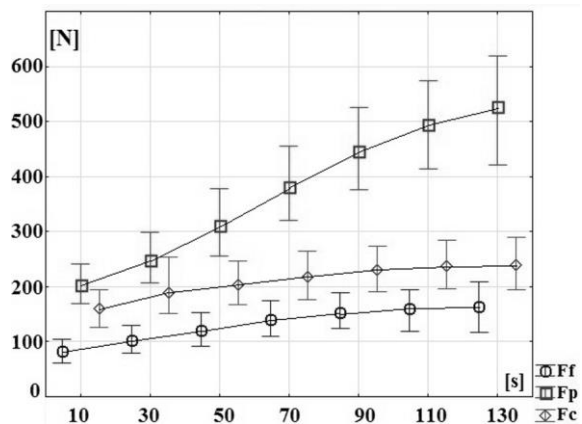


### 3. ANALIZA SIŁ SKRAWANIA PODCZAS TOCZENIA WĘGLIKÓW SPIEKANYCH

Wartości zarejestrowanych składowych całkowitej siły skrawania dla poszczególnych prób toczenia WC-Co przedstawiono na rysunkach 2–7. Wykresy 2–4 przedstawiają rozkład składowych sił skrawania dla wałka węglkowego o zawartości 25% Co. Na wykresach 5–7 przedstawiono wartości składowych sił skrawania dla toczenia wałka węglkowego o zawartości 15% Co. Poszczególne charakterystyki ilustrują przyrosty wartości składowych sił skrawania dla odpowiednich przedziałów czasowych.

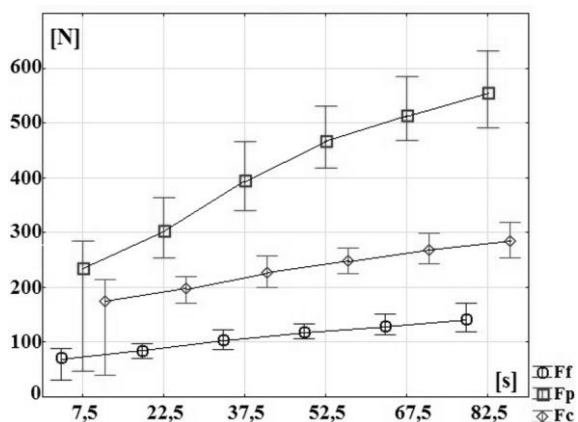


Rys. 2. Zmiany wartości składowych sił skrawania przy toczeniu WC-Co o zawartości 25% Co płytką o promieniu naroża równą 0,2 mm wzdłuż drogi skrawania  $l_s = 54$  mm

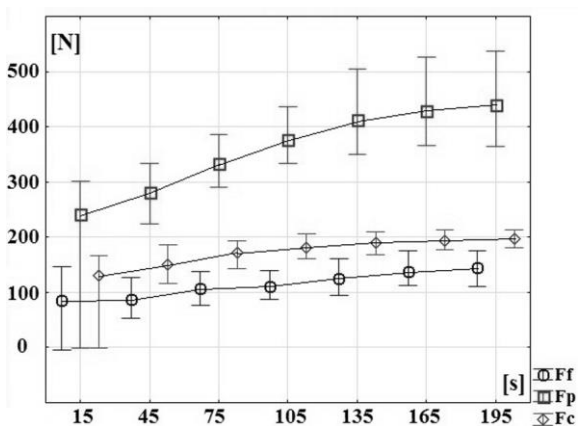


Rys. 3. Zmiany wartości składowych sił skrawania przy toczeniu WC-Co o zawartości 25% Co płytką o promieniu naroża równą 0,4 mm wzdłuż drogi skrawania równej  $l_s = 54$  mm

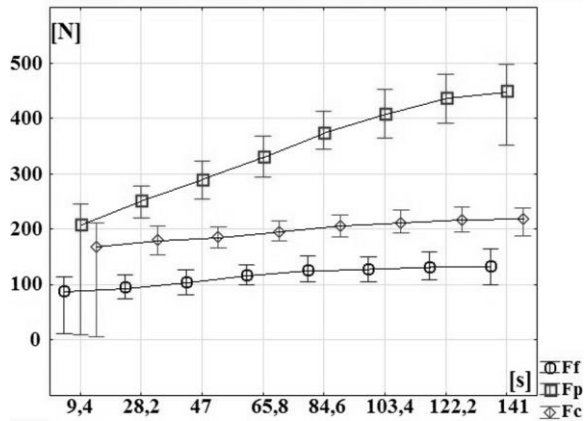
Największy przyrost wartości występuje dla składowej  $F_p$  (siła odporowa), a najmniejszy dla składowej  $F_f$  (siła posuwowa). Przyczyną tego typu rozkład sił skrawania jest wysoka twardość materiałów obrabianych, przekraczająca 80 HRA. Dalsze badania mogą pozwolić na identyfikację naturalnego zużycia płytek skrawających podczas obróbki supertwardych materiałów.



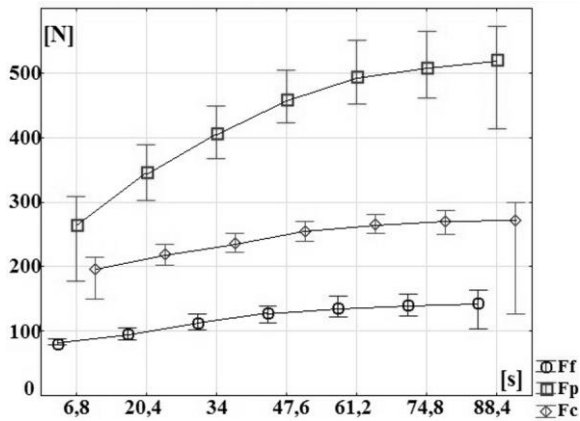
Rys. 4. Zmiany wartości składowych sił skrawania przy toczeniu WC-Co o zawartości 25% Co płytką o promieniu naroża równą 0,8 mm wzdłuż drogi skrawania  $l_s = 54$  mm



Rys. 5. Zmiany wartości składowych sił skrawania przy toczeniu WC-Co o zawartości 15% Co płytką o promieniu naroża równą 0,2 mm wzdłuż drogi skrawania  $l_s = 54$  mm



Rys. 6. Zmiany wartości składowych sił skrawania przy toczeniu WC-Co o zawartości 15% Co płytką o promieniu naroża równą 0,4 mm wzdłuż drogi skrawania  $l_s = 54$  mm



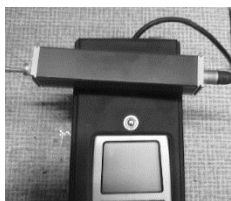
Rys. 7. Zmiany wartości składowych sił skrawania przy toczeniu WC-Co o zawartości 15% Co płytką o promieniu naroża równą 0,8 mm wzdłuż drogi skrawania  $l_s = 54$  mm

#### 4. ANALIZA CHROPOWATOŚCI POWIERZCHNI PO TOCZENIU WĘGLIKÓW SPIEKANYCH O RÓŻNEJ ZAWARTOŚCI MATERIAŁU WIĄŻĄCEGO NARZĘDZIAMI Z OSTRZAMI DIAMENTOWYMI

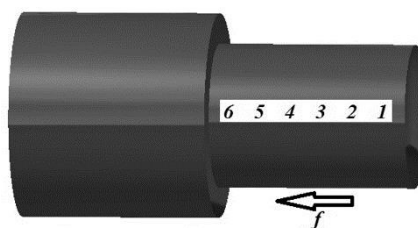
Poszczególne powierzchnie otrzymane po toczeniu zostały poddane pomiarowi chropowatości powierzchni z wykorzystaniem przenośnego profilometru Mitutoyo (Rys. 8). Na każdej powierzchni określono sześć punktów pomiarowych wzdłuż drogi skrawania (Rys. 9). W tabeli 4 przedstawiono wyniki pomiarów parametru  $R_a$  dla powierzchni wałka węglkowego o zawartości 25% Co, natomiast w tabeli 5 wyniki dla wałka węglkowego o zawartości 15% Co.

Analizując wartości zmierzonych chropowatości powierzchni opisanych parametrem  $R_a$  największe wartości uzyskano dla płytek o promieniu naroża  $r_\varepsilon = 0,2$  mm w przypadku obu

materiałów obrabianych, a najmniejsze dla płytek o promieniu naroża równym 0,8 mm. Na podstawie tych wyników, można stwierdzić, że im większy promień naroża tym istnieje możliwość uzyskania lepszej jakości powierzchni po procesie obróbki dla tych samych parametrów skrawania. W tabelach 6–7 przedstawiono równania opisujące w przybliżony sposób zależność chropowatości powierzchni od drogi skrawania (zużycia płytek skrawających) dla poszczególnych powierzchni obrobionych (Tabela 6 - WC-Co 25% Co, tabela 7 - WC-Co 15% Co).



Rys. 8. Profilograf Mitutoyo



Rys. 9. Punkty kontrolne pomiaru chropowatości powierzchni dla poszczególnych prób toczenia WC-Co narzędziami z PCD

Tabela 4. Wartości chropowatości powierzchni, w miejscach punktów kontrolnych wyznaczonych na całkowitej drodze skrawania  $l_s = 54$  mm podczas toczenia WC-Co (25% Co) narzędziami z PCD

No	Ra [ $\mu\text{m}$ ] Powierzchnia I	Ra [ $\mu\text{m}$ ] Powierzchnia II	Ra [ $\mu\text{m}$ ] Powierzchnia III
1	8,32	3,94	1,43
2	8,02	4,05	1,56
3	7,86	3,75	1,67
4	7,97	3,63	1,6
5	7,77	3,53	1,85
6	8,08	3,41	1,78

Tabela 5. Wartości chropowatości powierzchni, w miejscach punktów kontrolnych, wyznaczonych na całkowitej drodze skrawania  $l_s = 54$  mm podczas toczenia WC-Co (15% Co) narzędziami z PCD

No	Ra [ $\mu\text{m}$ ] Powierzchnia I	Ra [ $\mu\text{m}$ ] Powierzchnia II	Ra [ $\mu\text{m}$ ] Powierzchnia III
1	10,58	3,31	1,71
2	10,17	3,08	1,63
3	9,61	2,92	1,81
4	9,28	2,72	2,14
5	9,67	3,06	2,18
6	8,94	3,01	2,25

Tabela 6. Równania opisujące zmienność parametru Ra (y) w funkcji drogi toczenia  $l_s$  (x) dla poszczególnych prób toczenia dla WC-Co 25% Co

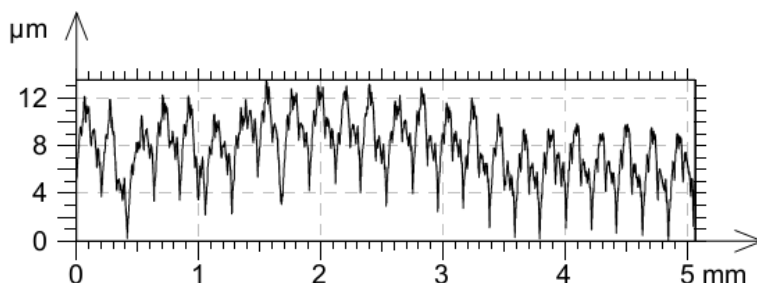
No	Równania opisujące parametr Ra
1	$y = 0,001x^3 + 0,0409x^2 - 0,3815x + 8,6433$
2	$y = 0,0136x^3 - 0,1492x^2 + 0,3515x + 3,75$
3	$y = -0,01x^4 + 0,14x^3 - 0,675x^2 + 1,3679x + 0,6$



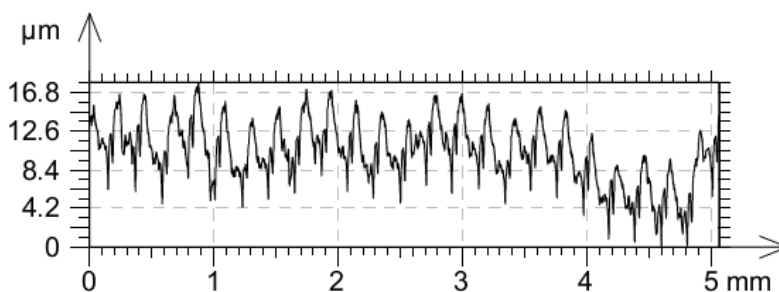
Tabela 7. Równania opisujące zmienność parametru Ra (y) w funkcji drogi toczenia ls (x) dla poszczególnych prób toczenia dla WC-Co 15% Co

No	Równania opisujące parametr Ra powierzchni
1	$y = -0,0462x^4 + 0,6162x^3 - 2,7176x^2 + 4,1813x + 8,5367$
2	$y = -0,0171x^4 + 0,234x^3 - 1,0335x^2 + 1,5412x + 2,5767$
3	$y = 0,009x^4 - 0,1483x^3 + 0,8412x^2 - 1,7259x + 2,7383$

Na rysunkach 10–11 przedstawiono przykładowe profile dla poszczególnych wałków węglkowych wykonane na długości 5 mm przy użyciu profilometru Taylor Hobson.



Rys. 10. Profil chropowości powierzchni wałka węglkowego o zawartości 25% Co dla trzeciej próby toczenia



Rys. 11. Profil chropowości powierzchni wałka węglkowego o zawartości 15% Co dla trzeciej próby toczenia

## 5. FOTOGRAFIE POWIERZCHNI PŁYTEK SKRAWAJĄCYCH

W tabeli 8 przedstawiono fotografie płytek skrawających po toczeniu węglków spiekanych narzędziami z ostrzami z polikrystalicznego diamentu dla różnych wartości parametrów skrawania oraz promieni naroża zgodnie z tabelami 1 oraz 2. Można zaobserwować wyraźne zużycie powierzchni natarcia ostrza oraz powierzchni przyłożenia na zaokrągleniu naroża. Zużycie narzędzi jest adekwatne do przyrostu wartości składowych całkowitej siły skrawania, przedstawionych w rozdziale 3.

Tabela 8. Fotografie płytek skrawających po toczeniu węglików spiekanych WC-Co o różnej zawartości Co narzędziami z ostrzami diamentowymi

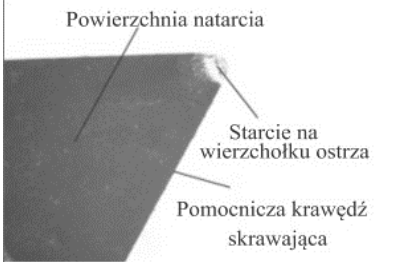
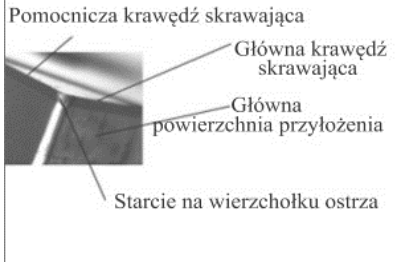
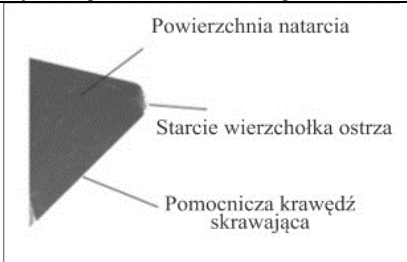
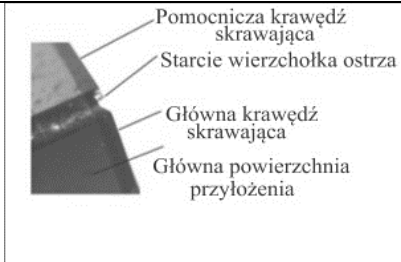
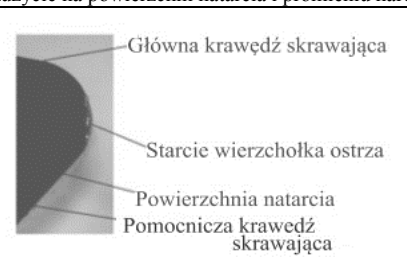
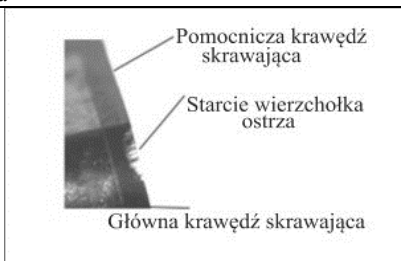
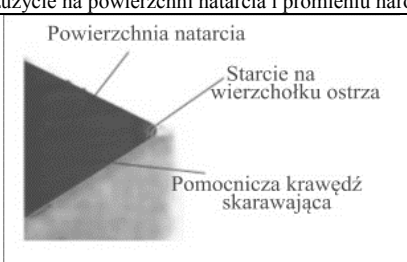
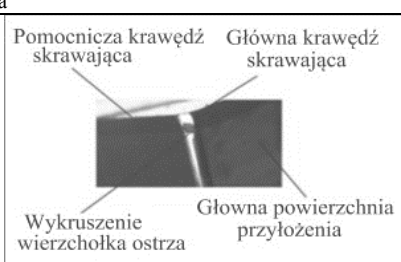
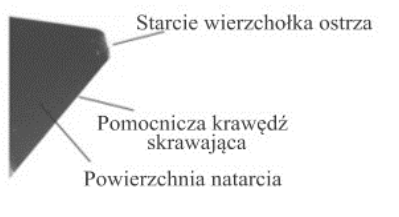
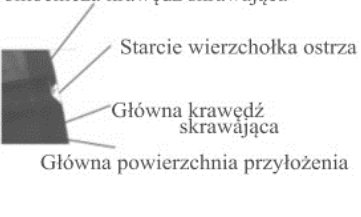
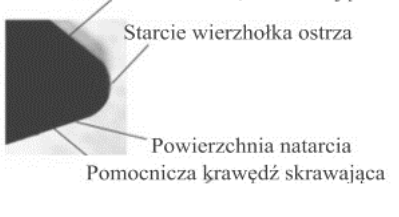
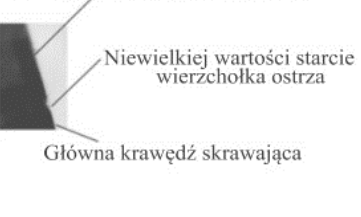
Parametry	Stan płytki od strony powierzchni natarcia	Stan płytki od strony naroża płytki skrawającej
$v_c=20$ m/min $f=0,211$ mm/obr $r_c=0,2$ mm 25% Co	 <p>Powierzchnia natarcia</p> <p>Starcie na wierzchołku ostrza</p> <p>Pomocnicza krawędź skrawająca</p>	 <p>Pomocnicza krawędź skrawająca</p> <p>Główna krawędź skrawająca</p> <p>Główna powierzchnia przyłożenia</p> <p>Starcie na wierzchołku ostrza</p>
Największe zużycie na powierzchni natarcia i promieniu naroża		
$v_c=10$ m/min $f=0,211$ mm/obr $r_c=0,4$ mm 25% Co	 <p>Powierzchnia natarcia</p> <p>Starcie wierzchołka ostrza</p> <p>Pomocnicza krawędź skrawająca</p>	 <p>Pomocnicza krawędź skrawająca</p> <p>Starcie wierzchołka ostrza</p> <p>Główna krawędź skrawająca</p> <p>Główna powierzchnia przyłożenia</p>
Największe zużycie na powierzchni natarcia i promieniu naroża		
$v_c=15$ m/min $f=0,211$ mm/obr $r_c=0,8$ mm 25% Co	 <p>Główna krawędź skrawająca</p> <p>Starcie wierzchołka ostrza</p> <p>Powierzchnia natarcia</p> <p>Pomocnicza krawędź skrawająca</p>	 <p>Pomocnicza krawędź skrawająca</p> <p>Starcie wierzchołka ostrza</p> <p>Główna krawędź skrawająca</p>
Największe zużycie na powierzchni natarcia i promieniu naroża		
$v_c=15$ m/min $f=0,153$ mm/obr $r_c=0,2$ mm 15% Co	 <p>Powierzchnia natarcia</p> <p>Starcie na wierzchołku ostrza</p> <p>Pomocnicza krawędź skrawająca</p>	 <p>Pomocnicza krawędź skrawająca</p> <p>Główna krawędź skrawająca</p> <p>Wykruszenie wierzchołka ostrza</p> <p>Główna powierzchnia przyłożenia</p>
Największe zużycie na powierzchni natarcia i promieniu naroża		

Tabela 8. c.d.

$v_c=10$ m/min $f=0,211$ mm/obr $r_\epsilon=0,4$ mm 15% Co		
Największe zużycie na promieniu naroża		
$v_c=15$ m/min $f=0,211$ mm/obr $r_\epsilon=0,8$ mm 15% Co		
Największe zużycie na promieniu naroża		

## 6. WNIOSKI

Artykuł przedstawia wyniki badań procesu toczenia wałków z węglików spiekanych WC-Co o różnej zawartości kobaltu w strukturze materiału. Do badań wykorzystano płytki skrawające z ostrzami diamentowymi typu MD220 firmy Mitsubishi o trzech różnych promieniach zaokrąglenia (0,2; 0,4; 0,8 mm).

Na podstawie analizy zarejestrowanych wartości składowych całkowitej siły skrawania, największe wartości zaobserwowano dla składowej odporowej  $F_p$ , a najmniejsze dla głównej siły skrawania  $F_c$ .

Największe zużycie występuje w otoczeniu głównej krawędzi skrawającej, promieniu naroża i powierzchni natarcia. Wielkość zmian uzależniona jest od zastosowanych parametrów skrawania dla poszczególnych prób badawczych. Wzrost prędkości skrawania powoduje zmniejszenie się zużycia ostrza płytki dla stałej głębokości i posuwu. W przypadku stałej wartości prędkości skrawania zmiana posuwu powoduje niewielką różnicę w wielkości zużycia ostrzy skrawających.

Podczas badań stwierdzono również istotny wpływ wielkości promienia naroża na wartość parametru Ra.

## LITERATURA

- [1] FRATILA D., *Sustainable Manufacturing Through Environmentally-Friendly Machining in Machining in Green Manufacturing Process an Systems Materials Forming*. W: Machining and Tribology, 2013. 1-21.
- [2] NEWMAN S.T., NASSEHI A., IMANI-ASRAI R., DHOKIA V., *Energy efficient process planning for CNC machining*. W: CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 5(2), 2012, 127-136.
- [3] LOPEZ De LACALLE L.N., LAMIKIZ A., FERNANDEZ De LARRINOVA J., *Advanced Cutting Tools in Machining of Hard Material*, Springer, 2011, 33-85.

- [4] KLOCKE F., *Cutting Tool Materials and Tools in Manufacturing Proces*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2011, 95-196.
- [5] BYRNE G., DORNFELD D., DENKENA B., *Advancing Cutting Technology*. W: CIRP Annals – Manufacturing Technology 52(2), 2003, 483-507.
- [6] GRZESIK W., *Machining of Hard Materials in Machining Fundamental and Recent Advanced*, Springer, 2008, 97-126.
- [7] ASTAKHOV V.P., *Machining of Hard Materials – Definition and Industrial Applications in Machining of Hard Materials*, Springer, 2011, 1-32.
- [8] ALMEIDA F.A., FERNANDES A.J.S., SILVA R.F., OLIVEIRA F.J., *Semi-orthogonal turning of hardmetal with CVD diamond and PCD inserts at different cutting angles*. W: Vacuum 83, 2009, 1215-1223.
- [9] HEO S.J., *Environmentally conscious hard turning of cemented carbide materials on the basis of micro-cutting in SEM (2<sup>nd</sup> report): stress turning with three kinds of cutting tools*. W: Journal of Mechanical Science and Technology 23, 2009, 1959-1966.
- [10] JAWORSKA L.: *Diamant, otrzymywanie i zastosowanie w obróbce skrawaniem*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2007.
- [11] HARONO K., SATOH T., SUMIYA H.: *Cutting performance of nano-polycrystalline diamond*, W: Diamond and Related Materials 24, 2012, 78-82.
- [12] JACKSON M.J., AHMED W., *Machining of Brittle Materials Using Nanostructured Diamond Tools in Machining and Nanomaterials*, Springer, 2009, 1-30.
- [13] NAKAYAMA K., ARAI M., KANDA T., *Machining Characteristics of Hard materials*. W: CIRP Annals – Manufacturing Technology 37(1), 1988, 89-92.
- [14] KLOCKE F., *Manufacturing Technology – Hard Turning – Hard Roller Burnishing* at www.wzl.rwth-aachen.de.
- [15] KLOCKE F., *Tool Life Behaviour in Manufacturing Process*, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 2011, 237-300.
- [16] Catalogue Mitsubishi of inserts for machining sintered carbides.
- [17] ZĘBALA W., KOWALCZYK R., *Badania procesu toczenia węglików spiekanych narzędziami z PCD*, Instytut Zawansowanych Technologii Wytwarzania, Kraków, 2013, 315-326.
- [18] ZĘBALA W., KOWALCZYK R., *Cutting Data Influence on Cutting Forces and Surface Finish During Sintered Carbides Turning*. W: Key Engineering Materials 581, 2014, 148-153.
- [19] DANIAVI A., ESKANDARZADE M., TAHMASEBIAN M., *Empirical Modeling of Surface Roughness in turning of 1060 steel using Factorial Design Methodology*. W: Journal of Applied Sciences 7(17), 2007, 2509-2513.
- [20] SHAH S.C., GEROG P.M., *Surface Roughness Modeling in Precision Turning of Aluminium by Polycrystalline Diamond Tool Using Response Surface Methodology*. W: International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 2(5), 2012, 41-45.