



Modyfikacja warstwy wierzchniej części roboczych narzędzi

Modification of the cutting tools work faces

KAZIMIERZ CZECHOWSKI
DANIEL TOBOŁA
IWONA WRONSKA
RAFAŁ JAROSZ
MIROSLAW BĄK*

DOI: 10.17814/mechanik.2015.11.523

Przedstawiono wybrane nowoczesne materiały, z których produkuje się narzędzia do obróbki wiórowej i plastycznej na zimno. Omówiono zalety stosowania opracowanej sekwencyjnej metody obróbki nagniataniem i azotowaniem, umożliwiającej poprawę jakości warstwy wierzchniej narzędzi, zwłaszcza przeznaczonych do obróbki plastycznej na zimno. Zaprezentowano w skrócie tendencje w rozwoju powłok i przykładowe wyniki badań dotyczących nanoszenia powłok PVD na części robocze narzędzi.
SŁOWA KLUCZOWE: materiały narzędziowe, nagniatanie, azotowanie, obróbka wiórowa, powłoki PVD

A selection of the up to date tool materials used for cutting and for cold forming tools are presented. Discussed are advantages of application of the tools with working faces suitably modified in the process of consequent burnishing and nitride case hardening, to have the quality of the surface layer of tools, and in particular those intended for cold forming operations improved. Also, briefly discussed are current trends in development of the PVD coatings and results of exemplary tests performed on PVD coats applied on working faces of the tools are presented.
KEYWORDS: tool materials, burnishing, nitriding, machining, PVD-coatings

Coraz większe zapotrzebowanie na wysokiej jakości wyroby wymusza na producentach stosowanie nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych oraz precyzyjnych, wydajnych i opłacalnych sposobów ich obróbki. Wiąże się to z intensywnym rozwojem obrabiarek sterowanych numerycznie oraz narzędzi. Istotną rolę odgrywa poszukiwanie coraz lepszych materiałów narzędziowych, w tym nanoszonych na części robocze narzędzi powłok przeciwozużywczych. Duży wpływ na poprawę jakości użytkowej narzędzi ma rozwój metod obróbki cieplnej, ciepłno-chemicznej i powierzchniowej, w tym zgniotem.

Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania (IZTW) od wielu lat zajmuje się doskonaleniem metod modyfikacji warstwy wierzchniej części roboczych narzędzi i badaniami w tym zakresie, przede wszystkim w aspekcie poprawy właściwości użytkowych narzędzi przeznaczonych do obróbki wiórowej i plastycznej na zimno. W ostatniej dekadzie opracowano m.in. technologię sekwencyjnego nagniatania i azotowania części roboczych narzędzi ze stali narzędziowych, zwłaszcza przeznaczonych do obróbki plastycznej na zimno, a także przeciwozużywcze powłoki PVD, wielowarstwowe i nanostrukturalne, zwiększające trwałość części roboczych narzędzi ze stali narzędziowych szybko tnących, węglików spiekanych i materiałów ceramicznych – głównie do obróbki wiórowej.

Nowoczesne materiały narzędziowe

Narzędzia do obróbki wiórowej i plastycznej na zimno mogą być wykonywane ze stali narzędziowych, węglików spiekanych i materiałów ceramicznych, takich jak cermetale, ceramika, polikrystaliczny azotek boru i polikrystaliczny diament. Spośród tych materiałów najczęściej stosowane są węgliki spiekane (ok. 50% udziału w rynku), a następnie stale narzędziowe (ok. 40%).

Zgodnie z normą PN-EN ISO 4957:2004 **stale narzędziowe** można podzielić według przeznaczenia na:

- do pracy na zimno (niestopowe i stopowe),
- do pracy na gorąco,
- szybko tnące.

Stale narzędziowe powinny się charakteryzować wysoką twardością, odpowiednią hartownością oraz dużą odpornością na zużycie ściernie i odpuszczające działanie w podwyższonych temperaturach. Dalsze wymagania dotyczące stali narzędziowych zależą od przeznaczenia narzędzi. Na możliwości wykorzystania stali do produkcji narzędzi miało wpływ kilka bardzo ważnych osiągnięć, m.in. wprowadzenie metod otrzymywania stali na drodze metalurgii proszków i rozwój powłok, które przeciwdziałając zużyciu części roboczych narzędzi ze stali, wpływają istotnie na podniesienie ich jakości użytkowej. Stale otrzymywane na drodze metalurgii proszków charakteryzują się o wiele bardziej równomierną strukturą w porównaniu z gatunkami konwencjonalnymi, nie występuje w nich segregacja węglików oraz brak jest dużych węglików. Łatwiejsza jest ich obróbka cieplna, charakteryzują się izotropowością w stanie po obróbce cieplnej i mają szereg korzystnych właściwości technologicznych, takich jak dobra szlifowalność i stabilność wymiarowa [1, 2].

Węgliki spiekane składają się z węglików metali trudno-topliwych, przede wszystkim wolframu (WC), ale także tytanu (TiC), tantalum (TaC) i niobu (NbC) o udziale objętościowym 65÷95%, oraz metalu wiążącego, najczęściej kobaltu (Co). Węgliki spiekane wytwarzane są metodami metalurgii proszków. Ich właściwości zależą głównie od składu chemicznego i fazowego oraz od kształtu i wielkości ziaren węglika, a także od udziału objętościowego poszczególnych faz w strukturze.

Węgliki spiekane o mniejszych ziarnach są twardsze i bardziej wytrzymałe na zginanie oraz odporne na kruche pęknięcie. Wielkość ziaren ma istotny wpływ na odporność krawędzi skrawającej na mikrowykruszenia, stąd tendencja w rozwoju węglików do stosowania coraz drobniejszych ziaren. Węgliki spiekane cechuje duża wytrzymałość na działanie wysokiej temperatury; do ok. 1000 °C nie tracą twardości i odporności na zużycie, co umożliwia ich stosowanie do obróbki skrawaniem z dużymi prędkościami. Węgliki spiekane odznaczają się dużą wytrzymałością na ściskanie oraz ścieranie, które

* Dr inż. Kazimierz Czechowski, dr inż. Daniel Toboła, mgr inż. Iwona Wronska, techn. Rafał Jarosz, techn. Mirosław Bąk (ios@ios.krakow.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania

zależą od zawartości Co (im mniejsza, tym lepsze właściwości). Natomiast wraz ze zwiększaniem zawartości Co wzrasta ich wytrzymałość na zginanie.

Zgodnie z ISO 513:2012 można wyróżnić cztery grupy materiałowe zaliczane do węglików spiekanych:

- HW – węgliki niepowlekanie, głównie WC, o wielkości ziarna od 1 μm wzwyż,
- HF – węgliki niepowlekanie, głównie WC, o wielkości ziarna poniżej 1 μm ,
- HT – węgliki niepowlekanie, głównie TiC lub TiN albo obydwa, tzw. cermetale,
- HC – węgliki z naniesioną powłoką.

Właściwości skrawne narzędzi z węglików spiekanych zależą od cech materiału narzędziowego i obrabianego, rodzaju obróbki, geometrii narzędzia oraz rodzaju naniesionej na ostrza powłoki przeciwzużyciowej. Szacuje się, że wśród płytek skrawających z węglików spiekanych 70% stanowią płytki z powłokami nanoszonymi metodami CVD (chemiczną) oraz PVD (fizyczną), z rosnącą przewagą tej drugiej.

Cermetale charakteryzują się dużo niższą niż węgliki spiekane przewodnością cieplną, co jest korzystne w przypadku stosowania ich na ostrza narzędzi do obróbki na sucho, zwłaszcza stali. Ich podstawowe składniki (TiN i TiC) są bardzo odporne na dyfuzję i utlenianie, a ich większa skłonność do pęknięć w porównaniu z węglikami spiekany WC-Co jest minimalizowana poprzez przyjmowanie mniejszych posuwów przy większych prędkościach skrawania [3, 4].

Zgodnie z normą ISO 513:2012 można wyróżnić pięć grup materiałowych zaliczanych do **ceramiki**:

- CA – ceramika tlenkowa, zawierająca głównie Al_2O_3 ,
- CR – ceramika tlenkowa wzmocniona,
- CM – ceramika mieszana na bazie Al_2O_3 , ale zawierająca składniki inne niż tlenki,
- CN – ceramika azotkowa, zawierająca głównie Si_3N_4 ,
- CC – ceramika z naniesioną powłoką.

Ceramika, o twardości HV10 w zakresie 15÷22 GPa, głównie na bazie Al_2O_3 z dodatkiem TiN, TiC i Ti(C,N) oraz niewielkiej ilości ZrO_2 , w tym ceramika mieszana o wielkości ziarna poniżej 0,7 μm i z zawartością TiC powyżej 25%, pozwala na skrawanie materiałów o twardości powyżej 45 HRC z prędkością nawet do 300 m/min. Dodatek ZrO_2 podnosi odporność na kruche pękanie i wytrzymałość na zginanie.

Ceramika tlenkowa wzmocniona włóknami SiC (czyli tzw. whiskerami) o średnicy 0,1÷1 μm i długości 5÷100 μm odznacza się wyższą wytrzymałością i odpornością na różnice temperatur. W związku z tym może być stosowana do obróbki z udziałem cieczy chłodząco-smarujących.

Ceramika azotkowa Si_3N_4 jest bardziej ciągliwa od ceramiki tlenkowej, odznacza się odpornością na kruche pękanie podobną jak węgliki spiekane WC-Co, ale wyższą wytrzymałością i mniejszym współczynnikiem rozszerzalności cieplnej, co powoduje lepszą odporność na gwałtowne zmiany temperatury. Odmianą ceramiki azotkowej jest SiAlON – roztwór stały Al_2O_3 w azotku krzemu. Jest on bardziej odporny chemicznie niż Si_3N_4 , ale mniej odporny na wahania temperatury [5, 6].

Polikrystaliczny diament (PCD) jest bardzo twardy (HV10 powyżej 45 GPa) i utrzymuje właściwości mechaniczne do temperatury 650 °C, a przy tym odznacza się dobrą wytrzymałością na zginanie i przewodnością cieplną. W normie ISO 513:2012 wyróżniono trzy grupy materiałowe diamentu:

- DM – diament monokrystaliczny,
- DD – diament polikrystaliczny bez spoiwa,
- DP – diament polikrystaliczny ze spoiwem.

Ostrza narzędzi z tego materiału są bardzo trwałe i pozwalają na uzyskiwanie wysokiej jakości powierzchni obrabianych. Przeznaczone są głównie do obróbki stopów aluminium, metali kolorowych i materiałów niemetalowych. Możliwe jest stosowanie bardzo wysokich prędkości skrawania (rzędu 900 m/min) [7, 8].

Polikrystaliczny regularny azotek boru (PCBN) charakteryzuje się twardością HV10 w zakresie 27÷40 GPa. Według normy ISO 513:2012 można wyróżnić trzy grupy materiałowe regularnego azotku boru:

- BL – o niskiej zawartości cBN,
- BH – o wysokiej zawartości cBN,
- BC – z naniesioną powłoką.

Jest to materiał najbardziej odpowiedni do obróbki na twardo stopów żelaza i perlitycznego żeliwa szarego. Ze względu na wysoką twardość w podwyższonych temperaturach i stabilność chemiczną może być wykorzystywany w wysokowydajnej obróbce na sucho. Jest przy tym stabilny cieplnie do temperatury 1200 °C. Zawiera zwykle do 70%, a czasem nawet więcej ziaren azotku boru, a jako spoiwo wykorzystuje się w nim fazy metaliczne i ceramiczne (Al_2O_3 , TiC, TiN). Twardością ustępuje tylko diamentowi, natomiast odznacza się lepszą ciągliwością. Wykazuje dobrą odporność chemiczną, ale gorszą niż diament przewodność cieplną, która rośnie wraz z zawartością cBN. Wadą tego materiału narzędziowego jest mała odporność na szoki termiczne i drgania oraz ograniczenia w kształtowaniu geometrii ostrza związane z trudną obróbką ścierną [7÷10].

Sekwencyjna obróbka nagniataniem i azotowaniem

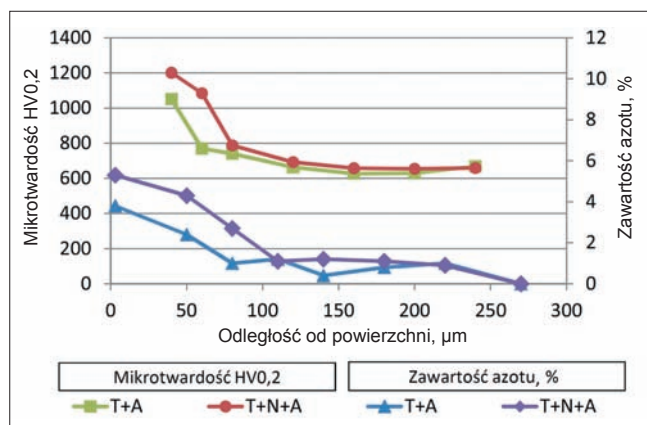
Można poprawić jakość części roboczych narzędzi wykonanych ze stali narzędziowych poprzez obróbkę cieplno-chemiczną dyfuzyjną, która przyczynia się do utwardzenia warstwy wierzchniej, zwiększając odporność części roboczych narzędzi na ścieranie. Jedną z popularnych metod obróbki cieplno-chemicznej jest azotowanie. Wytrzymałość warstw otrzymanych sposobami dyfuzyjnymi zależy w dużym stopniu od ich jakości i jednorodności. W IZTW przeprowadzono badania, z których wynika, że wprowadzenie przed azotowaniem nagniatania ślizgowego jako obróbki powierzchniowej stali narzędziowej (przeznaczonej do obróbki plastycznej na zimno) pozwala poprawić właściwości warstwy wierzchniej tej stali po procesie azotowania dyfuzyjnego i tym samym istotnie zmienić jej jakość użytkową [11÷13].

Badania określające wpływ nagniatania ślizgowego kompozytem diamentowym na jakość warstwy dyfuzyjnej po azotowaniu przeprowadzono na próbkach walcowych o wymiarach $\varnothing 32 \times 330$ mm wykonanych ze stali konwencjonalnej Sverker 21 i proszkowej Vanadis 6. Po wstępnym przygotowaniu próbek obróbką toczeniem wałki poddano obróbce cieplnej hartowania i odpuszczania, stosując austenitowanie przez 4,5 min w temperaturze 1035÷1040 °C (Sverker 21) i 1070 °C (Vanadis 6) oraz dwukrotne odpuszczanie w temperaturze 530/520 °C (Sverker 21) i 550/520 °C (Vanadis 6) – po 2 h każde. Uzyskano twardość ok. 60 HRC (Sverker 21) i 62 HRC (Vanadis 6). Następnie wałki były toczone na centrum tokarsko-frezarskim typu NL 2000 SY (firmy Mori Seiki) za pomocą oprawki z płytką z PCBN i przeprowadzony został proces nagniatania ślizgowego za pomocą nagniatąka z końcówką roboczą z kompozytu diamentowego z ceramiczną fazą wiążącą Ti_3SiC_2 [11, 14]. Kończówka nagniatąka miała czaszę kulistą o promieniu $R = 1,5$ mm.

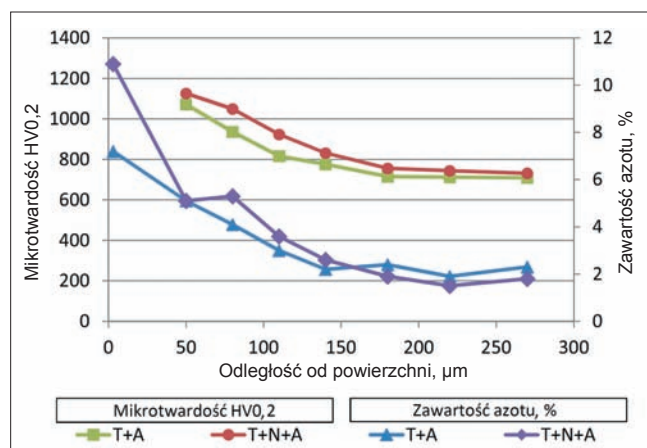
Podczas nagniatania zastosowano posuw $f = 0,02$ mm/obr oraz siłę docisku $F = 180$ N (Sverker 21) i 160 N (Vanadis 6) – ustalone we wcześniejszych badaniach jako właściwe dla tego procesu. Mierzono parametry struktury geometrycznej powierzchni przed nagniataniem ślizgowym i po nim za pomocą profilometru Hommel-Tester T1000E. Uzyskiwano po nagniataniu zmniejszenie średnich wartości parametru chropowatości R_a z 0,9÷1 μm (po toczeniu) do 0,15÷0,20 μm .

Po nagniataniu wałki były niezwłocznie poddawane azotowaniu gazowemu, które odbywało się dwuetapowo, poprzez dysocjację amoniaku na powierzchni części azotowanych. Na pierwszym etapie stosowano temperaturę 520 °C i proces prowadzono przez 5 h, a na drugim etapie podwyższono temperaturę do 535 °C i proces prowadzono przez 20 h.

Następnie wycięte z wałków próbki przygotowano w postaci zglądów poprzecznych i poddano badaniu na elektronowym mikroskopie skaningowym (SEM) typu JSM-6460LV (firmy JEOL). Analizę składu chemicznego przeprowadzono metodą EDS w obszarach pomiarowych przy powierzchni i w rdzeniu. Wykonano także pomiary mikrotwardości za pomocą cyfrowego miernika mikrotwardości typu FM-7 (Future-Tech Corp.) przy obciążeniu 1,962 N. Wyniki przedstawiono na rys. 1 (Sverker 21) i rys. 2 (Vanadis 6) [11÷13].



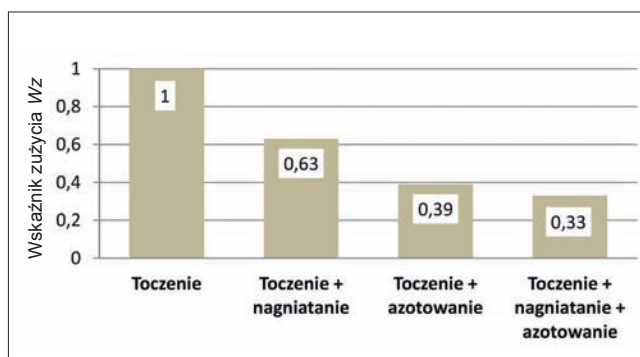
Rys. 1. Mikrotwardość HV_{0,2} i zawartość azotu (% masy) określone metodą EDS w próbkach ze stali Sverker 21 w wariantach: toczenie + azotowanie (T+A) oraz toczenie + nagniatanie + azotowanie (T+N+A) [11÷13]



Rys. 2. Mikrotwardość HV_{0,2} i zawartość azotu (% masy) określone metodą EDS w próbkach ze stali Vanadis 6 w wariantach: toczenie + azotowanie (T+A) oraz toczenie + nagniatanie + azotowanie (T+N+A) [11÷13]

Analiza zawartości pierwiastków, przeprowadzona w kilku mikroobszarach w różnych odległościach od powierzchni, wykazała, że jeśli po toczeniu zastosuje się nagniatanie i azotowanie, to zawartość azotu w warstwie wierzchniej będzie większa, niż gdy zastosuje się tylko azotowanie. Zawartość azotu w warstwach wierzchnich stali Sverker 21 i Vanadis 6 przekładała się na wzrost mikrotwardości. Na tej podstawie można stwierdzić, że jeśli azotowanie poprzedzi się nagniataniem, będzie to miało pozytywny wpływ na mikrotwardość. W badaniach tych wykazano synergię obróbki mechanicznej nagniataniem i cieplno-chemicznej azotowaniem [11].

Zastosowanie nagniatania poprzedzającego azotowanie spowodowało zmniejszenie o ok. 12÷15% wskaźnika zużycia w odniesieniu do powierzchni toczonej i azotowanej, co przykładowo przedstawiono na rys. 3 dla stali Sverker 21. Badania tribologiczne zostały przeprowadzone na powierzchni płaskiej (czołowej) badanych wałków metodą *ball-on-disc* z zastosowaniem uniwersalnego testera UMT-2MT



Rys. 3. Względne wskaźniki zużycia W_z uzyskane w próbie *ball-on-disc* dla próbek ze stali Sverker 21 po różnych zabiegach obróbki powierzchniowej [11]; $W_z = 1$ odpowiada bezwzględnemu wskaźnikowi zużycia $W_s = 23,83 \text{ mm}^3/\text{Nm}$

(firmy CETR). W tej metodzie nieruchoma kulka jest dociskana z określoną siłą do obracającej się tarczy. W wyniku tego na tarczy wyciera się ślad, który następnie jest mierzony profilometrem w celu określenia pola powierzchni przekroju wytarcia i obliczenia objętości usuniętego materiału (jako iloczyn pola powierzchni przekroju oraz długości obwodu wytarcia) [11].

W wyniku niemal wszystkich rodzajów procesów nagniatania powstają w warstwie wierzchniej naprężenia ściskające, które poprawiają m.in. wytrzymałość zmęczeniową obrabianych elementów. Korzystna dla kształtowania w warstwie wierzchniej naprężeń ściskających synergia procesu nagniatania i azotowania jest przedmiotem zgłoszenia patentowego i zostanie przedstawiona w innej publikacji.

Nanoszenie przeciwzużyciowych powłok PVD

Powłoki nanoszone na części robocze narzędzi, najczęściej po to, by chronić je przed zużyciem, umożliwiają zwiększenie wydajności procesu technologicznego (np. zapobiegają zacieraniu się części roboczych narzędzi przy większych prędkościach obróbki) oraz poprawiają jakość powierzchni obrabianej (m.in. dzięki zmniejszeniu współczynnika tarcia). Coraz częściej powłoki te dobierane są w zależności od rodzaju narzędzia, materiału narzędziowego i obrabianego, a także warunków procesu technologicznego.

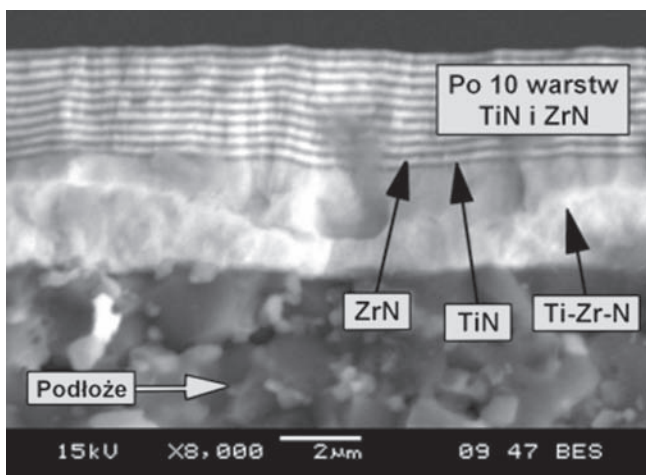
Powłoki nanoszone na części robocze narzędzi można podzielić ze względu na budowę na jednowarstwowe (monolityczne, kompozytowe, gradientowe) i wielowarstwowe (w skali mikro i/lub nano, nadstruktury). Mogą one być wykonywane z azotków, węglików, węglikoazotków, tlenków lub z wielu składników. Wielowarstwowość powłoki daje korzystniejszy rozkład naprężeń i lepszą odporność na pęknięcie; energia pęknięcia rozpraszana jest przez jego odchylenie i rozgałęzienia.

Złożone powłoki nanoszone metodą PVD, wielowarstwowe w skali mikro, składają się zwykle z kilku warstw funkcjonalnych, m.in. (w kolejności od podłoża): z metalicznej warstwy adhezyjnej (np. Ti, Cr, Mo, Zr), z podstawowej warstwy o wysokiej twardości i o możliwie niskim poziomie naprężeń (np. TiN, CrN, ZrN, TiCN), z warstwy blokującej przepływ ciepła (np. TiAlN, TiZrN) i z warstwy o niskim współczynniku tarcia (np. Cr, CrN, TiN). Powłoki nanoszone metodą PVD wykonywane są coraz częściej jako wielowarstwowe w skali nano i zapewniają narzędziom m.in. [15÷17]:

- optymalny stosunek twardości do naprężeń własnych (co gwarantuje dużą stabilność geometrii narzędzi i ich równomierne zużywanie się),
- wyższą odporność termiczną i chemiczną (umożliwiającą obróbkę z większymi prędkościami),
- lepsze właściwości ślizgowe (co z kolei pozwala uzyskać wyższą jakość obrabianej powierzchni),
- większą odporność na zużycie, wpływającą na zmniejszenie kosztów narzędziowych.

W ostatnim dziesięcioleciu trwał intensywny rozwój różnych rodzajów powłok narzędziowych. W większości były to nowo opracowane powłoki PVD. Również w IZTW prowadzono prace badawcze dotyczące powłok PVD azotowych, wielowarstwowych w skali mikro i nano, nanoszonych na stałe narzędziowe (zwłaszcza szybko tnące), węgliki spiekane i materiały ceramiczne. Do nanoszenia powłok stosowano łukową metodę PVD (zmodernizowane urządzenie NNW-6.6 produkcji rosyjskiej, wyposażone m.in. w nowoczesne pompy próżniowe produkcji niemieckiej), umożliwiającą uzyskanie dużej adhezji powłok do podłoża. W przypadku nanoszenia powłok na materiały ceramiczne, ze względu na ich dużą (ceramika) i bardzo dużą (PCBN, PCD) twardość, korzystny wpływ powłok na wzrost trwałości ostrzy narzędzi z tych materiałów wiązał się nie tylko ze wzrostem twardości (powłoki na ceramicie), ale także ze zmniejszeniem ilości wydzielanego ciepła (dzięki zmniejszeniu tarcia) i z ograniczeniem skłonności do powstawania wykruszeń (powłoki pokrywały pory i eliminowały miejsca inicjacji wykruszeń).

Przedstawione przykładowo badania prowadzone w tym zakresie w IZTW wykazały możliwość uzyskania w obróbce utwardzonej stali narzędziowej 1,3÷1,8-krotnego wzrostu trwałości ostrzy z ceramiki mieszanej tlenkowo-węglkowej gatunku TW po naniesieniu na nie powłoki PVD; przy czym mniejsze wartości uzyskano dla monolitycznej powłoki TiN, a większe dla powłok złożonych wielowarstwowych w skali mikro i nano Ti-Zr-N/10x(TiN/ZrN) oraz TiN/(TiAl)N/10x(TiN/(TiAl)N) – rys. 4. Twardość powłok wielowarstwowych wynosiła ok. 3000 HV_{0,025}; określano ją na zglądach metalograficznych skośnych niskokątowych (5÷6°) metodą Vickersa przy obciążeniu 0,2452 N, za pomocą cyfrowego miernika mikrotwardości typu FM-7 (firmy Future-Tech Corp.).



Rys. 4. Przykład struktury wielowarstwowej powłoki PVD typu Ti-Zr-N/10x(TiN/ZrN) naniesionej na ostrze z ceramiki mieszanej – obraz z mikroskopu elektronowego – na podstawie [16]

W badaniach skrawności ostrzy toczono stal narzędziową o składzie chemicznym: C 1,38%, Mn 0,6%, Si 0,25%, Cr 1,45%, V 0,18% oraz P i S po maks. 0,03% – tj. dawną stal NC6 wg starej normy PN, niemającą odpowiednika w normie PN-EN ISO 4957:2004; najbardziej podobną do stali o nr. Werkstoff 1.2063 (145Cr6 wg DIN) – o twardości 50 ± 2 HRC, w postaci wałków o średnicy ok. Ø85 mm i długości 850 mm. Właściwości skrawne określano w trakcie obróbki toczeniem, którą prowadzono na sucho na tokarce typu TZC-32N Uniwersal o mocy silnika 50 kW z użyciem noża tokarskiego składanego typu CSRNR 3225-12 (firmy Pafana), zapewniającego kąty ostrza: przyłożenia $\alpha_0 = 6^\circ$ i natarcia $\gamma_0 = -6^\circ$; stosowano prędkość skrawania $v_c = 150$ m/min, posuw $f = 0,10$ mm/obr oraz głębokość skrawania $a_p = 0,5$ mm. Płytki miały dodatkowo ścin o ujemnym kącie 20° i szerokości 0,2 mm. Stosowano łamacz wiórów typu PK420. W wyniku

naniesienia powłoki następował często spotykany w metodzie łukowej PVD wzrost chropowatości powierzchni płytek spowodowany obecnością mikrodropli; parametr Ra wzrastał 1,5÷2-krotnie (pomiaru chropowatości powierzchni wykonywano przyrządem Hommel Tester T1000). Mimo zwiększenia po powlekanii średniej wartości parametru chropowatości Ra na powierzchni płytek skrawających z ceramiki mieszanej gatunku TW o ok. 70% (wzrost z 0,27 µm przed powlekaniami do 0,46 µm), po toczeniu tymi płytkami parametr chropowatości Ra powierzchni obrabianej stali był tylko o ok. 2÷38% większy niż po toczeniu płytkami bez powłok (wzrastał ze średniej wartości 0,49 µm do 0,50÷0,68 µm). Mikrodrople, w których składzie przeważały metale (w tym przypadku Ti, Zr) lub stopy metali (w tym przypadku TiAl), miały znacznie niższą twardość niż powłoki z azotków tych metali lub stopów metali i w związku z tym przypuszczalnie ulegały szybkiemu spłaszczeniu lub starciu z powierzchni powlekanego ostrza [16].

Podsumowanie

Przedstawione analizy i badania prowadzone w IZTW wskazują na możliwości zwiększania odporności na zużycie narzędzi stosowanych w obróbce wiórowej i plastycznej na zimno poprzez dobór nowoczesnego materiału narzędziowego, modyfikację warstwy wierzchniej części roboczych narzędzi za pomocą sekwencyjnej obróbki nagniataniem i azotowaniem oraz naniesienie odpowiednio dobranych powłok.

LITERATURA

1. Materiały informacyjne firm Erasteel, Uddeholm, Böhler, Crucible, 2011÷2015.
2. Tafilin L. "ASP steels – now produced by the newly developed Dvalin process – from ERASTEEL help users manufacture efficient, long lasting, precision machine tools". *Gear Solutions*. (January 2006): pp. 32÷35.
3. Dobrzański L.A. „Materiały inżynierskie i projektowanie materiałowe. Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo”. Warszawa: WNT, 2006.
4. Legutko S. „Materiały narzędziowe w obróbce skrawaniem”. *Mechanik*. Nr 12 (2004): s. 835÷841.
5. Byrne G., Dornfeld D., Denkena B. "Advancing Cutting Technology". *Ann. CIRP*. Vol. 52, 2 (2003): pp. 483÷507.
6. Destefani J. "Cutting Tools 101: Materials. Part 1". *Manuf.Eng.* (September 2002): pp. 57–58, 60÷66, 68–69.
7. Filipp M. "Diamant und CBN machen Späne". *Schweiz.Masch.* Vol. 108, No. 6 (2007): D53–D54, D56, D58–D59.
8. Riedel R. "Handbook of Ceramic Hard Materials Vol 2.". WILEY-VCH Verlag GmbH Weinheim, 2000.
9. Kennedy B. "Apply Directly to Workpiece". *Cutt.Tool Eng.* (June 2007): pp. 32, 34÷38, 40.
10. Weinert K., Hagedorn M., Kötter D. „Produktiver und flexibler mit neuen Schneidstoffen”. *Werkst.u.Betr.* Vol. 135, No. 7–8 (2002): pp. 25–26, 31–32.
11. Toboła D. „Analiza wpływu nagniatania ślizgowego kompozytem diamentowym i azotowania na wybrane właściwości stali narzędziowych Vanadis 6 i X153CrMoV12 (NC11LV)”. Rozprawa doktorska. Kraków: AGH, 2015.
12. Toboła D., Rusek P., Polowski W., Czechowski K. „Możliwość poprawy efektów azotowania stali narzędziowej Vanadis 6 poprzez nagniatanie ślizgowe”. *Mechanik*. Nr 8–9 (2012): s. 700÷703.
13. Brostow W., Czechowski K., Polowski W., Rusek P., Toboła D., Wronska I. „Slide diamond burnishing of tool steels with adhesive coatings and diffusion layers”. *Materials Research Innovations*. Vol. 17, No. 4 (2013): pp. 269÷277.
14. Jaworska L., Szutkowska M., Morgiel J., Stobierski L., Lis J. "Ti₃SiC₂ as a bonding phase in diamond composites". *Journal of Materials Science Letters*. No. 20 (2001): pp. 1783÷1786.
15. Materiały informacyjne firmy Oerlikon-Balzers, 2010÷2015; www.oerlikonbalzerscoating.com.
16. Czechowski K., Pofelska-Filip I., Królicka B., Szlosek P., Smuk B., Wszolek J., Kurlito A., Kasina J. "Effect of nitride nano-scale multi-layer coatings on functional properties of composite ceramic cutting inserts". *Bulletin of the Polish Academy of Sciences*. No. 53, Iss. 4 (2005): pp. 425÷431.
17. Czechowski K., Wronska I. „Powłoki nanostrukturalne na narzędziach skrawających”. *Mechanik*. Nr 12 (2011): s. 964÷967. ■