



## Struktura i własności powłoki Ti(B,N) uzyskanej na ceramice sialonowej

I. Czaja<sup>a</sup>, M. Staszuk<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Doktorantka Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny,  
Studenckie Koło Naukowe Nanotechnologii i Materiałów Funkcjonalnych  
email: iwonaczaja@o2.pl

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny,  
Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Technologii Procesów  
Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie,  
email: marcin.staszuk@polsl.pl

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono krótką charakterystykę sialonowej ceramiki narzędziowej niepokrytej oraz pokrytej powłoką PVD. Celem pracy było zbadanie struktury i własności powłoki Ti(B,N) uzyskanej na szlifowanym oraz polerowanym podłożu z sialonowej ceramiki narzędziowej oraz ustalenie wpływu rodzaju i chropowatości podłoża na przyczepność powłoki.

**Abstract:** This paper presents characterization of sialon tool ceramics without coatings and with deposited coatings PVD on these materials. The goal of work was a properties Ti(B,N) coatings investigation, which were deposited on grinding and polishing sialon tool ceramics substrate, and a settlement the influence of roughness and kind of substrates on a coating adhesion to substrate.

**Słowa kluczowe:** powłoki PVD, ceramika sialonowa, chropowatość, twardość, scratch test

### 1. WSTĘP

Udział na rynku ceramicznych materiałów narzędziowych jest niewielki, jednak obserwuje się wzrastające zainteresowanie tą grupą materiałów narzędziowych. Charakteryzują się one dużą twardością, wytrzymałością w temperaturze pokojowej oraz w wysokiej temperaturze i odpornością na ścieranie. Ceramiczne narzędzia skrawające najczęściej występują w formie wymiennych płytek wieloostrowych. Wykorzystywane są m.in. w obróbce żeliwa, stopów na bazie niklu i stali utwardzonych. Materiały te znajdują zastosowanie w takich obszarach ze względu na lepsze własności skrawne od węglików spiekanych bez powłok i z powłokami [1,2].

Na rynku już od dawna dostępne są narzędzia do obróbki skrawaniem pokryte powłokami PVD. Przez długi okres czasu pokrywano tylko narzędzia z węglików spiekanych i stali narzędziowych. Długo panował pogląd, że powlekanie powłokami narzędzi ceramicznych nie znajduje uzasadnienia ze względu na ich dużą twardość. Wykazano jednak, że powłoki te

mogą zmniejszać ilość ciepła wytwarzanego podczas procesu skrawania na skutek zmniejszenia tarcia co powoduje zwiększenie trwałości ostrzy ceramicznych [2,3].

Własności użytkowe nanoszonych powłok zależą od ich składu chemicznego, mikrostruktury oraz od własności mechanicznych. Ważne jest również oddziaływanie materiału powłokowego naniesionego na narzędzia skrawające z materiałem obrabianym [3].

Aby powłoka spełniała oczekiwane wymagania należy zapewnić dobrą przyczepność powłoki do podłoża. Ma to duże znaczenie przede wszystkim w przypadku ostrzy skrawających, które pracują przy bardzo dużych naciskach jednostkowych występujących w strefie skrawania. Powłoka nawet o najlepszych własnościach mechanicznych, najkorzystniejszej strukturze i składzie chemicznym staje się bezużyteczna gdy jej przyczepność jest niewystarczająca. Przyczepność powłoki do podłoża zależy od wielu czynników, do których można zaliczyć mikrostrukturę warstwy przejściowej, stan przygotowania podłoża przed naniesieniem powłoki jak i rodzaj podłoża. Również sam przebieg procesu nanoszenia powłok ma znaczenie dla adhezji otrzymanej powłoki [4, 5].

## 2. SIALONOWA CERAMIKA NARZĘDZIOWA

Ceramika narzędziowa zaliczana jest do grupy materiałów narzędziowych otrzymywanych metodami metalurgii proszków [6-9].

Ceramiczne materiały narzędziowe można podzielić na następujące grupy [5]:

- ceramika tlenkowa (tzw. ceramika biała),
- ceramika mieszana (tzw. ceramika czarna),
- ceramika azotkowa (tzw. ceramika szara),
- ceramika wzmacnia whiskerami,
- ceramika sialonowa.

Sialony łączą dużą odporność na czynniki chemiczne w wysokiej temperaturze, którą charakteryzuje się  $Al_2O_3$  oraz dobre własności wytrzymałościowe  $Si_3N_4$  [6].

Nazwa SIALONY określa tworzywa oparte na składzie pierwiastkowym Si - Al - O - N. Do podstawowych materiałów z tej grupy należą [10]:

- $\beta$  – sialony – tworzywa ze strukturą  $\beta - Si_3N_4$  o ogólnym wzorze  $Si_{6-z}Al_zO_zN_{8-z}$ , ( $z = 0 \div 4,2$ ),
- $\alpha$  – sialony – tworzywa o strukturze  $\alpha - Si_3N_4$  o ogólnym wzorze  $Me_x(Si, Al)_{12}(O, N)_{16}$ , gdzie Me to dodatki metaliczne stabilizujące strukturę: itr, wapń, magnez i in.

W skład sialonu jako dogęszczacze dodaje się  $Y_2O_3$  lub MgO. Pozwalają one na obniżenie temperatury spiekania, co korzystnie wpływa na zmniejszenie tendencji do rozrostu ziarn, a to z kolei poprawia własności wytrzymałościowe spieku [6].

Ceramika sialonowa  $\beta$  i  $\alpha$  charakteryzuje się dobrymi własnościami mechanicznymi, do których zaliczamy: wytrzymałość, odporność na pełzanie w wysokiej temperaturze, odporność na wstrząsy cieplne oraz niektórymi własnościami chemicznymi: odporność na korozję tlenową i agresywne środowiska czy stabilność cieplna, która upodabnia sialony do tworzyw tlenkowych [10].

Ceramikę sialonową można otrzymać zasadniczo dwoma metodami [11]:

- jednostopniową, polegającą na reakcyjnym spiekanii zaformowanej mieszaniny azotku krzemu z dodatkiem tlenku i azotku aluminium oraz dodatku spiekającego;
- tradycyjną dwustopniową, która obejmuje najpierw syntezę fazy sialonowej, a następnie formowanie i spiekanie materiału w azocie.

Metoda jednostopniowa posiada zalety wynikające z połączenia w jedną operację procesu syntezy i spiekania, natomiast stopień podstawienia roztworu stałego „z” można regulować składem mieszaniny wyjściowej. Jest to jedyna metoda, którą wytwarza się ceramikę sialonową dostępną na rynku. Jej ograniczenia wynikają z niewielkiej ilości fazy ciekłej, która wytwarza się w wyniku obecności tlenku aluminium w spiekany materiał i zanika w miarę postępu tego procesu. Zagęszczenie materiału w celu uzyskania gęstości teoretycznej wymaga spiekania w szklanych kapsułach pod ciśnieniem izostatycznym. Innym rozwiązaniem jest wprowadzenie dodatku spiekającego (najczęściej  $Y_2O_3$ ), który podczas procesu spiekania stanowi źródło fazy ciekłej. Faza ta powoduje krystalizację z roztworu igłowych ziaren  $\beta$  - sialonu, a podczas studzenia zastyga w postaci szklistej. W technologii reakcyjnego spiekania wymagana jest bardzo precyzyjna kontrola składu chemicznego, a przede wszystkim zawartości tlenu. Spowodowane jest to tym, że nawet niewielki nadmiar tlenu prowadzi do nieuzasadnionego względami technologicznymi wzrostu ilości fazy ciekłej podczas spiekania. Wadą tej metody jest konieczność zastosowania jako głównego materiału wyjściowego azotku krzemu o dużej czystości oraz bardzo drobnym uziarnieniu. Powoduje to zwiększenie kosztów oraz znaczną skurczliwość, która towarzyszy syntezie połączonej ze spiekaniem [11,12].

Narzędzia wykonane z ceramiki sialonowej charakteryzują się bardzo dobrymi własnościami skrawnymi. Ostrza skrawające z sialonów stosowane są do frezowania i toczenia żeliwa, stopów na bazie niklu, stali ulepszonych cieplnie oraz stopów aluminium i tytanu (Rys.1) [4, 13].



Rys. 1. Płytki skrawające wykonane z ceramiki sialonowej [14]

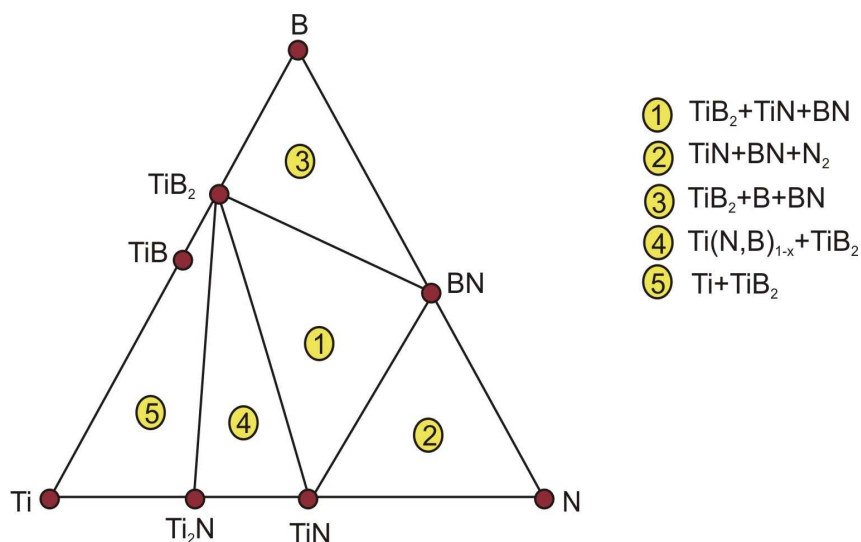
### 3. CHARAKTERYSTYKA POWŁOKI $Ti(B,N)$

Stale rośnie zainteresowanie cienkimi powłokami, które nadają się do pokrywania narzędzi do obróbki skrawaniem na sucho, łączącymi wysoką twardość i niski współczynnik tarcia. Takie wymagania mogą spełniać powłoki  $Ti(B,N)$ , które zawierają twarde fazy  $TiB_2$  oraz  $TiN$ . Dodatkowo może występować miękka faza  $BN$ , która wywołuje efekt samosmarowania. Odpowiedni dobór zawartości tych faz prowadzi do uzyskania samosmarujących i twardych powłok. Możemy wyróżnić trzy rodzaje tych powłok [15]:

- jednorodne wielofazowe powłoki  $Ti(B,N)$  otrzymywane przez reaktywne rozpylanie z wykorzystaniem tarczy  $TiB_2$ ,
- ten sam typ powłok, gdzie implantowane są jony węgla ( $Ti(B,N,C)$ ),

▪ wielofazowe powłoki TiN/h-BN/TiB<sub>2</sub>, gdzie rozpylanie zachodzi z wykorzystaniem tarcz w następującej kolejności Ti, BN i TiB<sub>2</sub> z tą samą zawartością jak w powłokach jednorodnych.

Własności tych powłok zależą do składu, który może zawierać kilka elementarnych lub podwójnych faz. Diagram fazowy powłok Ti(B,N) podzielony jest na pięć różnych stref, w których występują poszczególne fazy w zależności od składu chemicznego (Rys.2). Badania wykazały, że fazy te występują w szerokim zakresie układu równowagi faz [15, 27].



Rys. 2. Prosty diagram fazowy systemu powłok Ti(B,N) [15]

Stężenie boru w powłokach typu Ti(B,N) wpływa na mikrostrukturę tych powłok. Bor wchodzi w skład czterech faz, które występują w powłokach Ti(B,N) mianowicie TiB, TiB<sub>2</sub>, TiN oraz BN. Zakres występowanie poszczególnych faz zależny jest od stężenia B. Wraz ze wzrostem stężenie B w fazie TiB stopniowo przekształca się ona w fazę TiB<sub>2</sub>. Po zaniku TiB wzrasta faza BN kosztem TiN [16].

Duże zainteresowanie jakim cieszą się powłoki Ti(B,N) związane jest z dobrymi własnościami takimi jak wysoka twardość w połączeniu z wysoką ciągliwością, stabilność w wysokiej temperaturze, dobrą odporność na zużycie oraz odporność na korozję [17].

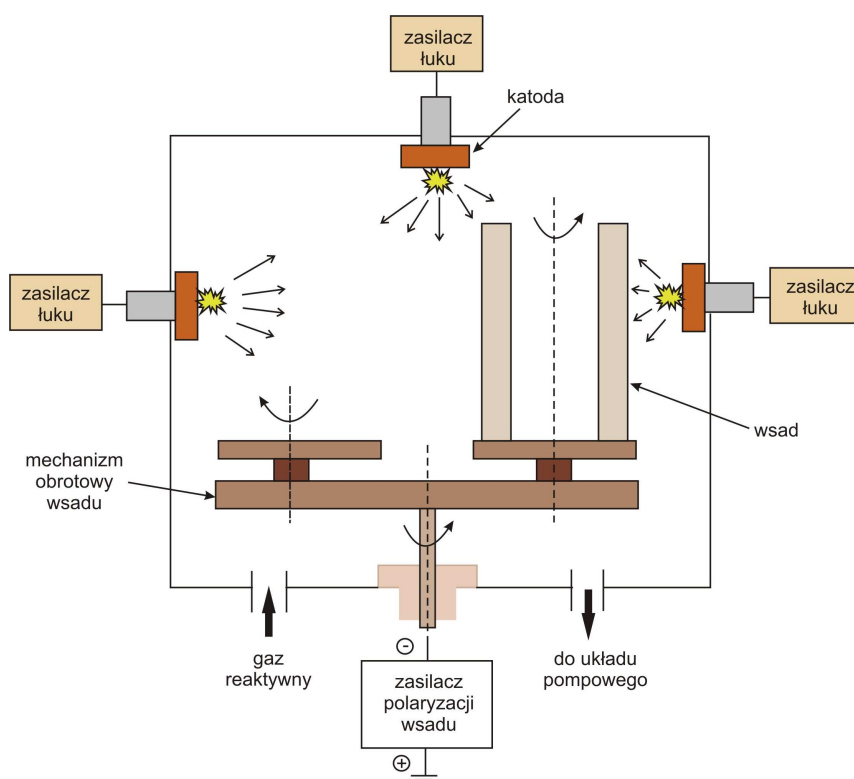
Powłoki Ti(B,N) wykazują znaczny wzrost twardości w porównaniu z powłokami TiN otrzymanymi w tego samego typu procesie. Struktura tych powłok składająca się z krystalicznych faz TiN, TiB oraz TiB<sub>2</sub> charakteryzuje się dobrymi własnościami. Dobre własności mechaniczne powłok Ti(B,N) oraz odporność na korozję sprawiają, że powłoki te znacznie podwyższają okres użytkowania narzędzi nimi pokrytych [18].

#### 4. MATERIAŁ DO BADAŃ

Powłoka Ti(B,N) została naniesiona na podłoże z sialonowej ceramiki narzędziowej przy wykorzystaniu metody katodowego odparowania łukiem elektrycznym (CAE-PVD).

Technologie wykorzystujące proces CAE-PVD (Rys.3) znajdują zastosowanie w dwóch głównych obszarach: do osadzania twardych powłok odpornych na zużycie oraz stosowane są do nanoszenia powłok dekoracyjnych. Metody te pozwalają na szybkie i jednorodne

nanoszenie powłok na dużą powierzchnię o bardzo dobrej adhezji oraz dużej gęstości materiału osadzanego [19, 20].



Rys. 3. Schemat urządzenia wykorzystywanego do nanoszenia powłok metodą reaktywnego odparowania łukiem elektrycznym [19, 21]

Badania wykonano na płytkach wielostrzowych z sialonowej ceramiki narzędziowej pokrytych powłoką Ti(B,N) w procesie katodowego odparowania łukiem elektrycznym (CAE-PVD) w urządzeniu niemieckiej firmy VDT Vakuumtechnik-DREVA ARC 400. Badaną powłokę uzyskano na:

- podłożach szlifowanych o chropowatości  $R_a = 0,13 \div 0,15 \mu\text{m}$ ,
- polerowanych o chropowatości powierzchni  $R_a = 0,06 \mu\text{m}$ .

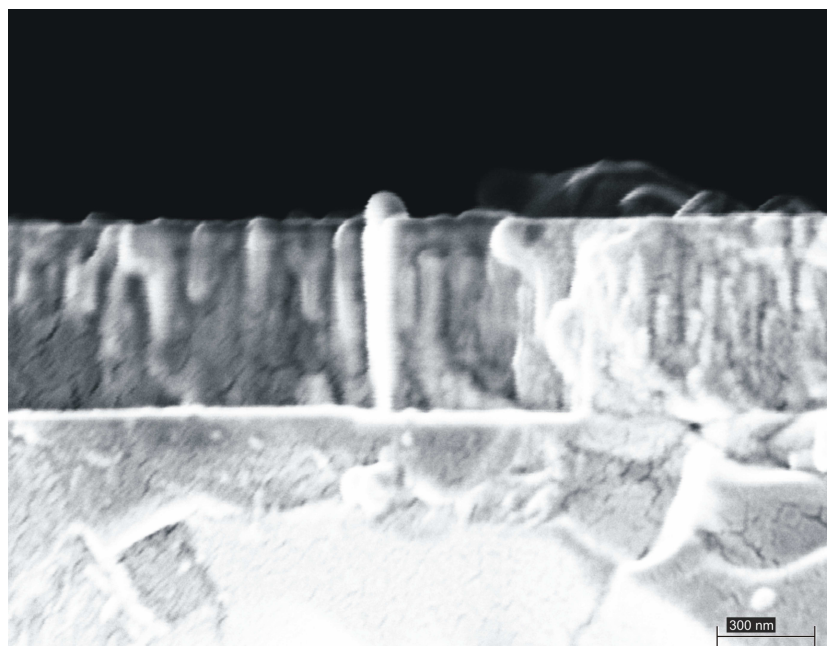
W celu scharakteryzowania powłoki Ti(B,N) naniesionej na podłoże z ceramiki sialonowej wykonano następujące badania:

- obserwacje struktury badanych powłok,
- pomiar grubości powłok,
- pomiar chropowatości,
- pomiar twardości,
- pomiar przyczepności powłoki.

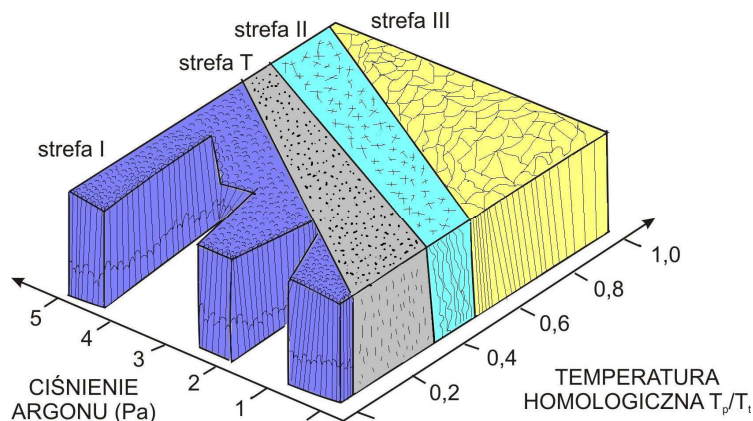
## 5. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Strukturę otrzymanej powłoki Ti(B,N) na sialonowej ceramice narzędziowej można zakwalifikować do strefy II wg modelu Thorntona, która charakteryzuje się ziarnami kolumnowymi oraz występowaniem mikronierówności powierzchni (Rys.4,5). Powodem

uzyskania takiej struktury jest brak możliwości polaryzacji ceramicznego podłoża, co znacznie utrudnia proces osadzania. Efektem braku polaryzacji podłoża jest niższa energia kinetyczna cząstek tworzących powłokę, co powoduje powstawanie grubych ziarn kolumnowych. Na powierzchni otrzymanej powłoki można również zaobserwować odparowane krople, które częściowo zostały wtopione w powłokę. Występowanie zakrzepłych kropli odparowanej tarczy na powierzchni powłoki jest cechą charakterystyczną użytej metody osadzania i stanowi jej wadę.



Rys. 4. Obraz przełomu powłoki Ti(B,N) na podłożu polerowanym z ceramiki sialonowej



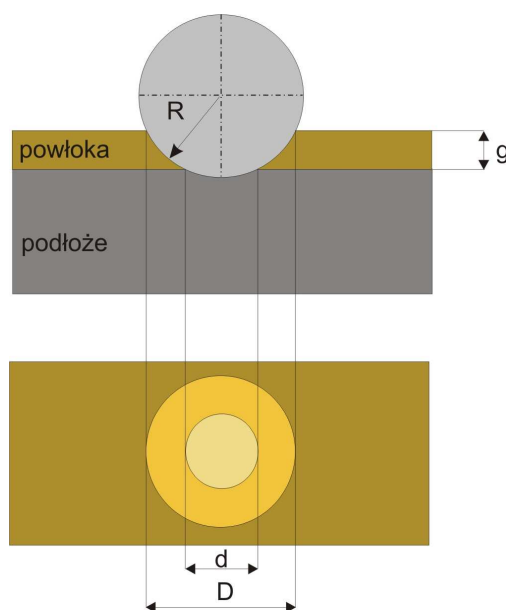
Rys. 5. Model struktury powłok wg J.A. Thorntona [8]



Pomiary grubości powłok dokonano metodą kalotest. Obserwacje przełomów potwierdzają pomiary grubość otrzymanej powłoki Ti(B,N) na podłożach sialonowej ceramiki narzędziowej otrzymanych w metodzie „kalotestu” (Rys.6). Powłoka otrzymana na sialonowej ceramice narzędziowej charakteryzuje się grubością 1,3  $\mu\text{m}$ .

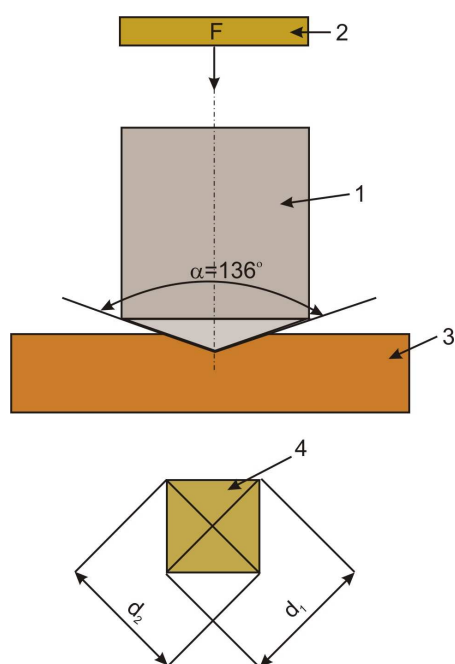
W metodzie „kalotestu” otrzymujemy sferyczny szlif powstały poprzez tarcie przeciwpróbki (kula stalowa) po powierzchni próbki z naniesioną powłoką w stałym punkcie podparcia. W wyniku tarcia usuwany jest materiał z powłoki i podłoża. Silnik za pomocą rolki wprawia w ruch toczącą się kulę, która wyciera na powierzchni ślad o geometrii sfery [22, 26]. Krater wykonany został przy pomocy obracającej się stalowej kulki o średnicy 15 mm. Pomiędzy obracającą się kulą, a próbką została wprowadzona diamentowa zawieszina. Pomiaru charakterystycznych wielkości powstałego wytarcia dokonano na podstawie obserwacji przeprowadzonych w mikroskopie metalograficznym MEF4A Leica. Grubość powłok została wyznaczona na podstawie wzoru:

$$g = \frac{D(D-d)}{4R} 10^3 \quad (2)$$



Rys.6. Wielkości charakterystyczne występujące w metodzie „kalotest” [22]

Metoda Vickersa posłużyła do pomiaru mikrotwardości podłoża z ceramiki sialonowej (Rys.7). Następnie pomiary mikrotwardości powłoki Ti(B,N) naniesionej na podłoże z ceramiki sialonowej wykonano wykorzystując dynamiczną metodę Vickersa. W trakcie tego badania można zaobserwować zmiany odkształcenia plastycznego i sprężystego materiału poddanego badaniu w czasie obciążania i odciążania węgelnika. Dzięki precyzyjnemu układowi pomiarowemu możliwa jest rejestracja głębokości utworzonego odcisku.



Rys.7. Schemat pomiaru mikrotwardości metodą Vickersa: 1 – węgłownik (penetrator), 2 – siła obciążająca, 3 – próbka, 4 – odcisk [23, 24]

W wyniku pomiaru mikrotwardości na badanym podłożu stwierdzono, że po nałożeniu powłoki na podłożu twardość wzrosła. Nałożenie powłoki Ti(B,N) na podłożu z ceramiki sialonowej spowodowało wzrost twardości o ok. 35% (tablica 1).

Tablica 1.  
Wyniki pomiaru twardości

Rodzaj podłoża	Powłoka	Mikrotwardość, HV			odchylenie standardowe	przedział ufności dla $\alpha=0,05$
		wartość minimalna	wartość maksymalna	Średnia arytmetyczna		
ceramika sialonowa	-	1803	2221	2053	141,82	$\pm 148,83$
	Ti(B,N)	2332	3246	2788	430,29	$\pm 451,56$

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów chropowatości na podłożu zauważono, że średnia wartością parametru chropowatości na podłożu szlifowanym z ceramiki sialonowej wynosi  $R_a = 0,13 \mu\text{m}$ . Natomiast w przypadku podłoża, które zostało poddane polerowaniu średni parametr chropowatości wynosi  $R_a = 0,06 \mu\text{m}$ .

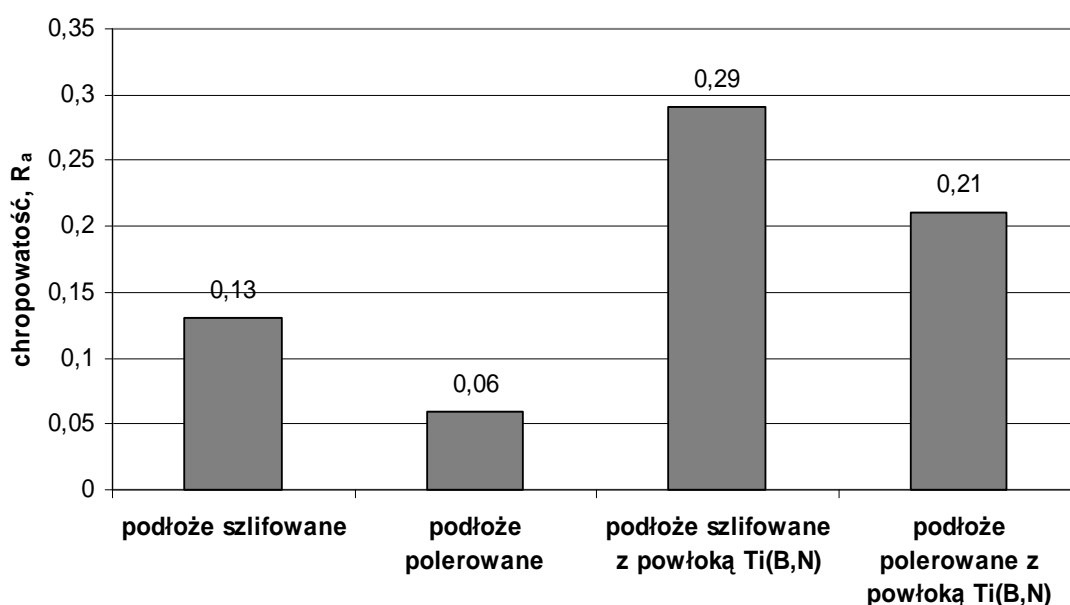
W obu przypadkach po nałożeniu powłoki Ti(B,N) wartość chropowatości powierzchni wzrosła. Dla podłoża szlifowanego chropowatość powierzchni po nałożeniu powłoki Ti(B,N) wzrosła o ok. 123%, natomiast na podłożu polerowanym o ok. 250%.

Stwierdzono, że po nałożeniu powłoki Ti(B,N) na podłożu z ceramiki sialonowej średnia wartość parametru chropowatości  $R_a$  wzrosła o ok.  $0,15 \div 0,16 \mu\text{m}$  (tablica 2, Rys.8).



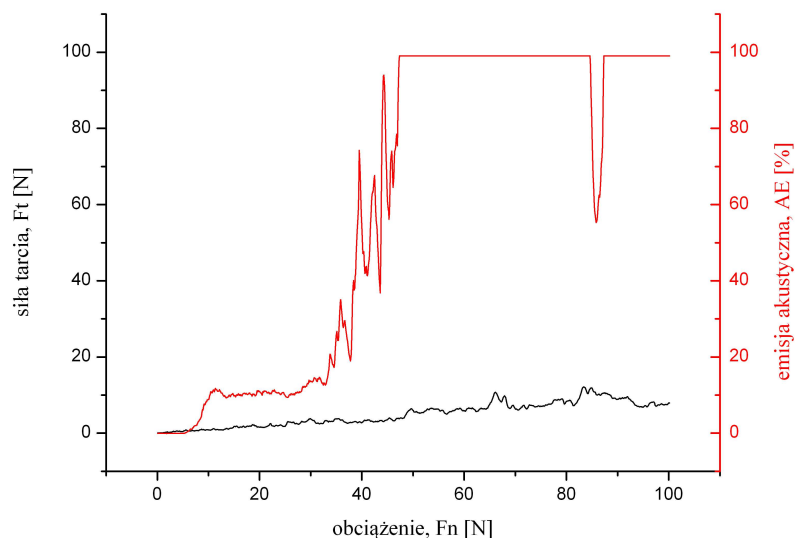
Tablica 2.  
Wyniki pomiaru chropowatości Ra

Rodzaj podłoża	Rodzaj powłoki	Chropowatość, R <sub>a</sub>			odchylnie standardowe	przedział ufności dla α=0,05
		wartość minimalna [μm]	wartość maksymalna [μm]	średnia [μm]		
ceramika sialonowa, szlifowana	-	0,10	0,16	0,13	0,021	±0,022
	Ti(B,N)	0,22	0,44	0,29	0,079	±0,083
ceramika sialonowa, polerowana	-	0,04	0,06	0,06	0,008	±0,008
	Ti(B,N)	0,16	0,28	0,21	0,043	±0,45



Rys.8. Zestawienie pomiarów chropowatości badanych płytek wieloostrzowych niepokrytych i pokrytych powłoką Ti(B,N) na podłożu szlifowanym i polerowanym z ceramiki sialonowej

Badania przyczepności powłoki Ti(B,N) do podłoża polerowanego z ceramiki sialonowej metodą scratch testu wykazały, że przy niewielkim wzroście siły tarcia następuje bardzo gwałtowny wzrost emisji akustycznej (Rys.9). Powłoka bardzo szybko traci przyczepność do podłoża, co świadczy o słabej adhezji. Obserwacje rysy na mikroskopie świetlnym wykazały bardzo znaczny ubytek powłoki przy niewielkiej sile obciążenia (Rys.10). Wyznaczone obciążenie krytyczne dla tej próbki wynosi  $L_c = 10 \text{ N}$  (tablica 3).

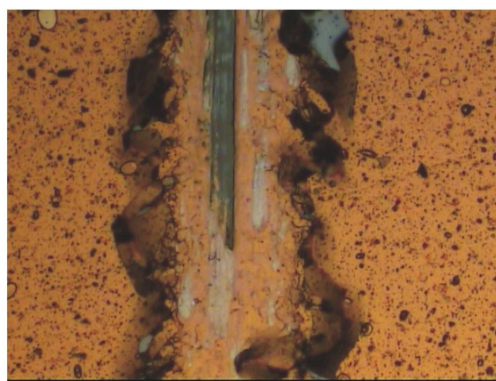


Rys.9. Wykres zależności siły tarcia  $F_t$  i emisji akustycznej AE od obciążenia  $F_n$  w teście zarysowania dla powłoki Ti(B,N) naniesionej na podłoże polerowane z ceramiki sialonowej

a)

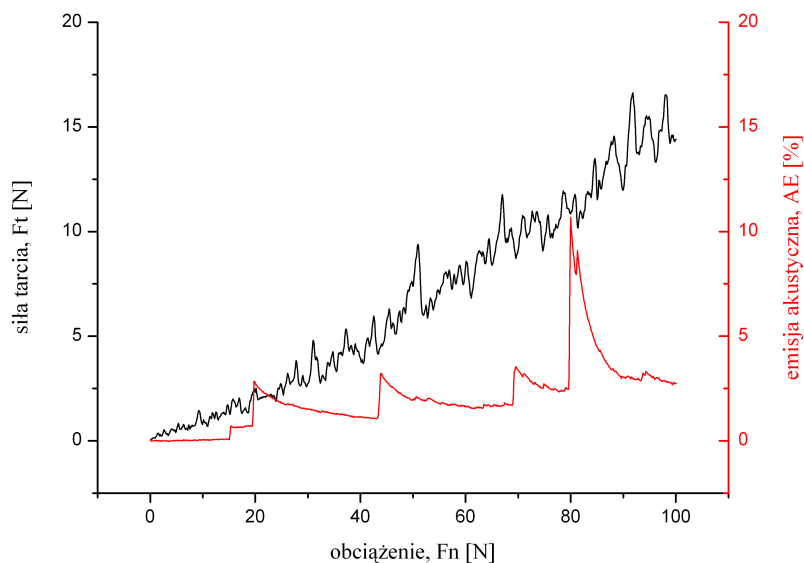


b)

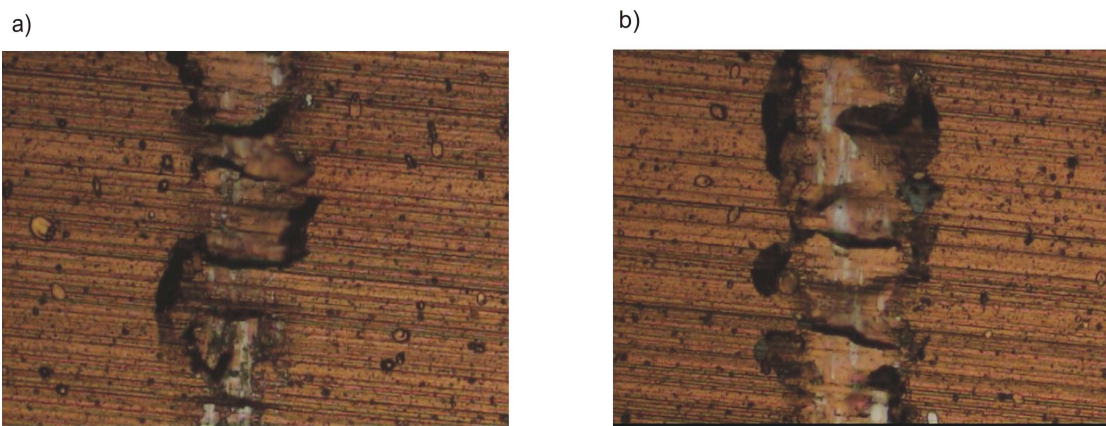


Rys.10. Ślad wgniecenia na powłoce Ti(B,N) naniesionej na podłoże polerowane z ceramiki sialonowej przy obciążeniu a)  $F_n=5\text{N}$ , b)  $F_n=28\text{N}$ , pow. 100x

W przypadku powłoki Ti(B,N) naniesionej na podłoże szlifowane z ceramiki sialonowej zauważyć można bardzo podobne wyniki przeprowadzonych badań jak w przypadku podłoża polerowanego. Przy podobnym wzroście siły tarcia  $F_t$  emisja akustyczna nie przebiega aż tak gwałtownie (Rys.11). Niewielki wzrost obciążenia krytycznego w porównaniu do podłoża polerowanego sugeruje, że stan przygotowanie podłoża w tym przypadku nie ma wpływu na przyczepność uzyskanej powłoki (Rys.12). Wyznaczone obciążenie krytyczne dla tej próbki wynosi  $L_c = 13\text{ N}$  (tablica 3).



Rys.11. Wykres zależności siły tarcia  $F_t$  i emisji akustycznej AE od obciążenia  $F_n$  w teście zarysowania dla powłoki Ti(B,N) naniesionej na podłoże szlifowane z ceramiki sialonowej



Rys.12. Ślad wgłębnika na powłoce Ti(B,N) naniesionej na podłoże szlifowane z ceramiki sialonowej przy obciążeniu a)  $F_n=7N$ , b)  $F_n=13N$ , pow. 100x

Tablica 3.

Wyniki pomiaru obciążenia krytycznego,  $L_c$  [N]

rodzaj podłoża	podłoże szlifowane z powłoką Ti(B,N)	podłoże polerowane z powłoką Ti(B,N)
ceramika sialonowa	13	10

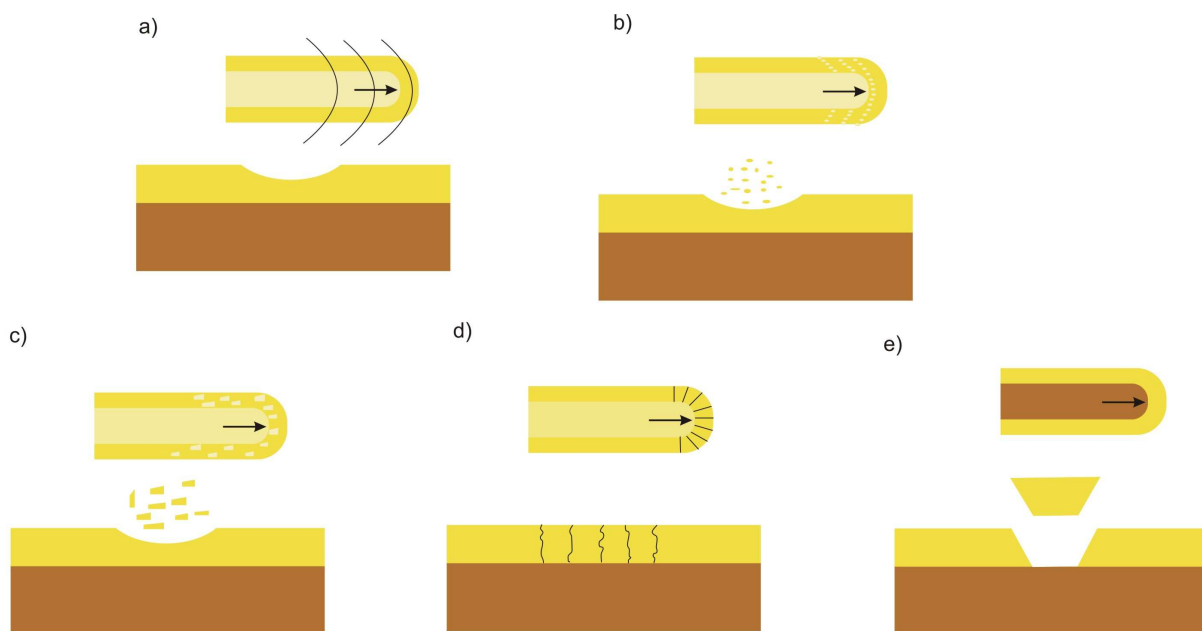
Można wyróżnić kilka różnych mechanizmów i objawów uszkodzenia powłoki (tablica 4, Rys.13). W wyniku obserwacji powstałych rys na mikroskopie świetlnym zaobserwowano uszkodzenia powłoki, które można zakwalifikować jako złuszczenie. Najwyraźniej oderwanie powłoki od podłoża widoczne jest w przypadku ceramiki sialonowej polerowanej. Ponieważ podłoże z ceramiki sialonowej charakteryzuje się dużą twardością powoduje to spiętrzenie materiału wzdłuż powstałej rysy.

Zauważono, że w przypadku uszkodzenia powłoki Ti(B,N) naniesionej na podłoże polerowane z sialonowej ceramiki narzędziowej, po przekroczeniu obciążenia krytycznego  $L_c$  następuje ciągła delaminacja powłoki. Na podłożach szlifowanych obserwuje się oderwanie jedynie kawałków powłoki.

Tablica 4.

Występujące rodzaje uszkodzenia powłoki w wyniku oddziaływania na nie obciążonego węgelnika diamentowego [25]

Rodzaj uszkodzenia	Opis uszkodzenia
wgniecenie	odkształcenie powłoki bez jej ubytku w wyniku wgniecenia jej w podłoże (bez lub ze zmianą jej grubości) z jednoczesnym wygładzeniem powierzchni powłoki na skutek odkształcenia plastycznego wierzchołków chropowatości
zużycie ściernie	stopniowy, bardzo drobny ubytek materiału powłoki z jej powierzchni spowodowany ścieraniem w wyniku zahaczenia się mikronierówności powierzchni współpracujących
wykruszenie	nieciągły i nieregularny ubytek cząstek materiału powłoki z jej powierzchni w wyniku powstania drobnych pęknięć
pęknięcie adhezyjne (dekohezja)	powstanie szczeliny przez całą grubość powłoki bez jej ubytku
łuszczenie	oddzielenie od podłoża cząstek powłoki w kształcie płatków



Rys.13. Objawy uszkodzenia powłok występujące w wyniku oddziaływania na nie obciążonego węgelnika diamentowego: a) wgniecenie, b) zużycie ściernie, c) wykruszenie, d) pęknięcie kohezyjne, e) złuszczenie [5, 25]

## 6. PODSUMOWANIE

Powłoka Ti(B,N), która została naniesiona na podłoża szlifowane oraz polerowane z sialonowej ceramiki narzędziowej wykazuje zbliżone własności bez względu na stan przygotowania podłoża.

Powłoka uzyskana na podłożu z ceramiki sialonowej wykazuje strukturę charakteryzującą się grubymi ziarnami. Wiąże się to z przebiegiem procesu katodowego odparowania łukiem elektrycznym (CAE-PVD) i brakiem w tym przypadku możliwości polaryzacji podłoża podczas procesu osadzania.

Zakrzepłe krople metalu wybite z tarczy podczas nanoszenia powłoki wpływają na wzrost chropowatości powierzchni po osadzeniu powłoki. Stan przygotowania podłoża przed osadzeniem powłoki ma wpływ w sposób znaczący na chropowatość. W przypadku podłoża polerowanego jak i szlifowanego wykazano wzrost chropowatości po nałożeniu powłoki o ok.  $0,15 \div 0,16 \mu\text{m}$ .

W wyniku osadzania powłoki stwierdzono wzrost mikrotwardości. Warstwa Ti(B,N) uzyskana na podłożu z ceramiki sialonowej wykazuje strukturę odpowiednią dla strefy II (T).

Przyczepność powłoki do podłoża z sialonowej ceramiki narzędziowej określono na podstawie metody zarysowania (scratch test). Porównując między sobą podłoża szlifowane i polerowane z ceramiki sialonowej nie stwierdzono znaczących różnic. Wpływ na przyczepność powłoki do podłoża może mieć chropowatość i występowanie zjawiska cienia w trakcie procesu osadzania powłoki.

W przypadku podłoża polerowanego z ceramiki sialonowej na podstawie obserwacji uszkodzeń powłoki stwierdzono jej delaminację po przekroczeniu obciążenia krytycznego. Podczas uszkodzeń na podłożach szlifowanych z ceramiki sialonowej zauważono oderwanie się jedynie fragmentów powłoki od podłoża.

## LITERATURA

1. K. Czechowski, I. Pofelska – Filip, P. Szostek, A. Fedyczyński, J. Kasina, B. Królicka, Wybrane własności i wpływ na trwałość ostrzy warstw twardych naniesionych metodą PVD na płytki skrawające z materiałów ceramicznych, *Inżynieria Materiałowa* 5 (2005) 261 – 264.
2. L.A. Dobrzański, J. Mikuła, M. Sković, Struktura i własności tlenkowej ceramiki narzędziowej  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$  z powłokami PVD i CVD do skrawania na sucho z dużymi prędkościami, *Materials Mechanical and Manufacturing Engineering* 5 (2005) 125 – 132.
3. K. Czechowski, I. Pofelska – Filip, A. Fedaczyński, Powłoki PVD na płytkach skrawających z materiałów ceramicznych, *Inżynieria Powierzchni* 2 (2005) 19 – 24.
4. M. Kupczyk, Identyfikacja uszkodzeń i utraty przyczepności powłok przeciwzużyciowych do ostrzy skrawających w teście adhezji na zarysowanie, *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji* 21(2) (2001) 231 – 251.
5. M. Kupczyk, *Inżynieria powierzchni. Powłoki przeciwzużyciowe na ostrza skrawające*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2004.
6. P. Cichosz, *Narzędzia skrawające*. Wydawnictwo Naukowo - Techniczne, Warszawa 2006.
7. L.A. Dobrzański, *Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo*. Wydawnictwo Naukowo - Techniczne, Gliwice-Warszawa 2006.

8. D. Pakuła, L.A. Dobrzański, W. Kwaśny, Powłoki PVD i CVD Odporne na ścieranie naniesione na ceramikę narzędziową  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , *Materials Mechanical and Manufacturing Engineering* 5 (2005) 115 – 124.
9. M. Wysiecki, *Nowoczesne materiały narzędziowe*. Wydawnictwo Naukowo - Techniczne, Warszawa 1997.
10. J. Lis, E. Ermer, L. Stobierski, D. Zentara, Tworzywa azotkowe otrzymywane z proszków wytwarzanych techniką samorozwijającej się syntezy wysokotemperaturowej (SHS), *Ceramika – Materiały Ogniotrwałe* 2 (2000) 42 – 50.
11. M. Sopicka – Lizer, *Ceramika salonowa – właściwości i perspektywy rozwoju*, *Inżynieria Materiałowa* 3 – 4 (1999) 167 – 175
12. M. Sopicka – Lizer, *Ceramika salonowa w proszku otrzymanego karbotermicznie – fizykochemiczne podstawy wytwarzania i własności*, *Zeszyty Naukowe. Hutnictwo/ Politechnika Śląska* 55 (2000) 12 – 43.
13. M. Wysiecki, *Nowoczesne materiały narzędziowe*. Wydawnictwo Naukowo - Techniczne, Warszawa 1997.
14. [www.ntkcuttingtools.co.uk](http://www.ntkcuttingtools.co.uk)
15. T.P. Mollart, J. Haupt, R. Gilmore, W. Gissler, Tribological behaviour of homogeneous Ti–B–N, Ti–B–N–C and TiN/h-BN/TiB<sub>2</sub> multilayer coatings, *Surface & Coatings Technology* 86 – 87 (1996) 231 – 236.
16. H.Y. Lu, Z.F. Zhou, P. Sit, Y.G. Shen, K.Y. Li, Haydn Chen, X – Ray photoelectron spectroscopy characterization of reactively sputtered Ti-B-N thin films, *Surface & Coatings Technology* 187 (2004) 98 – 105.
17. W. Gissler, P.N. Gibson, Titanium implantation into boron nitride films and ion – beam mixing of titanium – boron nitride multilayers, *Ceramics International* 22 (1996) 335 – 340
18. M.J. Son, S.S. Kang, E.A. Lee, K.H. Kim, Properties of TiBN coatings on the tool steels by PECVD and applications, *Journal of Materials Processing Technology* 130 - 131 (2002) 266 – 271
19. E. Leja, K. Marszałek, T. Pisarkiewicz, Arc technology in materials science, *Inżynieria Materiałowa* 4 (1998) 963 – 968.
20. F.R. Weber, F. Fontaine, M. Scheib, W. Bock, Cathodic arc evaporation of (Ti,Al)N coatings and 9Ti,Al)N/TiN multilayer – coatings – correlation between lifetime of coated cutting tools, structural and mechanical film properties, *Surface & Coatings Technology* 177 – 178 (2004) 227 – 232.
21. P. Kula, *Inżynieria warstwy wierzchniej*. Monografia, Łódź 2000.
22. M. Kupczyk, P. Cieszkowski, P. Libuda, D. Jakrzewski, Opracowanie procedury przygotowanie próbek do precyzyjnych pomiarów grubości cienkich powłok wytwarzanych metodą łukowo – plazmowa, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej. Budowa Maszyn i Zarządzanie Produkcją* 2 (2005) 33 – 41.
23. L.A. Dobrzański, R. Nowosielski, *Metody badań metali i stopów. Badania własności mechanicznych i fizycznych*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1986.
24. J. Marciniak, *Ćwiczenia laboratoryjne z metaloznawstwa*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2001
25. M. Kupczyk, Scratch adhesion testing of superhard coatings, *Advances in Manufacturing Science and Technology* 27(1) (2003) 15 – 25.
26. M. Betiuk, K. Burzyński, J. Michalski, P. Wach, Ujawnienie struktury cienkich warstw i powłok w badaniach metalograficznych za pomocą kulotestera, *Inżynieria Powierzchni* 3 (2007) 70 – 74.
27. L.A. Dobrzański, M. Staszuk, J. Konieczny, W. Kwaśny, M. Pawlyta, Structure of TiBN coatings deposited onto cemented carbides and sialon tool ceramics, *Archives of Materials Science and Engineering* 38(1) (2009) 48 - 54