



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

METODY POVLAKOVÁNÍ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

COATING METHODS FOR CUTTING TOOLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

MICHAL NOVOTNÝ

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Novotný

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Metody povlakování řezných nástrojů

v anglickém jazyce:

Coating methods for cutting tools

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na metody povlakování materiálů pro řezné nástroje (slnuté karbidy, cermety, řezná keramika, supertvrdé materiály) a vyhodnocení jednotlivých metod z hlediska technologických možností nanášení tvrdých vrstev a jejich mechanických, tepelných a chemických vlastností.

Cíle bakalářské práce:

1. Charakteristika jednotlivých metod nanášení tvrdých ořezných povlaků
2. Povlakované slinuté karbidy v sortimentu výroby vybraných domácích a světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů
3. Vývojové trendy v oblasti povlakování řezných nástrojů

Seznam odborné literatury:

1. BUNSHAH, R. F. et al. Handbook of Hard Coatings. Norwich, New York, USA: Noyes Publications/William Andrew Publishing, LLC. 2001. 550 p. ISBN 0-8155-1438-7.
2. DANDY, D.S. Diamond Thin Films Handbook - Chapter 4. Colorado State University. Fort Collins, Colorado, USA. [online]. [vid. 16. března 2006]. Dostupné z: <http://navier.engr.colostate.edu/pubs/DiamondHandbook.pdf>.
3. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing s. r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
4. LEICHTFRIED, G., SAUTHOFF, G., SPRIGGS, G. E. Refractory, Hard and Intermetallic Materials. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2002. 267 p. ISBN 3-540-42961-1.
5. Technické materiály a prospekty firem, které se zabývají povlakováním: CemeCon, Ionbond, Oerlikon Balzers, Platit, SHM Šumperk.
6. Technické materiály a prospekty výrobců řezných nástrojů: Ceratizit, Iscar, Kennametal, Korloy, Kyocera, Mitsubishi, Pramet Tools, Sandvik Coromant, Seco, Sumitomo, Walter, Widia.
7. Odborné časopisy International Journal of Refractory Metals & Hard Materials (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02634368>), Surface and Coatings Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02578972>), Thin Solid Films (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00406090>), Wear (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431648>).

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.
V Brně, dne 24. 10. 2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.

Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.

Děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce *Metody povlakování řezných nástrojů* popisuje způsoby nanášení tvrdých otěruvzdorných povlaků fyzikálními a chemickými metodami. Součástí práce je rozdělení materiálů pro řezné nástroje, popis výroby vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů, základní druhy vrstev povlaků a porovnání sortimentu povlakovaných slinutých karbidů vybraných výrobců. V závěru této práce jsou nastíněny některé vývojové trendy v oblasti nanášení tenkých vrstev povlaků.

Abstract

The bachelor thesis titled *Coating methods for cutting tools* describes techniques of deposition of hard abrasion resistant coatings by physical and chemical methods. The thesis contains the partition of the materials for cutting tools, description of producing cutting inserts made from sintered carbides, basic types of coating layers and comparison of coated sintered carbides in the assortment of selected manufacturers. There is also an outline of some trends in the area of coating methods at the end of the thesis.

Klíčová slova

metody povlakování, materiály řezných nástrojů, slinutý karbid, PVD, CVD, iontová implantace, HiPIMS, ALD, TETRABOND, vrstvy povlaků

Keywords

coating methods, materials of cutting tools, sintered carbide, PVD, CVD, ion implantation, HiPIMS, ALD, TETRABOND, coating layers

Bibliografická citace

NOVOTNÝ, M. *Metody povlakování řezných nástrojů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 50 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci zpracoval samostatně a použil jen uvedené prameny a literaturu.

V Brně dne 25. května 2012

.....

Michal Novotný

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval doc. Ing. Antonu Humárovi, CSc. za konzultace a cenné rady, kterými provázel psaní mé bakalářské práce.

Obsah

| | |
|---|----|
| Úvod | 8 |
| 1 Materiály pro řezné nástroje | 9 |
| 1.1 Rozdělení materiálů pro řezné nástroje | 9 |
| 1.1.1 Slinuté karbidy | 9 |
| 1.1.2 Cermety | 10 |
| 1.1.3 Řezná keramika | 11 |
| 1.1.4 Supertvrde řezné materiály | 12 |
| 2 Slinuté karbidy | 14 |
| 3 Metody povlakování | 18 |
| 3.1 Metoda povlakování PVD | 18 |
| 3.1.1 Naprašování | 18 |
| 3.1.2 Napařování | 20 |
| 3.2 Iontová implantace | 21 |
| 3.3 Metoda povlakování CVD | 22 |
| 3.4 Metoda HiPIMS | 27 |
| 3.5 Metoda ALD | 27 |
| 3.6 Metoda TETRABOND | 28 |
| 4 Základní druhy povlaků | 29 |
| 4.1 Jednovrstvé povlaky | 29 |
| 4.2 Vícevrstvé povlaky | 29 |
| 5 Povlakované slinuté karbidy v sortimentu výrobců řezných nástrojů | 32 |
| 5.1 Pramet Tools s.r.o. | 32 |
| 5.2 Sandvik Coromant | 33 |
| 5.3 Kennametal | 33 |
| 6 Vývojové trendy v oblasti povlakování řezných nástrojů | 35 |
| Závěr | 37 |
| Seznam použitých zdrojů | 38 |
| Přílohy | 42 |

Úvod

Při výrobě strojních součástí jsou využívány různé technologie výroby. Jednou z nejčastěji využívaných technologií je obrábění kovů, z něhož se nejvíce využívá soustružení, frézování a vrtání. Řezný nástroj s odpovídající houževnatostí a tvrdostí ostří je nezbytný k odebrání třísky a dosažení výsledného povrchu s požadovanými parametry, jako jsou tvar, velikost, drsnost a jakost.

Tyto řezné nástroje jsou v současné době vyráběny z mnoha různých druhů materiálů, mezi které patří například nástrojové oceli, cermety, řezná keramika, supertvrdé materiály a především slinuté karbidy.

Díky povlakování lze významně zlepšit celkové vlastnosti řezného nástroje, jako je tvrdost, houževnatost, odolnost vůči opotřebení, vysokým teplotám či tvorbě trhlin na povrchu, a tím zvýšit jeho životnost a celkovou produktivitu. Vlastnosti daného povlaku nejsou závislé pouze na použitých materiálech, důležitým prvkem je také vytvořená struktura na povrchu základního substrátu a adhezní vlastnosti přechodové vrstvy mezi substrátem a povlakem.

Pro zhotovení výsledného povlaku je důležitá vhodně zvolená metoda povlakování, která se nejčastěji odvíjí od dvou základních metod PVD (Physical Vapour Deposition) a CVD (Chemical Vapour Deposition). Tyto základní způsoby nanášení se následně rozdělují do mnoha dalších modifikací.

První na trh uvedené břitové destičky (Sandvik Coromant, Švédsko, 1969) byly opatřeny jednovrstvým povlakem titanu karbidu (TiC). Tento povlak byl nanesen metodou CVD. S následujícím rozvojem technologií byla vyvinuta v 80. letech metoda PVD s nejčastěji nanášenou vrstvou nitridu titanu (TiN). Se stále rostoucími požadavky na vlastnosti povlaku byly vyvíjeny další metody, například MTCVD (Middle Temperature CVD) nebo PACVD (Plasma Assisted CVD).

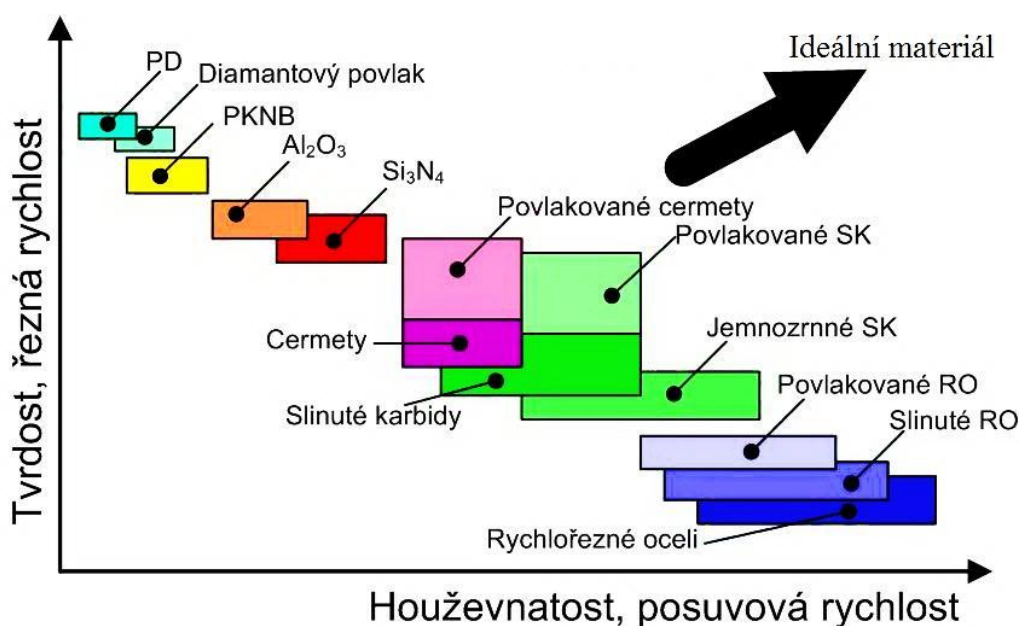
Řezné povlakované nástroje se neustále zdokonalují, především kvůli vzniku nových těžko-obrobitelných materiálů a vývoji nových technologií pro výrobu povlaků. Avšak v praxi jsou v současné době nejvyužívanější vícevrstvé povlaky s dvěma až čtyřmi vrstvami.

1 Materiály pro řezné nástroje

Nástroje používané při obrábění jsou vystaveny velkému mechanickému a tepelnému namáhání. Jeho vinou pak dochází k jejich rychlejšímu či pomalejšímu opotřebování a v horších případech i k jejich zlomení anebo jinému zničení. Z tohoto důvodu je nutné dobře zvolit výchozí materiál pro dané řezné podmínky a typ obrábění.

1.1 Rozdělení materiálů pro řezné nástroje

V dnešní době je na trhu široká škála řezných materiálů s různým složením a mechanickými vlastnostmi. Jak vyplývá z obrázku 1.1, dosud žádný řezný materiál není schopen pokrýt celou oblast komplexními požadavky obrábění, třebaže moderní varianty často pokrývají širokou oblast aplikace.



Obr. 1.1 Vliv mechanických vlastností nástrojového materiálu na pracovní podmínky ¹⁶

1.1.1 Slinuté karbidy

V současnosti reprezentují slinuté karbidy 80-90 % veškerých břitových destiček používaných pro obráběcí nástroje. Používají se pro jemné obrábění i pro těžké hrubování téměř všech druhů materiálů na nejrozmanitějších obráběcích strojích. Jejich úspěch, jakožto nástrojového materiálu, je dán jejich unikátní kombinací odolnosti proti opotřebení a houževnatosti, ale také jejich schopností nechat se formovat do složitých tvarů.

Základním materiálem pro výrobu slinutých karbidů je karbid wolframu (WC), jako pivo se využívá kobalt (Co).

Dle normy ISO 513: 2006 se obráběné materiály dělí do 6 hlavních aplikačních skupin. Identifikačním znakem aplikační skupiny je písmeno a barva přiřazené právě této skupině. Každá aplikační skupina je určena písmenem hlavní skupiny a klasifikačním číslem. Čím je číslo nižší, tím je materiál houževnatější a je jím možné obrábět vyšší řeznou rychlostí. Naopak čím je číslo nižší, tím roste pevnost materiálu a je možné použít vyšší posuvové rychlosti.

Rozdělení aplikačních skupin dle ISO 513: 2006: ⁹

P (značení modrou barvou) – složení WC, TiC, Co; je používána při obrábění např. uhlíkové oceli, slitinové oceli a feritické korozivzdorné oceli, vzniká dlouhá tříška,

M (značení žlutou barvou) – složení WC, TiC, TaC, Co; má univerzální použití a je používána při obrábění např. lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny, kde vzniká dlouhá a střední tříška,

K (značení červenou barvou) – složení WC, Co; je používána při obrábění např. šedé litiny a barevných kovů, které tvoří krátkou drobnou tříšku,

N (značení zelenou barvou) – je používána při obrábění neželezných slitin, zejména na bázi hliníku,

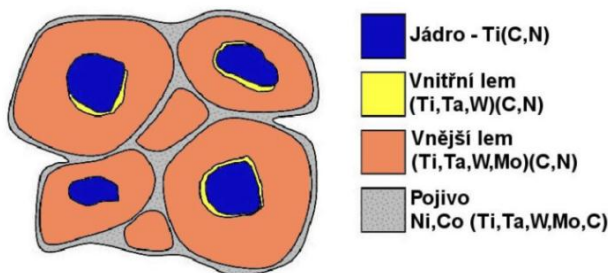
S (značení hnědou barvou) je používána při obrábění žáruvzdorných a žárovevých slitin, zejména na bázi niklu,

H (značení šedou barvou) – je používána při obrábění tvrdých kalených materiálů.

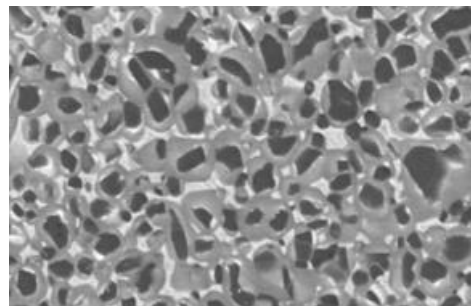
1.1.2 Cermety

Cermety jsou slinuté karbidy tvořené tvrdými částicemi na bázi titanu. Název cermet je kombinací slov keramika (CERamic) a kov (METal). Původně se cermety skládaly z TiC a molybdenu. Moderní cermety obsahují nikl a jejich složení je tvořeno, jakožto základním stavebním prvkem, částicemi karbonitridů titanu Ti (C, N), částicemi sekundárních tvrdých fází (Ti, Ta, Nb, W, C, N) a pojivem složeným převážně z niklu.

Na obrázku 1.2 a 1.3 je schématický a mikroskopický snímek struktury cermetu, kde je možné vidět základ, jímž je jádro z nitridu titanu, které se během slinování nepřetváří. Okolo jádra se nachází vnitřní a vnější lemy, které vznikají během slinování cermetů, a jejich velikost a struktura je závislá na množství a druhu přidaných prvků a teplotě slinování. Jednotlivá jádra jsou spojena pomocí niklového nebo kobaltového pojiva.



Obr. 1.2 Schéma struktury cermetu ¹⁸



Obr. 1.3 Mikrostruktura TiWCN-Co cermetu ⁶

Ti (C, N) poskytuje příslušné třídě vyšší odolnost proti otěru, sekundární tvrdé fáze zvyšují odolnost proti plastické deformaci a podíl kobaltového pojiva má rozhodující vliv na houževnatost.

Ve srovnání s běžnými slinutými karbidy mají cermety vyšší odolnost vůči otěru a menší tendence k ulpívání materiálu obrobku na břit. Na druhou stranu cermety mají také nižší úroveň vnitřních tlakových pnutí, a z tohoto důvodu i nižší odolnost proti vzniku tepelných trhlin. Za účelem zvýšení jejich odolnosti proti otěru, je možné cermety povlakovat.

Povlakují se převážně metodami PVD, zaručujícími ostrý a houževnatý břit. Dovolují zvýšit řeznou rychlost nebo trvanlivost břitu. Při obrábění ocelí vykazují velmi dobrou odolnost proti opotřebení a tvorbě nárůstku.

Výroba cermetů je podobná jako výroba slinutých karbidů, rozdíl je především v tom, že cermety se vyrábějí na bázi titanu. Oproti slinutému karbidu je zřejmý rozdíl především v tom, že ve struktuře slinutého karbidu nedochází v průběhu výroby k přeměně tvrdé fáze a struktura zůstává zachována.

1.1.3 Řezná keramika

Keramické řezné materiály tvoří skupinu materiálů, která zahrnuje sloučeniny kovu s křemíkem, dusíkem, bórem a kyslíkem a nekovové tvrdé látky. Nejdůležitější vlastností těchto materiálů je vysoká tvrdost za vysokých teplot řezání až 1600 °C. Nevýhodou je malá pevnost v ohybu a křehkost.

Řezná keramika se rozděluje do následujících skupin: ³⁹

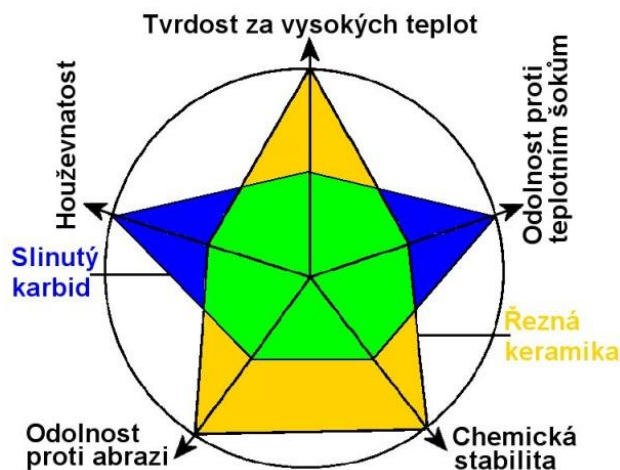
Oxidová keramika se skládá z oxidu hlinitého (Al_2O_3) s přísadou oxidu zirkoničitého (ZrO_2), která brání vzniku a šíření trhlin. Takto vytvořený materiál je chemicky velice stabilní, ale postrádá odolnost proti tepelným šokům.

Směsná keramika je vyztužená částicemi, konkrétně přísadou kubických karbidů nebo karbonitridů (TiC , $\text{Ti}(\text{C},\text{N})$). Tím je dosaženo zvýšení houževnatosti a zlepšení tepelné vodivosti.

Keramika vyztužená whiskery, jmenovitě whiskery karbidu křemíku (SiC), se vyznačuje razantním nárůstem houževnatosti a umožňuje použití řezné kapaliny. Řezná keramika vyztužená whiskery je ideální pro obrábění slitin niklu.

Keramika z nitridu křemíku (Si_3N_4) představuje další skupinu keramických materiálů. Krystaly podlouhlého tvaru tvoří materiál se schopností “samovyztužení” a s vysokou houževnatostí. Třídy na bázi nitridu křemíku jsou velmi vhodné pro obrábění šedé litiny, ale nedostatečná chemická stabilita limituje jejich použití pro ostatní typy obráběných materiálů.

Sialon (SiAlON) jsou třídy, které kombinují pevnost “samovyztužitelné” sítě z nitridu křemíku a vysokou chemickou stabilitu. Sialonové třídy jsou ideální pro obrábění žáruvzdorných slitin (HRSA).



Obr. 1.4 Obecné porovnání vlastností keramiky a slinutého karbidu ²⁷

Technologický postup výroby břitových destiček z řezné keramiky se odlišuje od výroby destiček ze slinutého karbidu hlavně v tom, že při výrobě keramického prášku není přidáván do směsi žádný materiál, který by působil jako pojivo zrn tvrdé fáze. Z tohoto důvodu jsou přidávány přísady, jež vytvářejí kapalnou fázi. Přidáním těchto přísad dosáhneme lepšího zhutnění výrobku. Lisování se provádí zejména za studena, ale výjimkou není ani lisování za horka. Porovnání odlišných vlastností slinutého karbidu a keramiky lze vidět na obrázku 1.4.

Hlavními výchozími materiály pro výrobu řezné keramiky jsou především oxidy Al_2O_3 , Y_2O_3 , ZrO_2 , karbidy TiC , TiN a nitrid Si_3N_4 . Jsou to stabilní látky s vysokou tvrdostí, pevností a odolností vůči vysokým teplotám.¹⁵

1.1.4 Supertvrde řezné materiály

Jsou to technické materiály, které svými vlastnostmi (především tvrdostí a otěruvzdorností) převyšují dosud známé běžné řezné materiály. Radíme sem polykrystalické materiály na bázi diamantu (PKD) a na bázi kubického nitridu boru (KNB, PKBN).

Rozsah mechanických vlastností supertvrdých materiálů je mnohem nižší než u jiných materiálů. V porovnání s ostatními materiály mají také velmi malé hodnoty ohybové pevnosti, což má při obrábění za následek použití malého posuvu, viz obr. 1.1.

Diamant

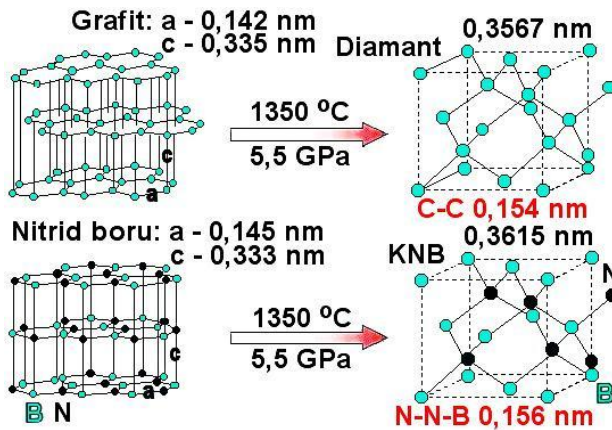
Princip výroby syntetického diamantu spočívá v přeměně hexagonální mřížky grafitu na kubickou mřížku diamantu, jak lze vidět na obrázku 1.5. Okolní prostředí při tomto procesu tvoří vysoká teplota, tlak a také přítomnost malého množství katalyzátoru, který umožní rozpouštění grafitického uhlíku a umožní jeho krystalizaci ve formě diamantu za nižších teplot než v přírodních podmínkách.¹⁶

Jako katalyzátory se nejčastěji používají přechodové kovy (Mn, Co, Fe, Ni, Cr), jejich slitiny (Mn-Ni, Co-Fe) nebo sloučeniny (Fe_3N). V poslední době se ke kovovým katalyzátorům přidávají také nekovové sloučeniny (sulfáty, hydroxidy a uhličitany).

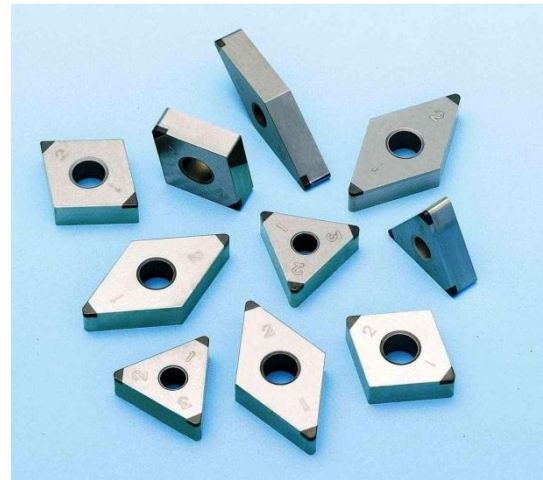
Kubický nitrid boru

Kubický nitrid boru (KNB) je synteticky vyrobený materiál, který se ve volné přírodě nevyskytuje. Vyrábí se z nitridu boru (BN), jenž krystalizuje v hexagonální soustavě a jeho transformací na kubickou formu vzniká kubický nitrid boru (Obr. 1.5). Velikost krystalu je ovlivněna tlakem, teplotou, katalyzátorem a časem transformace. Uplatňuje se podobný technologický postup jako při výrobě diamantu.

Z katalyzátorů se nejčastěji používají alkalické kovy nebo jejich nitridy (popř. boridy), např. Li_3BN_2 , AlN , AlB_2 , směs Al-Mg, alkalické zeminy. Účinek těchto katalyzátorů lze pozorovat na směsi 40 % Al + 60 % Mg, která snižuje teplotu a tlak z původních $>1600\text{ }^\circ\text{C}$ a 5,5 – 8,0 GPa na hodnoty $1460\text{ }^\circ\text{C}$ a 4,5 GPa (přičemž jsou vytvářeny dobře vyvinuté krystaly KNB).¹⁶

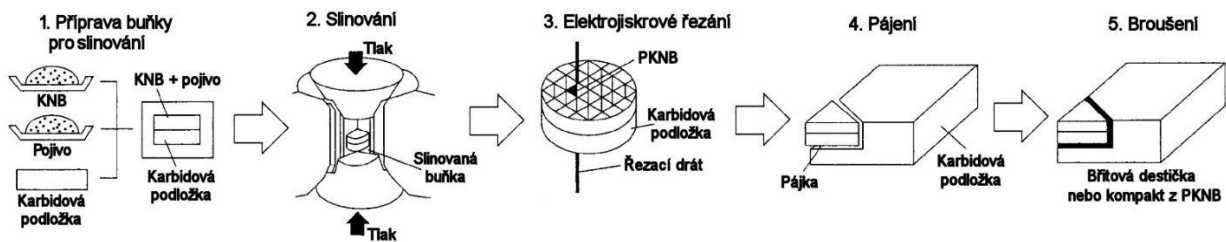


Obr. 1.5 Změna hexagonální mřížky na mřížku kubickou¹⁷



Obr. 1.6 Břitové destičky z PKD napájené na podložce ze slinutého karbidu⁴⁴

Proces výroby vyměnitelných břitových destiček ze syntetického diamantu a KNB se liší od procesu výroby slinutých karbidů (Obr. 1.7). Drtivá většina břitových destiček ze supertvrdých materiálů je složena z více vrstev (Obr. 1.6). Jedná se zde o vytvoření tenké vrstvy (0,8 – 0,9 mm) z PKD nebo KNB slinované na podložce ze slinutého karbidu. Takto vytvořená destička je rozřezána elektrojiskrovým řezáním a následně připájena na podložku, která se další úpravou zpracovává broušením, analogicky jako u slinutých karbidů.



Obr 1.7 Proces výroby vyměnitelných břitových destiček z PKD (KNB)¹⁶

2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy jsou materiály vytvořené pomocí práškové metalurgie, která se zabývá přípravou prášků odpovídajících karbidů a pojících složek, jejich smíšením, lisováním směsi a slinováním těchto výlisků. Postup dané metody je znázorněn na obrázku 2.1.

Tyto karbidy se skládají z tvrdých částic karbidu wolframu WC, karbidu titanu TiC, karbidu tantalu TaC atd., a měkčího pojiva jako je kobalt, popřípadě nikl, molybden.

Obecný postup lze rozdělit do těchto základních operací:

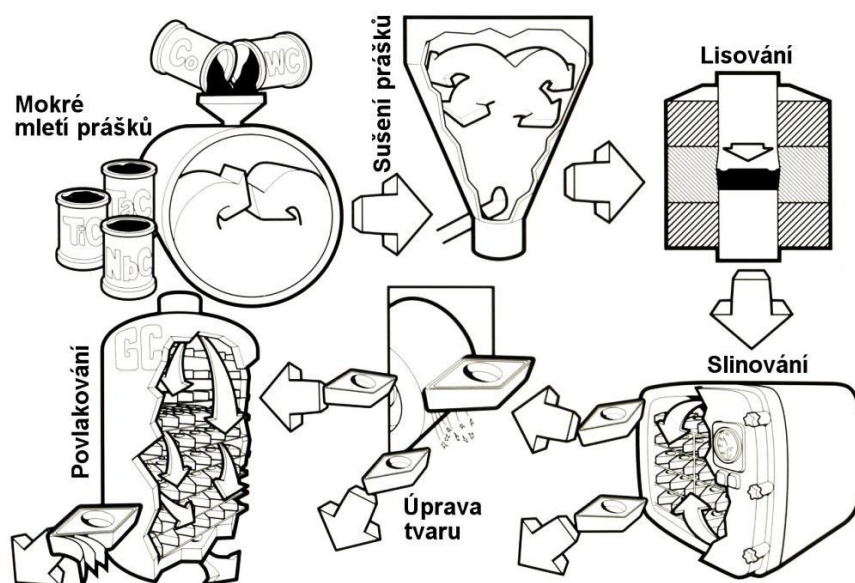
Výroba prášků

Základní surovinou slinutých karbidů jsou prášky kovů, jejich sloučenin a v některých případech i nekovů. Jakost hotových výrobků závisí na fyzikálních a chemických vlastnostech prášku, na chemickém složení, čistotě použitých prášků, velikosti a tvaru částic.

Prášky z kovů a jejich sloučenin se získávají těmito způsoby:

Mechanicky: drcením v kulových a vířivých mlýnech nebo rozprašováním tekutého kovu

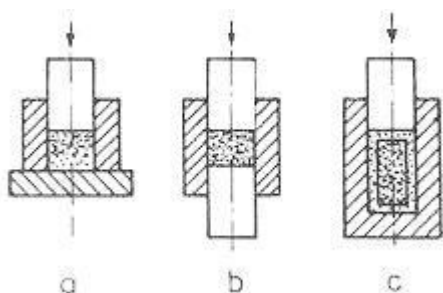
Fyzikálně-chemicky: redukcí oxidů, štěpením karbonylů, elektrolytickým vylučováním a chemickým slučováním s nekovy (např. WC, TiC, TaC, VC, Cr₃C₂ apod.)



Obr. 2.1 Postup výroby destiček ze slinutých karbidů ⁴¹

Lisování polotovarů

Touto metodou se prášky a jejich směsi upravují do tvaru výrobku. Při lisování se vlastnosti prášku mění (zmenšuje se pórovitost, dochází k plastické deformaci částic a zvětšuje se styková plocha mezi zrny). Lisovací tlaky bývají 200 až 700 MPa. Podmínky lisování jsou ovlivněny zvoleným lisovacím tlakem, způsobem lisování (lisování za studena, za tepla, izostatické, protlačování, vibrační lisování atd.; viz obr. 2.2), velikostí a tvarem výlisku a přísadami pro usnadnění lisování. Pevnost výlisku stoupá úměrně s lisovacím tlakem.



Obr. 2.2 Základní způsoby lisování ²³

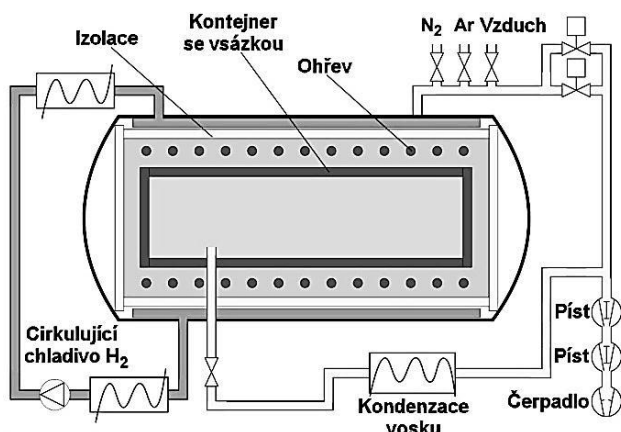
- a – lisování jednosměrné
- b – lisování obousměrné
- c – izostatické lisování

Slinování

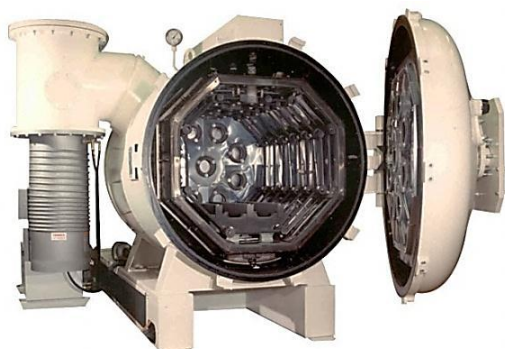
Slinováním se dosahuje požadovaných mechanických a fyzikálních vlastností, pevnosti, tažnosti a tvrdosti. Tato metoda úpravy je prováděna v slinovacích pecích, viz schéma na obr. 2.3. Dále na obrázcích 2.4 a 2.5 je zobrazena slinovací pec firmy B.M.I. typ B5-TM, která je určena pro slinování slinutých karbidů.

Teplota při procesu slinování je nižší než teplota tavení daného kovu. Slinuje-li se směs prášků různých kovů, mohou se nízko-tavitelné fáze natavit. Množství natavené fáze bývá malé, takže tvar výrobku se nemění, avšak jeho rozměr se zmenšuje. Smrštění délkových rozměrů bývá 15 až 25 % při nízké pórovitosti.

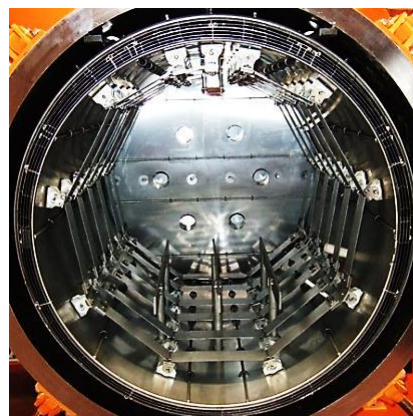
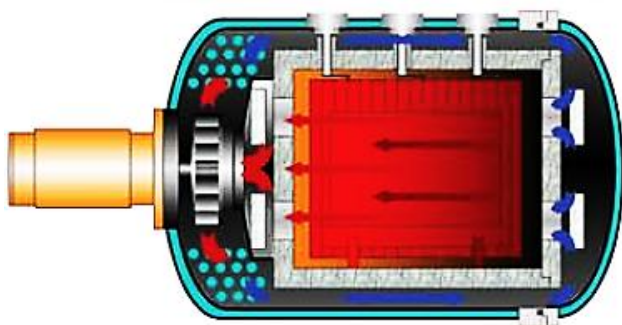
Podmínky slinování ovlivňuje teplota, čas, prostředí (ochranný plyn, vakuum) a druh slinování. Teplota bývá většinou 0,8násobek teploty tavení. Doba slinování bývá 2 až 3 hodiny.



Obr. 2.3 Schéma slinovací pece ²⁵



Obr. 2.4 Slinovací pec B.M.I. B5-TM ³



Obr. 2.5 Teplotní schéma a pohled do slinovací pece B.M.I. B5-TM ³

Broušení

Břítové destičky svojí konečnou podobu získají:

Přímo vylisováním: přesné vylisování vyměnitelné břítové destičky včetně požadovaných tvarů (utvářečů a fazetek).

Broušením: vyměnitelné břítové destičky svojí konečnou podobu získají broušením.

V dnešní době jsou na břítové destičky kladeny vysoké požadavky na přesnost a odolnost proti opotřebení, z tohoto důvodu je nutná úprava leštěním, případně úprava před povlakováním a následné povlakování.

Podle velikosti zrna rozdělujeme karbidy na dva základní druhy:

Hrubozrnné karbidy: Základní prášek tvoří hrubozrnné částice. Podíl pojiva bývá větší než u jemnozrnného karbidu, který ovlivňuje mechanické a chemické vlastnosti karbidu. Tento prášek je vhodný pro hrubování, větší průřezy třísky a je houževnatý.

Jemnozrnné karbidy: Základní prášek je tvořen jemnozrnnými částicemi. Podíl pojiva bývá menší než u hrubozrnného karbidu, který ovlivňuje mechanické a chemické vlastnosti.

Úpravy před povlakováním

Před vlastním povlakováním je nutné provést depoziční úpravu, tedy že některé vlastnosti povrchu jsou upravovány za účelem co nejlepší adheze (např. drsnost povrchu, nerovnosti povrchu, ostrost břitu apod.). V nesprávných podmínkách může dojít po nanesení povlaku k následnému odlupování vrstev či tvorbě prasklin a jiných nežádoucích jevů. Použitím mechanické úpravy břítů a povrchů předcházíme těmto poruchám.

Základní metody úpravy:

Odmašťování

Slouží pro odstranění konzervačních a jiných mastných látek z povrchu nástroje pomocí odmašťovadel. Odmašťovací prostředky obsahují dearomatizované uhlovodíky a tenzidy, které brání nadměrnému odpařování a zajišťují dobrou smáčivost.¹³

Mokrý čištění

Využívají se metody oplachů, tlakových oplachů, ultrazvuku, elektrochemických metod, vakuového sušení nebo odstředění, vyhřátí či odpaření těkavých kapalin. Nejčastěji jsou využívány kapalné čisticí prostředky dávkované přímo do mycí lázně.

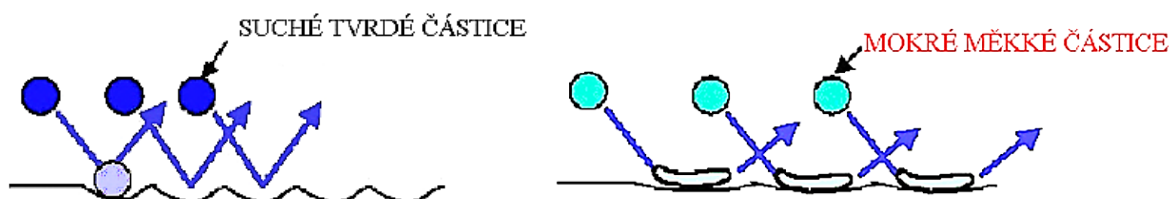
Po čištění oplachem musí být odstraněny zbytky čisticí lázně a zároveň je nutné chránit očištěný povrch proti korozi pasivátorem. Pro kvalitní povrch bez zbytkových map je nutné rychlé osušení smáčených povrchů. K tomu jsou používány různé metody založené na odpaření nebo odstředění zbytkových kapalin.

Tryskání

Metoda suchého tryskání je vhodná pro přípravu substrátu v případě sériové výroby. Tímto procesem lze odstranit pevně ulpívající nečistoty na povrchu. Jako vhodné médium se používají syntetická abraziva (Al_2O_3 , SiC), minerální abraziva (přírodní oxidy), případně lze tryskat kovovými abrazivy (kovové broky). Použitá abraziva mají vliv na konečnou

adhezi povlakované vrstvy. Při použití SiC mohou být vyvolány nežádoucí chemické změny v závislosti na tryskaném substrátu. Velikost abrazivních zrn se pohybuje v nízkých hodnotách 15 až 100 μm . Volba parametrů otryskání je velice důležitá z pohledu na výsledná zaoblení břítu a povrchu, názorně zobrazeno na obrázku 2.6.

V poslední době se začal využívat způsob Aero Lap. Jedná se zde o metodu mokrého tryskání za pomoci kompozitního abraziva Multi-Cone, která je usměrňována vzduchovou tryskou o tlaku vzduchu 0,5 až 0,8 MPa dopadajícího pod úhlem 30° až 60° na tryskaný povrch (obr 2.6). Díky tomuto dopadu je povrch jemně broušen a leštěn. Zrna Multi-Cone mají velikost 0,5 až 2 mm a jsou tvořeny diamantovým nebo korundovým práškem se speciálním pojivem, které zajišťuje pružnost zrn. Tato zrna byla vyvinuta výhradně pro použití v zařízeních Aero Lap.³⁴

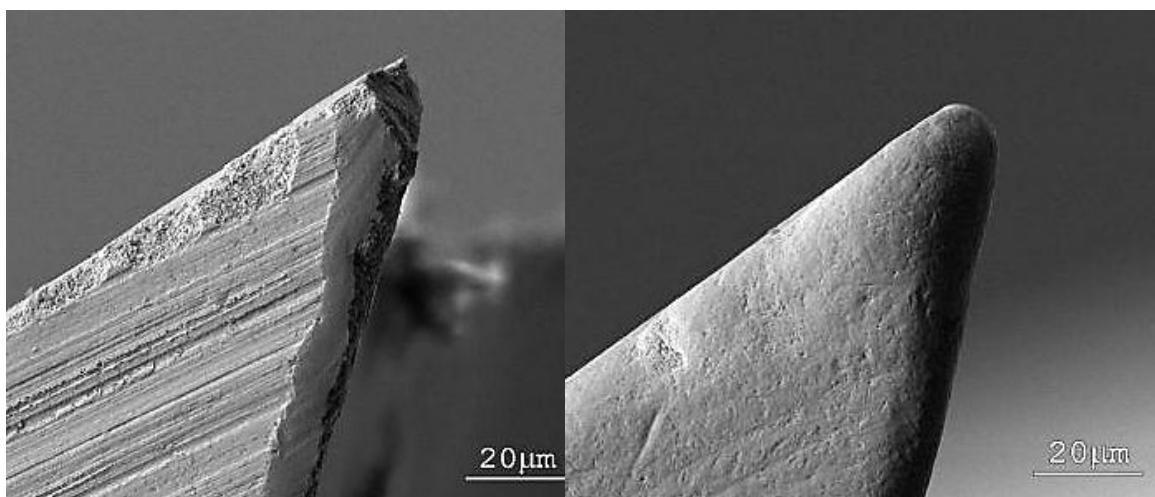


Obr. 2.6 Tryskání suchou (vlevo) a mokrou (vpravo) metodou⁴³

Omílání

Omílání je speciální metoda předúpravy vyměnitelných břitových destiček před procesem povlakování. K základním technologickým požadavkům při výrobě nástrojů totiž patří zaoblení hran, umožňující zlepšení přilnavosti při procesu povlakování a snížení drsnosti povrchu hřbetních ploch a čela drážky.

Pro tento proces je však třeba pečlivě volit dobu úpravy a typ média (např. v ořechových skořápkách s brusivem SiC). V důsledku zaoblení řezné hrany na požadovaný rádius (obvykle 10 μm) dochází k snížení řezných sil ve všech osách. To samozřejmě vede ve výsledku ke snížení teploty v řezu i k zvýšení životnosti nástrojů. Příklad zaoblení hrany slinutého karbidu je na obrázku 2.7.



Obr. 2.7 Úprava břitových destiček před povlakováním⁴⁶

3 Metody povlakování

V současné době stále roste podíl používání těžkoobrobitelných materiálů, což vede k rychlejšímu opotřebení břitů nástrojů, a tudíž k jejich menší trvanlivosti. Takto vzniklý problém se většinou odstraňuje použitím vhodných materiálů břitu, povlakovaných nástrojů, optimální geometrie břitu či optimálního tvaru utvařeče.

Tato kapitola je zaměřena na způsoby nanášení povlaků na vyměnitelné břitové destičky. U vyměnitelných řezných břitových destiček se používá velké množství metod, které jsou v této kapitole podrobněji rozebrány.

3.1 Metoda povlakování PVD

PVD technologie je založena na fyzikálních principech bez chemické reakce při nižších teplotách do 500 °C. Tyto principy nanášení tenkých vrstev jsou naprašování nebo napařování materiálů obsažených v povlaku (Ti, Al, Si, Cr aj.).

3.1.1 Naprašování

Touto metodou se vytvářejí tenké povlaky z těžkovytavitelných materiálů bez nutnosti ohřevu. Naprašovací zařízení se skládá z katody (terče) zhotovené z materiálu, který je nanášen, odprašovacího plynu, vakuové komory, držáku substrátu a zdroje energie.

Naprašování doutnavým výbojem rovinné diody

Při naprašování je terč z vodivého materiálu umístěn ve vakuové komoře a přiveden na vysoký záporný potenciál řádově tisíce voltů. Do komory se přes jehlový ventil připouští inertní plyn (obvykle argon) a tlak se udržuje na hodnotě řádově jednotek pascalu. Před terčem se zapálí doutnavý výboj, přičemž kladné ionty bombardují záporný terč a záporné elektrony dopadají na anodu (uzemněnou kostru vakuové komory). Těžké ionty svým dopadem rozprašují terč a rozprášené atomy se usazují na vnitřním povrchu. Substráty se umísťují před terč, tenká vrstva tedy vzniká především na nich. Pro zajištění lepší homogenity vrstvy se mohou substráty pohybovat, např. rotovat. Pro zvýšení efektivity lze použít terč s chladicími kanálky pro odvod vzniklého tepla.

Rychlost odprašení terče lze vyjádřit za pomoci vztahu: ⁵

$$R = 62,3 \cdot \frac{J \cdot S \cdot m_t}{\rho} [\text{Å} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1)$$

kde: J [$\text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$] - proudová hustota iontů,
 S [atomy/iont] - výtěžnost naprašování,
 m_t [g] - atomová hmotnost,
 ρ [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$] - měrná hmotnost materiálu terče.

Výhodou této metody je, že depozice probíhají při nižších teplotách a vrstvy mají menší vnitřní pnutí. Další výhodou této metody je jednoduchost a snadnost zhotovení terče z různých materiálů jako kovy, slitiny, směsi, polovodiče, supravodiče a polymery.

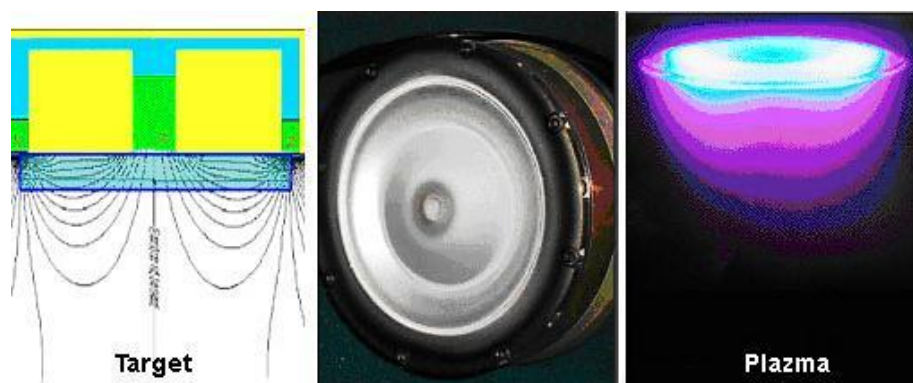
Hlavními nevýhodami se stávají nízká rychlost depozice, horší adheze vrstev k substrátu a ohřev substrátu v důsledku bombardování částicemi s vysokou energií.

Magnetronové naprašování

Následným vývojem vznikla metoda magnetronového naprašování, při které je terč s naprašovacím substrátem během procesu umístěn v silném magnetickém poli (až několika set gaussů), viz obr. 3.1. Touto technikou se docílí mnohem koncentrovanější depozice díky směřování částic vlivem magnetického pole do středu. Příklad takovéto katody a vytvořeného plazmatu představuje obrázek 3.2. Je-li hlavice katody vyrobena stejně, jak ukazuje obrázek, pak se budou částice pohybovat po kružnicích od katody k anodě. Nebude tedy docházet k neefektivnímu rozptýlení částic do krajů depoziční komory.¹⁴



Obr. 3.1 Princip směřování částic vlivem elektrického (E) a magnetického (B) pole¹⁴



Obr. 3.2 Katoda s magnetronem a vytvořené plazma¹⁴

Hlavními výhodami naprašování je jednoduchá depozice i z těžkotavitelných materiálů a rychlost naprašování. Ve vytvářené vrstvě se zachovává složení slitinového terče ve stejném poměru jednotlivých složek. Současně umožňuje homogenní depozici vrstev i na větších plochách.

Nevýhodou je omezení volby materiálu terče (např. terče z feromagnetického materiálu musí být velmi tenké, aby byly nasyceny magnetickým polem) a dále potíže při jejich výrobě (nesmí obsahovat dutiny nebo bubliny, jinak by mohlo dojít k lokálnímu natavení či prskání).¹⁶

Radiofrekvenční naprašování

Tato metoda umožňuje depozici povlaků z nevodivých terčů, ze kterých nelze získávat materiál přiložením stejnosměrného proudu v důsledku akumulace elektrického náboje na jejich povrchu.¹⁶

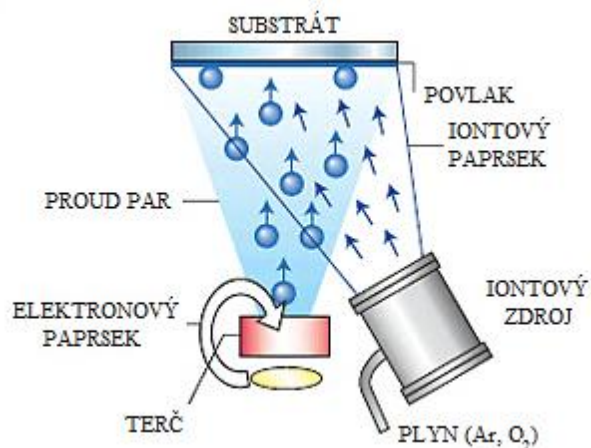
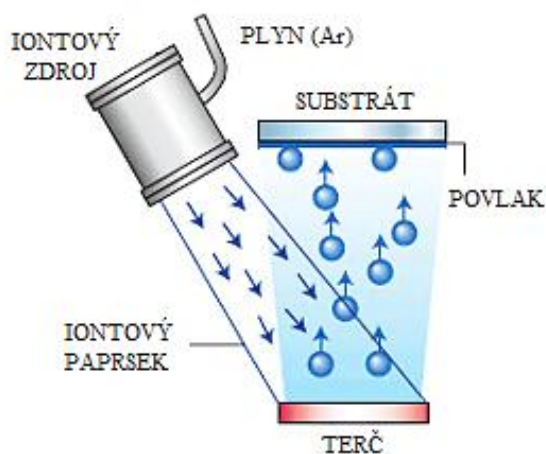
Využívá se zde vysokofrekvenčního signálu (5 až 30 MHz), který se využije k vybuzení elektronů a plazmy. Mezi terčíkem a substrátem je tak vytvořeno elektrické pole, které je nezbytné při naprašování. Při této metodě se pracuje při nižší tlaku (0,6 až 10 Pa), protože elektrony kmitající s vysokou frekvencí získávají dostatek energie pro ionizující srážky a počet ztracených elektronů může být snížen.

Výhodou je, že lze vytvářet různé druhy vodivých, polovodivých i nevodivých povlaků. Nevýhodou je pak technická složitost napájecího radiofrekvenčního zdroje.

Naprašování iontovým paprskem (IBDA, IBSD)

Díky této metodě je zajištěna o mnoho lepší adheze a vysoká čistota povlaku. Naprašování probíhá za nízkého tlaku (0,01 Pa) a substrát není v kontaktu s plazmou (nezahřívá se). Na terč z požadovaného materiálu je namířen iontový paprsek o vysoké energii (až tisíce eV), jak lze vidět na obrázku 3.3. Paprsek vzniká z inertního nebo reaktivního plynu v iontovém zdroji. Z terče odprášené složky zachytává vhodně umístěný substrát, u kterého je nutné řídit teplotu, tlak a typ nanášených částic, aby nebyl oddělen od zdroje generování plazmy.

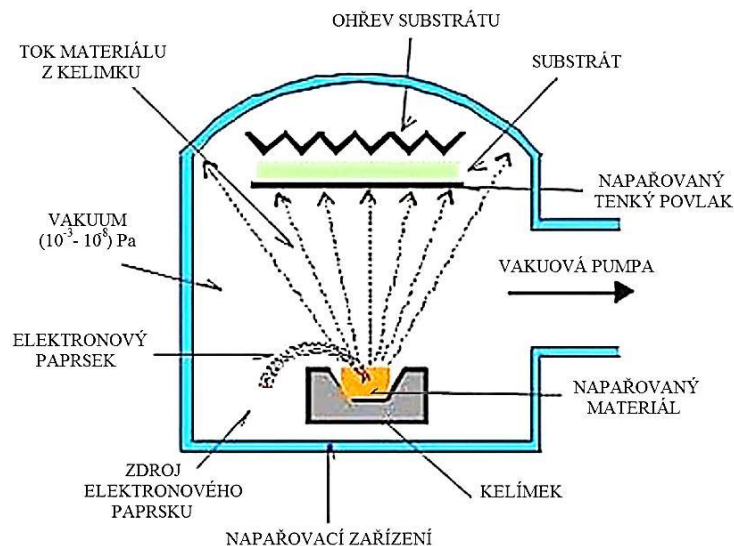
Při vytváření tenkých povlaků je iontový paprsek využíván dvěma způsoby. První možností je odprašování iontovým paprskem - IBDS. Zdroj se nasměruje na terč a odprášený materiál se ukládá ve formě tenkého povlaku na substrát (obr. 3.3). Druhý případ je depozice s asistencí iontového paprsku- IBAD, tedy že zdroj míří na substrát, který je povlakován nezávislým způsobem (obr. 3.4).¹⁶



3.1.2 Napařování

V tomto procesu se potahovaný materiál tepelně odpařuje z terčů. Odpařené atomy se pohybují směrem k substrátu po drahách bez téměř žádných kolizí s ostatními molekulami, což vede k nerovnoměrnému nanášení povlaku. Největší vrstva vzniká těsně nad terčem a s rostoucí vzdáleností klesá. Napařování probíhá ve vakuu při velmi nízkém tlaku, a to až 10^{-8} Pa. Schéma napařovacího zařízení je zobrazeno na obr. 3.5.

Z důvodu zlepšení rovnoměrnosti nanášené vrstvy je do komory přiváděn pomocný plyn (např. argon) za tlaku 0,7 Pa až 26,7 Pa. Odpařené složky při pochodu komorou s přivedeným plynem na substrát prodělají mnohonásobně více srážek, což vede k tvorbě rovnoměrnějšího povlaku. Dále může být substrát ohříván nebo připojen na požadované přepětí stejnoměrného či střídavého proudu.



Obr. 3.5 Schéma napařovacího zařízení ⁵⁰

Ohřev povlakovaného materiálu z terčiku může být zajištěn různými způsoby, např. odporově, indukčně, za pomoci oblouku, laserově apod., avšak nejjednodušším méně používaným způsobem bývá odporové provedení. Topná tělíska jsou vyráběna v různých provedeních a tvarech (viz obr. 3.6) z těžkotavitelných materiálů pro vysokoteplotní použití.



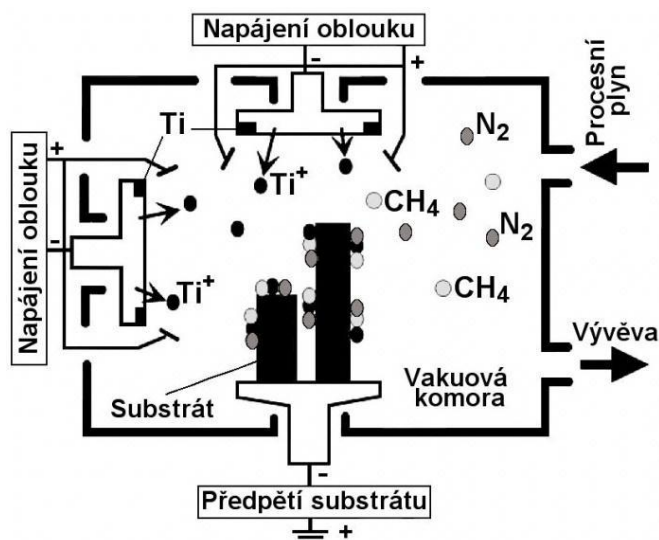
Obr. 3.6 Odporové odpařovací zdroje (drátové, vaničkové a kelímkové) ¹¹

3.2 Iontová implantace

Za pomoci této metody lze efektivněji nanášet povlaky rozmanitého složení, vynikajících mechanických vlastností, a to i na tepelně zušlechtnuté materiály, nebo dokonce i plasty. Iontová implantace vychází z principu PVD. Ionty se mohou uvolňovat z terče pomocí odprašování, odpařování či z plynné složky. Při procesu roste nanášená vrstva kondenzací z plynného skupenství za nízkého tlaku (0,01 až 10 Pa). Ionty z plazmatu dopadají na substrát (Obr. 3.7). Jejich energie je určena elektrickým napětím přiváděným na povlakovaný předmět (50 až 1000 V). To umožňuje připravit povrch před depozicí vrstvy (iontové čištění) a odstraňovat hůře vázané atomy z rostoucí vrstvy jejich odprašením.

Dopad iontů během nanášení výrazně ovlivňuje vlastnosti výsledné vrstvy (například tvrdost, vnitřní pnutí, adhezi k substrátu) a rovněž dovozuje vznik sloučenin při teplotě podstatně nižší, než odpovídá rovnovážné chemické reakci. ^{36,47}

Výhodou iontové implantace je, že při nasycování iontů je možno překročit mez rozpustnosti v dané slitině. Do slitin kovů lze zavádět téměř jakýkoliv chemický prvek.

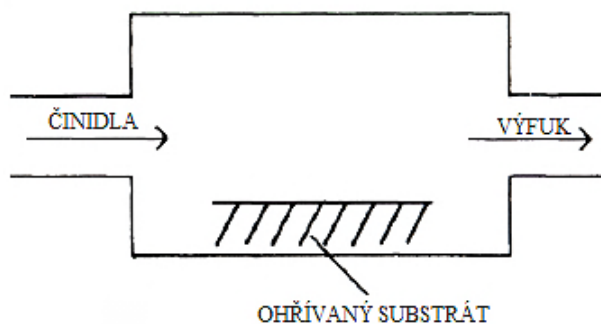


Obr. 3.7 Schéma nanášení povlaku TiCN obloukovou iontovou implantací ¹⁶

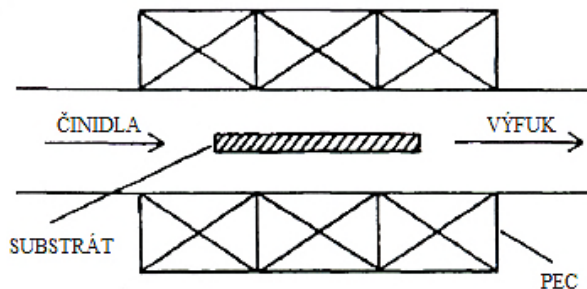
3.3 Metoda povlakování CVD

Jedná se zde o chemický proces povlakování, v němž jsou plynná činidla přivedena do reaktoru. Na výchozí plyn jsou kladeny požadavky stability a zároveň obsahu prchavé sloučeniny, která se dále chemicky rozkládá (např. kovový halogenid, TiCl_4 , AlCl_3 , ZrCl_4 , apod.). V blízkosti substrátu jsou činidla díky dodané energii aktivována a následně v důsledku heterogenní reakce uložena na povrch substrátu. Použitou aktivační energií může být tepelný ohřev, plazmový oblouk, popřípadě laser. Za účelem vytvoření požadované vrstvy povlaku musí být přítomen i nekovový reaktivní plyn (např. N_2 , NH_4 , CH_4).

U procesu CVD se nejčastěji používají dva druhy reaktorů, a to se studenou stěnou (obr. 3.8) anebo s horkou stěnou (obr. 3.9). V chladném reaktoru je ohříván pouze držák substrátu. Tento typ reaktoru se používá pouze pro endotermické reakce, jako je například depozice Si z halogenidů. Vzhledem k tomu, že substrát má vyšší teplotu než stěny reaktoru, bude reakce probíhat přednostně na rozpáleném povrchu substrátu. U tohoto typu reaktoru nedochází k znečištění v důsledku reakce mezi stěnou reaktoru a parami. U druhého typu mají substrát a stěny reaktoru stejnou teplotu. Vyhřívání je zajištěno pomocí prvků, které obklopují reaktor. Nevýhodami tohoto reaktoru jsou depozice povlaku na stěně reaktoru a možná kontaminace mezi stěnou a parami. Z tohoto důvodu je reaktor vhodný pro exotermické reakce, protože vysoká teplota stěn zabraňuje nežádoucímu nánosu. ⁵



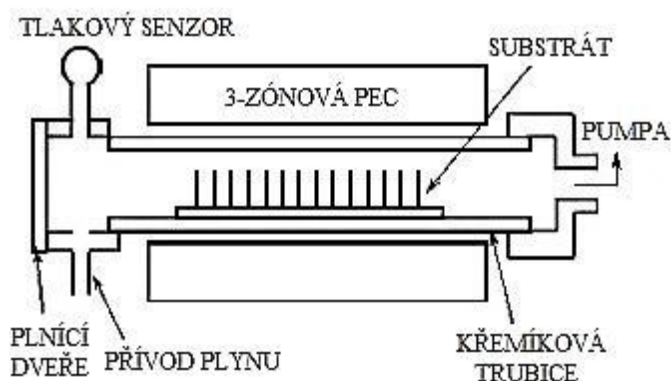
Obr. 3.8 Reaktor s vyhřívanou podložkou ⁵



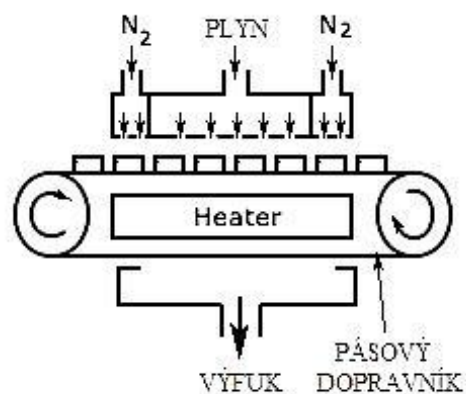
Obr. 3.9 Reaktor s vyhříváními stěnami ⁵

Metoda LPCVD

Na obrázku 3.10 je zobrazen LPCVD reaktor, v němž probíhá povlakování nízkotlakou CVD metodou (Low Pressure CVD). Tento systém je široce používán k povlakování polovodičových součástí. Reaktor se skládá z křemenné trubice, která vytápí třízónovou pec. Do prostředí komory o tlaku 30 až 250 Pa a teplotě v rozmezí od 300 do 900 °C je přiváděn reakční plyn. Vyměnitelné břitové destičky jsou uloženy v křemenném držáku ve svislé poloze kolmo k průtoku plynu. Výhody tohoto principu spočívají v stejnoměrnosti nanášené vrstvy a schopnosti povlakování rozměrných ploch. Nevýhodami jsou nízká rychlost depozice a časté používání toxických korozivních nebo hořlavých plynů.²⁰



Obr. 3.10 LPCVD reaktor²⁰



Obr. 3.11 APCVD reaktor²⁰

Metoda APCVD

Další modifikovanou metodou CVD je povlakování za atmosférického tlaku (Atmosphere Pressure CVD) znázorněný na obrázku 3.11. Substrát je umístěn na pásový dopravník, který prochází reaktorem. Plynové závěsy jsou tvořeny vysokou rychlostí toku dusíku po stranách reaktoru. Reakční plyn protéká středem a tryskami je dopravován přímo na substrát, který vytápí konvence. Hlavní výhodou je vysoký výkon. Nevýhodami mohou být rychlé toky plynu do komory a nutnost častého čištění reaktoru.²⁰

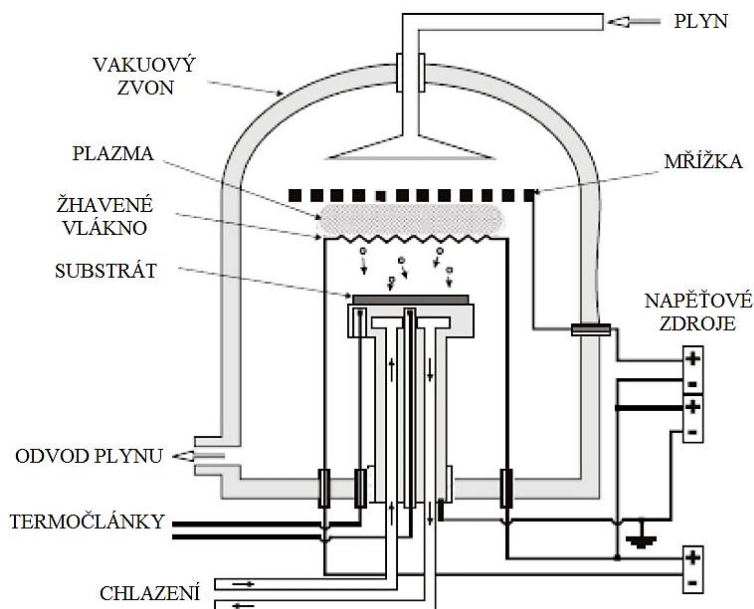
Metoda MTCVD

Metoda depozice (Medium Temperature CVD) vytváří povlaky při středních teplotách v rozsahu 800 až 900 °C, což vylučuje tvorbu trhlin vytvářeného povlaku. Oproti metodě HTCVD mají nanášené vrstvy výhodu zvýšené tuhosti a drsnosti bez ztráty odolnosti proti opotřebení. Díky těmto vlastnostem mají nástroje povlakované touto metodou širší oblast použití.⁴

Metoda HFCVD

Princip je založen na žhavicím wolframovém vlákně (Hot Filament CVD) ve vakuové komoře (schéma na obrázku 3.12). V této technice se vlákno žhaví na vysokou teplotu (až 2400 °C) a je umístěno v blízkosti substrátu (80 mm). Přívod pracovního plynu do reaktoru je kontrolován. Mřížka umístěná nad žhavicím vláknem slouží k rovnoměrnému rozložení pracovního plynu nad držákem substrátu. Škrticí klapka udržuje tlak v komoře v rozsahu 1000 až 5000 Pa. Substrát se nachází v chlazeném držáku pod žhaveným drátem. Vysoká

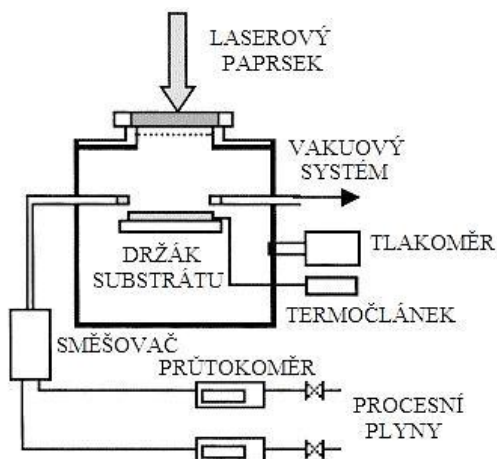
teplota je nutná k úplnému rozložení pracovních plynů. Některé reaktory umožňují připojení nezávislých napětí mezi vláknem a substrátem dále vláknem a mřížkou (obr. 3.12). Tato napětí slouží hlavně k urychlení depozice a růstu diamantového povlaku. Pracovní vlákna musí být vyrobená z kovu, který má vysokou teplotu tavení a zároveň nebude reagovat s procesními plyny. Rychlost depozice povlaků je vyšší než u klasické metody CVD. Nejčastěji se metoda HFCVD používá k vytváření diamantových povlaků. Mezi hlavní nevýhody patří vysoká citlivost vláken na oxidační a korozivní plyny, což výrazně limituje typy použitelných plynů.³¹



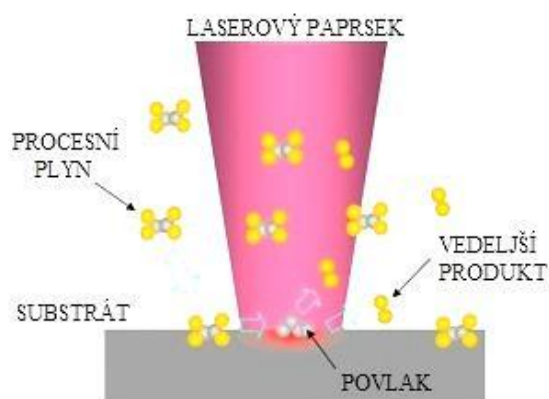
Obr. 3.12 HFCVD reaktor³¹

Metoda LCVD (LICVD)

Laserem indukovaná metoda (Laser Induced CVD) je způsob depozice mikročástic povlaku. Pro přesun pevných částic látky slouží laserový paprsek zaměřený na povrch substrátu, který je umístěn v reaktoru naplněném procesním plynem (Obr. 3.13). Laserový paprsek lokálně zahřívá substrát, na jehož povrchu dochází k tepelně indukovanému procesu rozkladu procesního plynu na pevné částice, které jsou absorbovány do povlaku substrátu (Obr. 3.14).



Obr. 3.13 LCVD reaktor⁴⁵

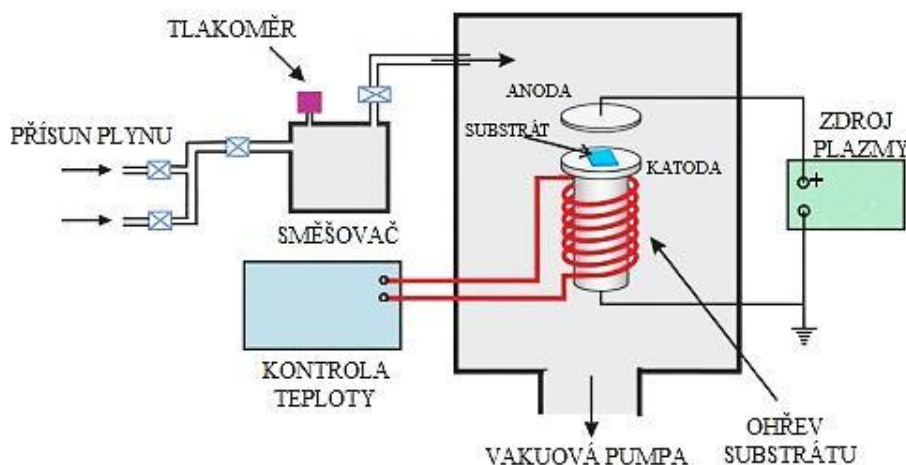


Obr. 3.14 Základní princip LCVD²⁶

Vzhledem k tomu, že řízený laserový paprsek slouží k ohřevu substrátu, mohou být velikosti povlakovaných ploch v řádu několika mikrometrů. Pro vytváření souvislých povlaků se používají dvě různé varianty, tj. pyrolytické a fotolytické. U pyrolytické metody laserový paprsek ohřívá substrát na vysokou teplotu, kde jsou rozkládány molekuly plynu na mezifázové rozhraní a poté uloženy na povrch substrátu. Tento způsob je limitován soustavou substrátu, procesního plynu a laseru. Zdroje par při dané vlnové délce laseru by měly v ideálním případě být relativně transparentní, zatímco substrát silně absorbující. Při fotolytické metodě jsou molekuly poblíž substrátu štěpeny fotochemickou reakcí, kde vytvářený povlak vzniká na povrchu substrátu. Obecně platí, že pyrolytický způsob je výhodnější pro dosažení vhodných vlastností (vysoká čistota, nízká pórovitost, apod.) při vysoké rychlosti depozice nanášeného povlaku. Výhodou fotolytického způsobu je o mnoho nižší teplota substrátu.^{5, 26}

Metoda PACVD (PECVD)

Depozicí pomocí plazmy (Plasma Assisted CVD) se rozumí proces, v němž reagují složky plynné fáze a tvoří pevný film na povrchu substrátu za pomoci elektrického výboje. V PACVD procesu jsou molekuly plynu nejčastěji oddělovány vlivem elektronů. Tyto reaktivní druhy dopadají na povrch substrátu a reagují navzájem s volnými molekulami, kde vytvářejí tenký film. Vzhledem k tomu, že molekuly plynu se aktivují energií elektronů místo tepelnou energií, může být teplota reakce velmi nízká. Povlaky mohou být tvořeny při teplotách nižších než 300 °C. V tomto procesu má teplota povrchu důležitou roli, protože substrát je silně ovlivněn podkladovou podložkou. Při vysoké teplotě lze na povrchu získat více energie, a tím atomy snadněji pronikají do stabilnějších míst, zatímco při nižších teplotách jsou brzděny, a tak má povlak více vad a nižší hustotu. Hlavní výhodou je schopnost vytvářet povlaky za mnohem nižších teplot s lepší přilnavostí a pevností při vysoké rychlosti depozice. PECVD (Plasma Enhanced CVD) je vylepšená modifikace metody PACVD.⁵



Obr. 3.15 PECVD reaktor²

Metoda CACVD

Technika s lavinovitým plazmatickým výbojem CACVD (Cascade Arc Plasma-assisted CVD) je založena na reaktoru, který využívá vlastnosti lineárního plazmatického výboje. Systém pracuje s širokým rozmezím tlaků (od 13 Pa až po atmosférický tlak) v plynném prostředí Ar-H₂-CH₄, tím překonává nevýhody klasických metod. Ve válcové nebo pravo-

úhlé komoře o délce více než 1 m se vytváří homogenní plazmové pole, kde jsou stěny reaktoru chlazeny vodou. Průřez reaktoru je znázorněn na obrázku 3.16. Držáky substrátu jsou uloženy v takovém tvaru, aby sloužily jako virtuální obal, který má za účel udržet výboj v kanálu s rozmístěnými substráty. Magnetická pole tvarují plazmový výboj po celé délce pracovní komory. Tento způsob se používá k nanášení diamantových povrchů. Teplotní gradienty a tok energie směřují napříč hydrodynamickým tokem, což umožňuje chránit vytvářený povlak před přímým dopadem paprsku plazmy. Přesná kontrola teploty při vysokoteplotních procesech CVD je rozhodující pro depozici diamantových povlaků.¹²

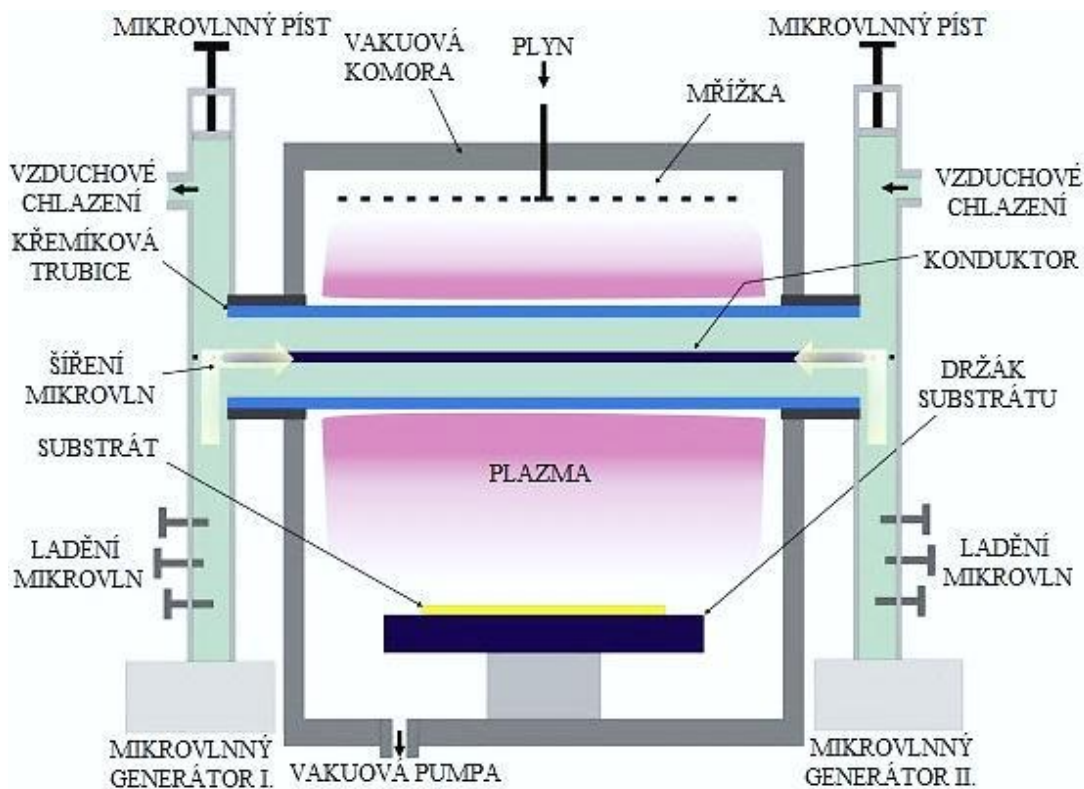


Obr. 3.16 CACVD reaktor¹²

Metoda MWCVD

Proces založený na depozici pomocí plazmy s přítomností mikrovln, které ovlivňují vytvářený povlak (Mikrowave Plasma CVD). Touto technikou je možno vytvářet hladký diamantový povlak na velké ploše. Obvyklá velikost diamantových krystalů se pohybuje v rozmezí od 5 do 20 nm. Do reaktoru (obr. 3.17) je přiveden přes mřížku reakční plyn, který dále prochází skrz mikrovlnné pole a vytváří plazmu. Částice dopadající plazmy na substrát vytvářejí požadovaný povlak. Mikrovlnné pole je tvořeno pomocí dvou generátorů, od kterých jsou mikrovlny dopraveny do reakční komory pomocí křemenné trubice. ²⁸

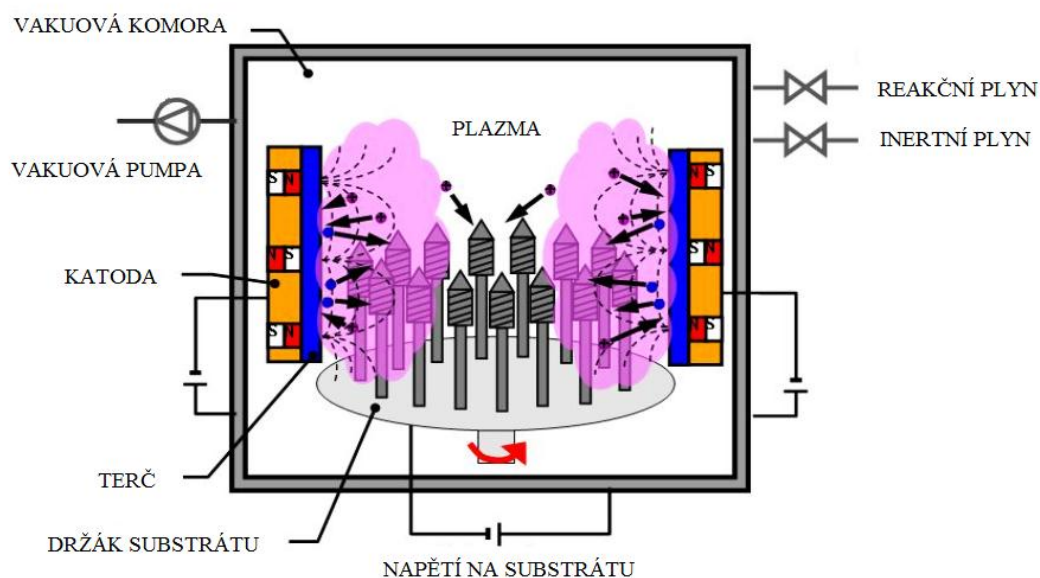
Hlavní výhodou při tvorbě diamantových povrchů metodou MWCVD je možnost použití oxidačních druhů plynu.



Obr. 3.17 MWCVD reaktor²⁸

3.4 Metoda HiPIMS

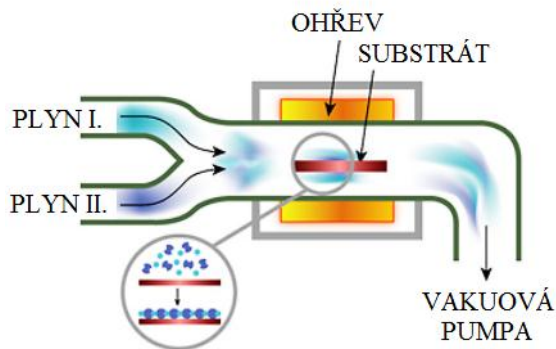
High Power Impulse Magnetron Sputtering je způsob nanášení povlaků pomocí vysokonapěťového impulsu magnetronovým naprašováním. Technologie kombinuje výhody obloukového odpařování s magnetronovým naprašováním. Generátory aplikují náboj o velikosti několika megawatt v zlomku sekundy na plazmu o veliké hustotě. Zážehnuté ionizované plazma, které je zdrojem naprašovaných atomů, vytváří na povrchu substrátu povlak. Zhotovené povlaky jsou vysoce odolné vůči opotřebení a tvorbě trhlin díky své dobré přilnavosti a hladkému povrchu. ^{1,35}



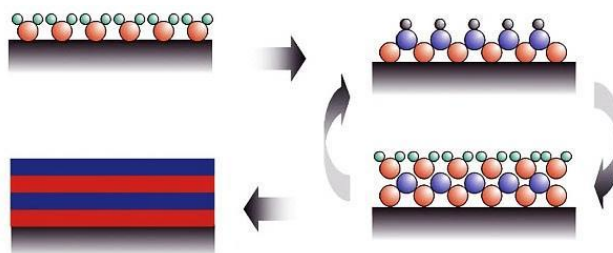
Obr. 3.18 Schéma HiPIMS reaktoru ¹

3.5 Metoda ALD

Relativně nová technologie ALD (Atomic Layer Deposition) dosažení požadované multivrstvy chemickou reakcí z plynné fáze (obr. 3.19). ALD využívá postupného pulzování procesních plynů k složení povlaku vrstvu po vrstvě. Proces probíhá obvykle v rozsahu 100 až 400 °C. První procesní plyn je zaveden do komory a tvoří základní vrstvu na substrátu. Poté následuje druhý plyn, který reaguje s již vytvořenou vrstvou z prvního plynu (viz obr. 3.20). Jelikož každá dvojice plynových impulzů (což je jeden cyklus), produkuje právě jednu monovrstvu požadovaného povlaku, tloušťka konečného filmu se skládá z počtu provedených cyklů. ²¹



Obr. 3.19 Komora pro ALD povlakování ²¹



Obr. 3.20 Tvorba vrstev ³⁰

3.6 Metoda TETRABOND

Technologie založená na fyzikální depozici par pomocí obloukové metody (vychází z metody PVD). Díky posílenému oblouku je možné ukládat extrémně tvrdé vrstvy. Vytváříme zde povlak z nehydrogenovaného diamantu, který je tvrdší než obvyklý diamant (DLC). Při procesu se teplota pohybuje pod 150 °C, čímž je postup zkrácen o nutnost chladit. Tvrdost vytvářeného filmu se pohybuje v rozmezí 70 až 90 GPa, což je zhruba srovnatelné s diamantovým povrchem vytvořeným CVD metodou. Zhotovený povlak nabývá obvykle tloušťky od 0,4 do 1,5 mikrometrů. Doba depozice jednoho cyklu bývá kolem tří hodin v porovnání s diamantovým povlakem CVD, kde cyklus probíhá více než osm hodin.⁴⁸

4 Základní druhy povlaků

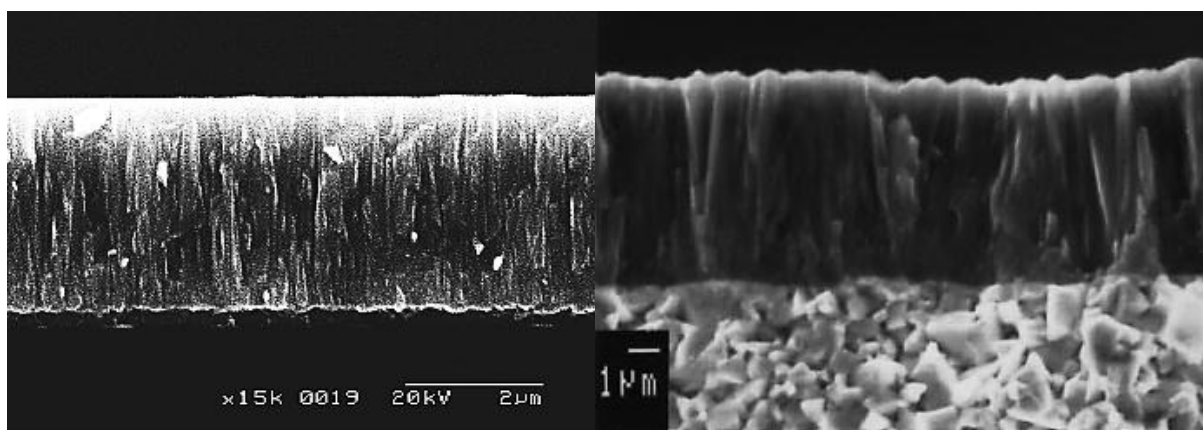
Jednou z důležitých částí vyměnitelné břitové destičky jsou povlaky vytvořené na povrchu zabraňující opotřebení či destrukci břitu. Z tohoto pohledu je nutné zvolit vhodnou metodu povlakování, a tím i nanášený povlak. U vytvářených vrstev je nutné zaručit jejich přilnavost, která plyne z přípravy základního povrchu substrátu, pomocných spojovacích vrstev a v neposlední řadě z adhezních vlastností nanášené vrstvy nebo jejich kombinací.

4.1 Jednovrstvé povlaky

Depozice tvrdých vrstev nitridů nebo karbidů na povrch substrátu je jednou z nejintenzivnějších metod pro zlepšení využitelnosti řezných nástrojů. Tvrdé povlaky jako TiN, TiCN, TiC nebo Al_2O_3 prodlužují životnost břitových destiček, zlepšují odolnost proti opotřebení a zvyšují odolnost proti chemicky agresivnímu prostředí. Opotřebení těchto destiček závisí na tvrdosti, modulu pružnosti, koeficientu tření povrchu a lomové houževnatosti.

Adheze povlaků představuje jeden z klíčových faktorů týkající se povlakovaných destiček. Z tohoto pohledu je nutné vytvořit přechodovou vrstvu mezi substrátem a povlakem, která zajistí dokonalou soudržnost. Při použití nových metod lze vytvořit povlak s výslednou drsností pod hranicí $Ra=0,1 \mu m$.²⁹

Na dnešním trhu je možné se setkat s mnoha jednovrstvými povlaky skládajícími se z TiN, TiC, TiAlN apod. Původně vyvinuté nejstarší vrstvy TiN (obr. 4.1) dosahují tvrdosti HV do 23 GPa a jejich maximální provozní teplota se pohybuje okolo 600 °C. Požadavek vyšší abrazivnosti vedl k vývoji tvrdších vrstev TiCN (obr. 4.2) s tvrdostí HV až 35 GPa na úkor provozní teploty do 450 °C. Na druhou stranu jejich výhoda spočívá v široké oblasti použitelnosti, kde se dají jen těžko nahradit. Další vývojovou skupinou jsou vrstvy TiAlN se HV svou tvrdostí až 33 GPa a vysokou provozní teplotou přesahující 800°C. Tyto vrstvy v kombinaci s dalšími prvky jako Cr, Y, Hf apod. v malém množství pozitivně ovlivňují strukturu vrstev, a tím přispívají k zvýšení jejich vlastností v provozním prostředí.³²



Obr. 4.1 Monovrstva z TiN¹⁰

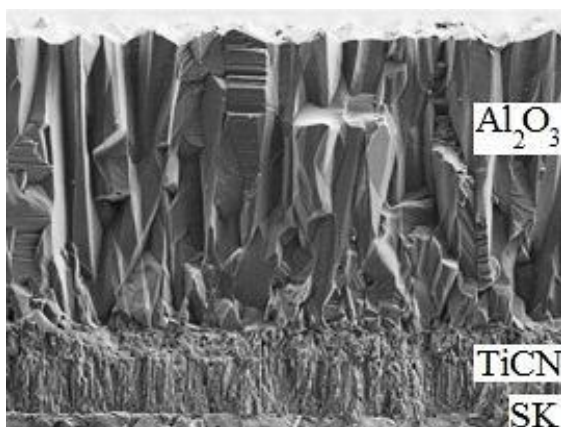
Obr. 4.2 Monovrstva z TiCN¹⁹

4.2 Vícevrstvé povlaky

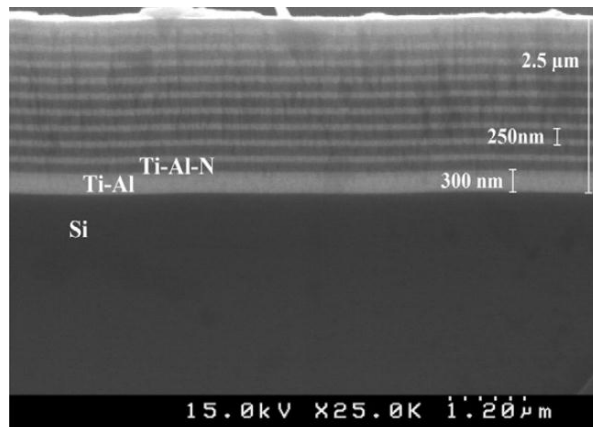
Postupným vývojem vznikl systém nanášení více vrstev povlaků pro dosažení neoptimálnějších vlastností břitových destiček. Tvorba multivrstvy se výrazně liší svým fyzikálním chováním oproti homogenní monovrstvě o stejném složení. Výška jedné vrstvy

povlaku se pohybuje kolem 10 nm, kde záleží na druhu vytvářeného povlaku. Multivrstvy obecně zvyšují odolnost proti šíření trhlin, a tím i výslednou měrnou tvrdost celkového povlaku.

Jedny z prvních vícevrstevých povlaků obsahovaly dvě až čtyři vrstvy s ostře ohraničenými přechody mezi jednotlivými vrstvami (obr. 4.3), některé z těchto povlaků se využívají dodnes. Nanášení těchto vrstev je obvykle řazeno dle adhezních vlastností jednotlivých povlaků, kde je jako první nanášena vrstva s nejlepší přilnavostí. U výsledné struktury je zejména požadována vysoká tvrdost, oxidace za zvýšených teplot a oteruvzdornost. Často používané struktury k tvorbě povlaku bývají TiC, TiN, TiCN, TiAlN, Al₂O₃, apod.



Obr. 4.3 Slinutý karbid povlakovaný vrstvami TiCN-Al₂O₃³⁸



Obr. 4.4 Povlakovaná křemíková destička vrstvami TiAl-TiAlN²²

Nejpočetnější povlaky mohou počítat přes deset vrstev a v zvláštních případech i mnohem více. Přechody mezi vytvářenými vrstvami nebývají natolik zřetelné jako u povlaků s menším počtem. Například na obrázku 4.4 je zobrazena křemíková destička povlakovaná multivrstvami TiAl a TiAlN.

Nanostrukturní vrstvy

Záměrem je vytvoření soustavy velmi tenkých povlaků s tloušťkami odpovídajícím atomárním mřížkám. Při dodržení podmínek přesných vrstev o konstantních tloušťkách se ovlivní krystalografická struktura jednotlivých vrstviček a vzniká celistvý povlak s výrazně vyšší tvrdostí. Dosažení takovýchto nanovrstev je možné jen při procesu nanášení tvrdých povlaků za podmínky rotace substrátu. Při výrobě není možné v současné době vytvářet nanovrstvy na nástrojích s různými složitými tvary a rozsáhlými rozměry. Většina současných povlakovacích zařízení neumožňuje změnu složení vrstev během jednoho procesu z důvodu uspořádání odprašovacích elektrod.³³

Nanokompozitní vrstvy

Materiál tvořený dvěma nebo více složkami, které jsou vzájemně nerozpustné, a přitom je jedna složka krystalická, nazýváme nanokrystalický kompozit. Na výslednou tvrdost má příznivý vliv právě malá zrnitost. Růst zrna nenastává ani u teplot nad 1000 °C, jedná se zde tedy o termodynamické materiály. Vysoká tvrdost materiálu je dána přítomností zrn v kompozitu, které slouží jako efektivní bariéra proti šíření poruch. Příkladem vrstev jsou (Ti, Si, Al)N, které tvoří nanokrystaly (Ti, Al)N s velikostí zrn pohybující se okolo 5 nm

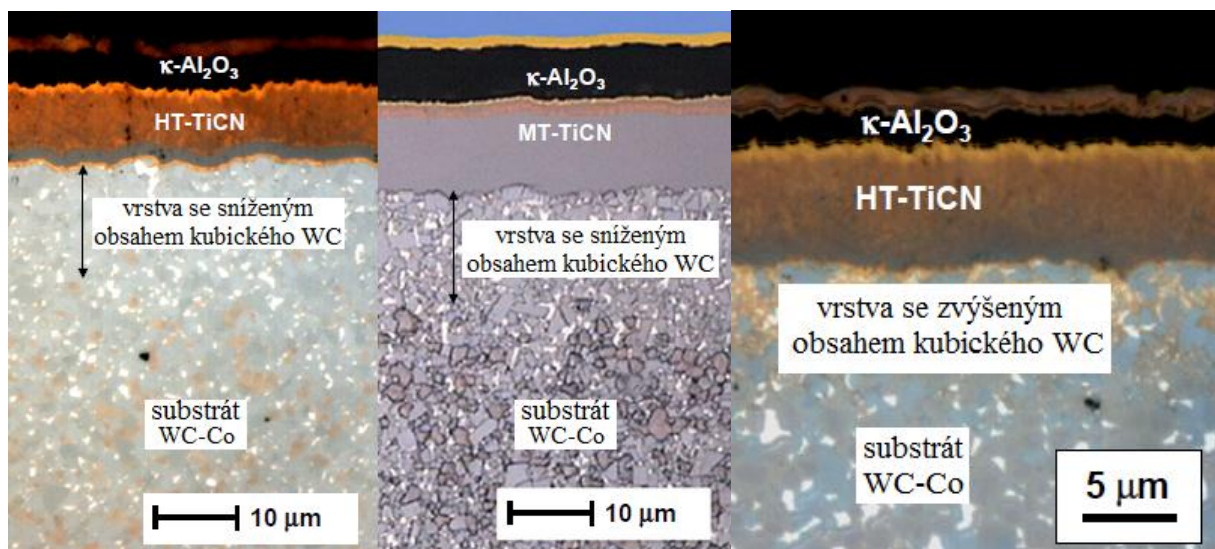
umístěné v amorfni matrici Si_3N_4 . Tvrdost u takto vytvořených materiálů dosahuje 40 až 50 GPa s neměničícími se vlastnostmi až do teplot přesahujících 1100 °C. ³³

Gradientní vrstvy

Tenké vrstvy aplikované na povrch podkladového materiálu, které upravují výsledné vlastnosti nanášeného povlaku. V mnoha průmyslových aplikacích jsou využívány k dosažení lepšího spojení substrátu a nanášeného povlaku. Gradientní vrstvy se dají rozdělit dle funkčního použití na houževnaté povrchy a odolné proti opotřebení. Houževnatého podkladu se docílí při snížení obsahu kubického karbidu wolframu s plošně středěnou mřížkou v povrchové vrstvě substrátu nebo jej lze obohatit kobalem. V případě požadavku na tvrdý základ se využívá opačného procesu, kde zvyšujeme v gradientní vrstvě obsah kubického WC s fcc mřížkou nebo snižujeme obsah Co.

Tyto vrstvy se upravují před vlastním procesem povlakování (CVD nebo PVD). V závislosti na druhu a způsobu nanášení povlaku byly vyvinuty různé typy povrchových úprav jako například leptání slinutého karbidu z důvodu zabránění reakce kovového pojiva s fází na povrchu.

Hnací silou je termodynamická vazba mezi Ti (Ta, Nb) a dusíkem. Konstrukce gradientní povrchové mikrostruktury a nanášeného povlaku závisí na oblasti použití daného nástroje. Díky tomu, že gradientní vrstvy slouží jako přechod mezi substrátem a povlakem, zmírňují termomechanické napětí, což vede k prodloužení životnosti nástroje. ⁴⁹



Obr. 4.5 Příklad povlaků nanesených na vrstvu se sníženým obsahem kubického WC: HM-2-HT-TiCN (vlevo), HM-2-MT-TiCN (vpravo) ⁴⁹

Obr. 4.6 Příklad povlaku naneseného na obohacenou vrstvu o kubický WC HM-1-N2-multivrstva ⁴⁹

5 Povlakované slinuté karbidy v sortimentu výrobců řezných nástrojů

Vzhledem k velmi široké nabídce vyměnitelných břitových destiček budou v této kapitole zmíněny pouze destičky z oblasti soustružení od vybraných výrobců (Pramet, Sandvik, Kennametal).

5.1 Pramet Tools s.r.o.

Tato česká firma se výrobou vyměnitelných břitových destiček zabývá od roku 1951, kdy byla zahájena výroba součástí ze slinutého karbidu a následně započala produkce řezných nástrojů osazených slinutým karbidem. V současnosti nabízí firma širokou škálu vyměnitelných břitových destiček. V příloze č. 1 jsou zaznamenány aplikované povlaky na vyměnitelných břitových destičkách ze slinutých karbidů, které nabízí výrobce v katalogu pro rok 2012 pro soustružení.

Ze sortimentu nabízených povlakovaných plátků této firmy je možné názorně vidět v tabulce 5.1, že nejčastější metodou nanášení povlaků je MTCVD. Jedná se zde o metodu, která vytváří povlaky při středních teplotách v rozsahu 800 až 900 °C. Nanesené povlaky mají širokou aplikační oblast z pohledu obráběných materiálů. Pramet Tools využívá i metody PVD k nanesení povlaku na vyměnitelnou břitovou destičku, u které je využívá výhody jednoduššího nanášení těžkotavitelných povlaků. Výrobce použil i kombinaci obou metod pro dosažení lepších vlastností výsledné struktury, jako je tomu u povlaku typu 6605 a 6615. U většiny nanášených povlaků je substrátu opatřen nanesenou gradientní vrstvou za účelem lepší adheze další nanášené vrstvy povlaku. Množství kobaltu v substrátu je ovlivněno požadovanou oblastí použití zhotovené břitové destičky, jako je výsledná houževnatost v poměru k tvrdosti.

Tab. 5.1 Výčet oblasti použití a způsobu nanášení povlaků firmy Pramet Tools pro soustružení³⁷

| Typ povlaku | Oblast použití | Metoda nanesení | Typ povlaku | Oblast použití | Metoda nanesení |
|-------------|--|-----------------|-------------|--------------------------------------|-----------------|
| 3025 | P25-P40, M20-M35, (K20-K40, N15-N30, S15-S25, H15-H25) | PVD | 8040 | M20-M35, S20-S30, (P30-P50, K20-K40) | PVD |
| 6605 | K05-K15, (P10-P20, H05-H15) | MTCVD a PVD | 9210 | P10-P25, (M10-M20, K05-K20) | MTCVD |
| 6615 | P10-P25, K05-K20 | MTCVD a PVD | 9230 | P10-P35, M10-M30, (K20-K35, S15-S25) | MTCVD |
| 6630 | P15-P35, M10-M30, (K20-K30, S15-S25) | MTCVD | 9235 | P15-P40, M15-M35, (K20-K35, S20-S30) | MTCVD |
| 6635 | P20-P40, M15-M35, (K15-K35) | MTCVD | 9310 | P10-P20 | MTCVD |
| 6640 | P20-P40, M20-M35, (K25-K40, S20-S30) | MTCVD | 9315 | P10-P25 | MTCVD |
| 8016 | K05-K25, N05-N25, H05-H15, (P05-P20, M05-M20, S05-S15) | PVD | 9325 | P15-P35 | MTCVD |
| 8030 | P25-P40, M20-M35, K20-K40, (N15-N30, S15-S25, H15-H25) | PVD | | | |

5.2 Sandvik Coromant

Historie firmy Sandvik Coromant začíná v roce 1862 kdy Göran Fredrik Göransson firmu založil. V první fázi firma vyráběla ocel. Roku 1942 začíná výroba nástrojů ze slinitých karbidů ve švédském městě Sandviken. Po 70 letém vývoji je firma jedním z největších výrobců obráběcích nástrojů a vyměnitelných břitových destiček. Použité druhy povlaků, které jsou naneseny na slinuté karbidy vhodné pro soustružení z nabízeného sortimentu firmy Sandvik Coromant, jsou zaznamenány v příloze č. 2, přičemž oblast použití je znázorněna v schématu a vhodnost povlaků v následující tabulce přílohy.

Firma Sandvik Coromant nabízí širokou škálu aplikovaných povlaků na slinutých karbidech vhodných pro soustružení, kde nejobvyklejší metodou nanášení otěruvzdorných vrstev je CVD, viz tabulka 5.2. Výrobce hojně užívá gradientní vrstvy pro dosažení ideálního spojení povlaku se substrátem za účelem delší životnosti a produktivnosti břitových destiček. Současně jsou metodou PVD nanášeny povlaky uplatňované u materiálů tříd M, N a S převážně pro dokončovací až lehce hrubovací soustružnické práce při vysokých rychlostech z důvodu vytvoření hladkého povlaku, který není náchylný na tvorbu trhlin a je schopný odolávat vysokým teplotám. Pro hrubování materiálů je používán tuhý, kobaltem obohacený substrát s gradientní vrstvou, jenž zajišťuje odolnost proti nárazům způsobeným zhoršenými provozními podmínkami.

Tab. 5.2 Výčet oblasti použití a způsobu nanášení povlaků firmy Sandvik Coromant pro soustružení ⁴⁰

| Typ povlaku | Oblast použití | Metoda nanesení | Typ povlaku | Oblast použití | Metoda nanesení |
|-------------|--------------------------------------|-----------------|-------------|---|-----------------|
| GC1005 | N05-N15, S10-S25 | PVD | GC3205 | K01-K15 | CVD |
| GC1105 | S05-S20, (M05-M20) | PVD | GC3210 | K01-K20 | CVD |
| GC1115 | M05-M25, S15-S25, (N10-N20) | PVD | GC3215 | K01-K25 | CVD |
| GC1125 | M10-M30, N15-N30, (P10-P30, S20-S30) | PVD | GC4205 | P01-P15, H05-H20 | CVD |
| GC1515 | P10-P30, (M10-M25) | CVD | GC4215 | P01-P30, (K10-K25, H05-H25) | CVD |
| GC2015 | M05-M25, (P20-P30) | CVD | GC4225 | P10-P40 | CVD |
| GC2025 | M15-M35, (P25-P40) | PVD | GC4235 | P20-P45 | CVD |
| GC235 | M25-M40 | CVD | GC15 | K05-K15, (P25-P40, M05-M25, N10-N20, S15-S25) | CVD |
| GC3005 | K01-K20 | CVD | GC30 | P01-P25, (M15-M25, K25-K40, S35-S45) | CVD |

5.3 Kennametal

V roce 1938, po letech výzkumu, metalurg Philip M. McKenna (USA) vytvořil směsný karbid (W,Ti)C, čímž způsobil průlom v produktivitě obrábění oceli. Následným vývojem vznikla roku 1948 v této firmě první mechanicky upínatelná břitová destička. V dnešní době je díky dlouholetému vývoji firma Kennametal světovou špičkou ve výrobě rezných nástrojů.

V příloze č. 3 (zjednodušeně v tab. 5.3) jsou charakterizovány povlaky, které jsou naneseny na substrátu ze slinutého karbidu pro použití v oblasti soustružení. Nanášené vrstvy jsou aplikovány pomocí metod PVD nebo CVD. Při použití metody PVD jsou vytvářeny

jednovrstvé nebo dvouvrstvé povlaky založené na TiAlN. Tyto břitové destičky mají široké využití od dokončovacích po středně hrubovací práce. U metody CVD jsou převážně aplikovány vícevrstvé povlaky obsahující dvě až čtyři vrstvy, kde nejčastěji používanými vrstvami bývají nitrid titanu (TiN), oxid hlinitý (Al_2O_3) a karbonitrid titanu (TiCN). Takto zhotovené břitové destičky mají široký rozsah použití, a to od dokončovacích až po těžce hrubovací práce.

Tab. 5.3 Výčet oblastí použití a způsobu nanášení povlaků firmy Kennametal pro soustružení ²⁴

| Typ povlaku | Oblast použití | Metoda nanesení | Typ povlaku | Oblast použití | Metoda nanesení |
|-------------|--|-----------------|-------------|------------------------------------|-----------------|
| KC5010 | P10-P20, M10-M20, K10-K20, N10-N20, S10-S20, H10 | PVD | KC9110 | P10-P20, K15-K20 | CVD |
| KC5025 | P20-P30, M20-M30, K20-K30, N20-N30, S20-S30 | PVD | KC9125 | P20-P30, K25-K35 | CVD |
| KC5410 | N05-N20 | PVD | KC9140 | P30-P40 | CVD |
| KC5510 | P10-P20, M10-M20, K10-K20, N10-N20, S10-S20, H10 | PVD | KC9225 | P20-P25, M15-M25 | CVD |
| KC5525 | P20-P30, M20-M30, K20-K30, N20-N30, S20-S30 | PVD | KC9240 | P40-P45, M30-M40 | CVD |
| KU10T | P10-P20, M10-M20, K10-K20, N10-N20, S10-S20, H10 | PVD | KC9245 | P40-P45, M35-M40 | CVD |
| KU25T | P20-P30, M20-M30, K20-K30, N20-N30, S20-S30 | PVD | KC9315 | P05-P10, K10-K20 | CVD |
| KC8050 | P25-P35, M20-M30, K30-K40 | CVD | KC9325 | P15-P20, K15-K30 | CVD |
| KC9040 | P30-P40 | CVD | KU30T | P20-P40, M25-M35, K30-K40, S25-S30 | CVD |

6 Vývojové trendy v oblasti povlakování řezných nástrojů

S neustálým vývojem výrobních technologií vznikají nové metody povlakování, materiály a druhy povlaků. Hlavním současným vývojovým trendem v obrábění se stávají super tvrdé materiály, jako jsou polykrystalický diamant a kubický nitrid boru. Jedná se o technické materiály, které svými vlastnostmi (především tvrdostí a otěruvzdorností) převyšují dosavadní používané řezné materiály.

Diamantové povlaky

Vyměnitelné břitové destičky opatřené povlakem z polykrystalického diamantu byly zhotoveny jako alternativa destiček s aplikovaným roubíkem připájeným na podložce ze slinutého karbidu. Jedním z hlavních důvodů nanášení diamantového povlaku byl větší pracovní rozsah, nižší výrobní cena a možnost tvarování břitu (zhotovení utvářečů).

Výzkum výroby diamantu z plynné fáze začíná kolem roku 1982, kde metodou CVD (PACVD, MWCVD) byly nanášeny vrstvy CH_4 . Postupným vývojem došlo k zdokonalování takto nanášených vrstev. Rychlost růstu povlaku se pohybuje okolo 1 μm za hodinu. Břitové destičky mají větší počet využitelných břitů než klasické destičky s roubíkem. K hlavním nedostatkům diamantových povlaků je neschopnost odolávat teplotním šokům, a tak jsou vhodné pouze pro dokončovací operace.

Povlaky z kubického nitridu boru

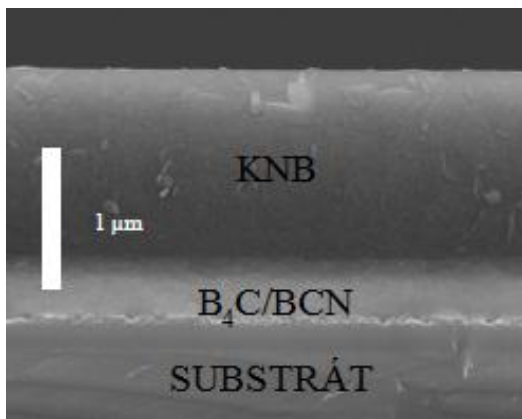
Kubický nitrid boru (KNB) je vhodnou alternativou pro obrábění tvrdých materiálů z důvodu jeho tepelných a mechanických vlastností. Zpravidla se vyrábí jako polykrystalický kubický nitrid boru při vysokých teplotách a tlacích (vyšších než u polykrystalického diamantu), kde je poněkud obtížné vytvořit kompaktní destičku s danou geometrií. Po diamantu je druhým nejtvrdějším uměle vyrobeným materiálem využívaným v obrábění.

Vývoj KNB začal již před 45 lety na Fraunhoferském institutu, kde se zabývali složitě vytvořenými povlaky uloženými na břitových destičkách s jednoduchou geometrií pro obrábění například kalených ocelí. Z důvodu obtížné realizace povlaku probíhají v několika posledních letech výzkumné práce pro zdokonalení syntézy KNB. Různé PVD, CVD a PECVD procesy měly snahu zlepšit tvorbu vrstev z KNB, přičemž vzniklé povlaky byly omezeny na tloušťku několika stovek nanometrů a křemíkový substrát. V současnosti se z důvodu levnější a jednodušší výroby KNB nachází ve formě roubíku, který je připájen na slinutý karbid. Vlastnosti těchto břitových destiček mohou být upraveny dalším povlakováním.⁷

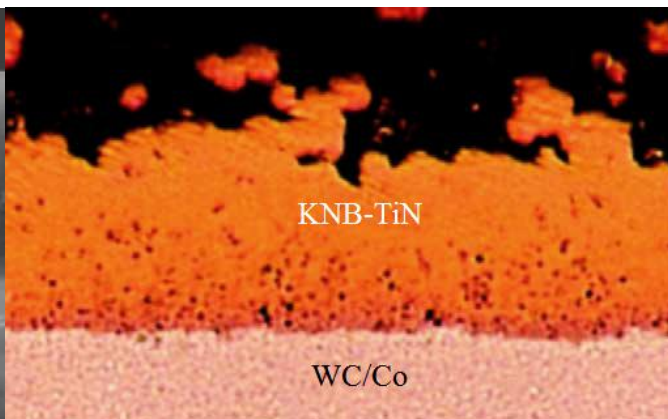
Dále se kubický nitrid boru používá jako součást multivrstvého povlaku s využitím základní vrstvy TiAlN (aplikována z důvodu lepší přilnavosti) na substrátu ze slinutého karbidu (WC/Co). KNB se poté nanáší zpravidla na směs krystalů $\text{B}_4\text{C}/\text{BCN}$ kvůli lepší adhezi vrstev, jak je možné vidět na obrázku 6.1. Velikost nanášené vrstvy KNB se pohybuje okolo 1-2 μm . Pro vytvoření silnějšího povlaku lze opakovaně nanášet kombinaci vrstev $\text{B}_4\text{C}/\text{BCN}$ -KBN.⁷

Kubický nitrid boru lze také nanášet jako kompozitní povlak KNB-TiN opět na substrát slinutého karbidu (WC/Co), viz obr. 6.2. Nanášení probíhá pomocí dvou metod. První vrstva je nanesena elektrostatickým nástřikem (ESC – Elektrostatic Spray Coating). Částice KNB vygenerované elektrostatickým výbojem postupují elektrickým polem k substrátu, kde vytvářejí povlak. Na jeho vlastnosti má vliv tlak uvnitř povlakovací komory, množství

a velikost částic prášku. V druhé fázi se využívá metody CVI (Chemical Vapour Infiltration), kterou se nanáší vrstva TiN. Tento způsob povlakování vychází z klasické metody CVD, kde povlak TiN roste rovnoměrně v celé hloubce předem vytvořeného povlaku KNB. Výsledkem je kompozitní povlak složený z matrice KNB s doplněným nitridem titanu pokrývajícím celý povrch. Takto složený povlak má nízkou drsnost a vysokou tvrdost při vynikající adhezi k substrátu. ⁸



Obr. 6.1 Multivrstvý povlak KNB ⁷



Obr. 6.2 Kompozitní vrstvy KNB-TiN ⁸

Závěr

Cílem bakalářské práce bylo charakterizovat jednotlivé metody nanášení tvrdých otěruvzdorných povlaků, uvést příklady povlakovaných slinutých karbidů v sortimentu vybraných tuzemských a zahraničních firem a nastínit vývojové trendy v této oblasti.

V první části práce jsou detailněji rozebrány materiály pro řezné nástroje v oblasti soustružení, jako jsou slinuté karbidy, cermety, řezná keramika a supertvrdé řezné materiály. Detailněji je popsána výroba prášku, následné slinování, broušení a jednotlivé úpravy před povlakováním u slinutých karbidů.

Druhá část práce se zabývá různými metodami povlakování, mezi základní patří metoda PVD, CVD a iontová implantace. Rozebrány jsou také speciální metody HiPIMS, ALD a TETRABOND. Zároveň jsou popsány základní druhy vrstev povlaků rozdělené dle počtu nanášených vrstev.

Poslední část práce shrnuje povlaky aplikované na slinuté karbidy v nabídce vybraných výrobců řezných nástrojů, jako jsou Pramet Tools, Sandvik Coromant a Kennametal, jejich zhodnocení z hlediska použitých metod a vhodnosti využití pro určité oblasti. Závěrečná část práce také popisuje některé trendy v oblasti použitých materiálů u nanášení tenkých vrstev. Obecně jsou popsány diamantové povlaky, podrobněji se dále práce zabývá povlaky z kubického nitridu boru.

Z hlediska vývoje trendů v povlakování, které směřují k vyšší efektivnosti výroby, je zřejmě nejvhodnějším povlakem pro další zkoumání kubický nitrid boru, především díky své vlastnosti vytvářet tvrdé, hladké a otěruvzdorné povlaky, které mají mnohem větší životnost než obvykle povlakované břitové destičky ze slinutého karbidu.

Seznam použitých zdrojů

1. About Physical Vapour Deposition. *Anti Microbial Aluminium Surfaces* [online]. 2012 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.antimas.dk/hipims.html>
2. Atomic Physics: Experimental. *Physics and Engineering Physics Chalmers/GU - Home* [online]. 2009 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.fy.chalmers.se/atom/research/nanotubes/experimental.xml>
3. B.M.I. FOURS INDUSTRIELS. *B5_T: Vacuum furnace for brazing/sintering*. Francie, [2011]. Dostupné z: <http://www.bmi-fours.com/IMG/pdf/BMI-B5-T-leaflet-5.pdf>
4. BACH, Friedrich-Wilhelm, Andreas LAARMANN a Thomas WENZ. *Modern surface technology*. Weinheim: Wiley-VCH, c 2006, 325 p. ISBN 35-273-1532-2.
5. BUNSHAH, Rointan F. *Handbook of Hard Coatings*. New York: William Andrew Publishing, 2001, 550 p. ISBN 0-8155-1438-7.
6. BUSS, Katharina. *Hightemperature deformation mechanisms of cemented carbides and cermets* [online]. Lausanne, 2004, s. 104 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2004/3095/EPFL_TH3095.pdf. Dizertační práce. École Polytechnique Fédérale de Lausanne.
7. *CNB Coatings on Cutting Tools*. Berlín. Dostupné z: http://www.iwf.tu-berlin.de/fileadmin/fg199/Hartspan-Projekt/NEWS/CBN_Coating.pdf
8. Cubic Boron Nitride (cBN) based nanocomposite coatings on cutting inserts with chip breakers for hard turning applications. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2005, Volume 200, Issue 5-6 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897205008157>
9. ČSN ISO 513. *Klasifikace a použití tvrdých řezných materiálů k obrábění kovů určeným ostřím: Označování skupin a podskupin použití*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
10. Effects of the thickness of Ti buffer layer on the mechanical properties of TiN coatings. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2002, Volume 171, Issues 1-3 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897203002433>
11. Evaporation Sources. R. D. MATHIS COMPANY. *R. D. Mathis Company: Quality hi-vacuum evaporation sources* [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.rdmathis.com/#filaments>
12. GOROKHOVSKY V. I. Characterization of cascade arc assisted CVD diamond coating technology: Part I. Plasma processing parameters. *Surface and Coatings Technology* [online]. 2005, roč. 2005, May, s. 344-362 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897204008667>
13. HOLUBÁŘ, Pavel, Michal ŠÍMA a Ondřej ZINDULKA. Technologie úprav nástrojů před a po povlakování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2005, č. 9 [cit. 2012-05-06]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/technologie-uprav-nastroju-pred-a-po-povlakovani.html>
14. HUBÁLEK, Jaromír. *Mikrotechnologie* [online]. Brno, 2011 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.umel.feec.vutbr.cz/nanoteam/index.php>

15. HUMÁR, Anton. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění, Brno, CCB spol. s.r.o. 1995, ISBN 80-85825c-10-4, 265s.
16. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
17. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje: Interaktivní multimediální text pro všechny studijní programy FSI* [online]. Brno, 2006 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf
18. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003, s. 73 [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
19. Characterization and properties of MTCVD TiCN and MTCVD ZrCN coatings. *Surface and Coatings Technology* [online]. 1999, Volumes 120-121, November [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0257897299004843>
20. Chemical Vapor Deposition CVD Process, Epitaxial Growth, CVD Reactors. *Electronic Circuits Diagrams-Electronics Projects Designs-Hobby Circuits* [online]. 2010 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.circuitstoday.com/chemical-vapour-deposition-cvd>
21. Chemical Vapor Deposition Variants. DOW CORNING. *Dow Corning Silicones* [online]. 2012 [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: http://www.dowcorning.com/content/etronics/etronicschem/etronics_newcvd_tutorial3.asp?DCWS=Electronics&DCWSS=Chemical%20Vapor%20Deposition
22. Improvement of mechanical and tribological properties in steel surfaces by using titanium–aluminum/titanium–aluminum nitride multilayered system. *Applied Surface Science* [online]. 2012, Volume 258, Issue 8 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433211019246>
23. Katedra tváření kovů a plastů: Skripta. LENDFELD, Petr. *Katedra strojírenské technologie: FS, TU v Liberci* [online]. Liberec, [2005] [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/12.htm
24. KENNAMETAL. *Kennametal Grade System for Cutting Materials*. 2012. Dostupné z: http://www.kennametal.com/images/pdf/products_services/metalworking/grade_system_for_cutting_materials.pdf
25. LÄMMLE, J. *Hardmetal in the toolmaker industry is a question of confidence*. Plansee TIZIT GmbH. Edition 1. January 1995.
26. Laser CVD. *Laser Micro/Nano Fabrication Laboratory* [online]. [2012] [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://laser.gist.ac.kr/board/bbs/board.php?bo_table=rese_02
27. LI, X. S. Ceramic cutting tools - an introduction. *Key Engineering Materials*. Vol. 96. 1994. pp. 1-18.
28. Linear antenna microwave plasma CVD deposition of diamond films over large areas. *Vacuum* [online]. 2012, Volume 86, Issue 6, s. 776-779 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042207X11002466>


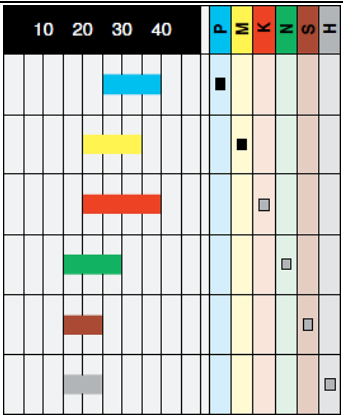

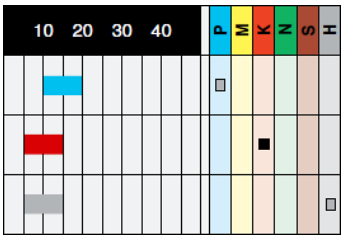

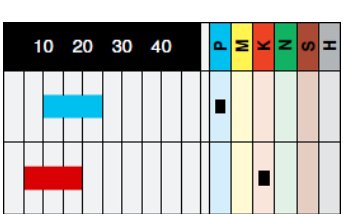

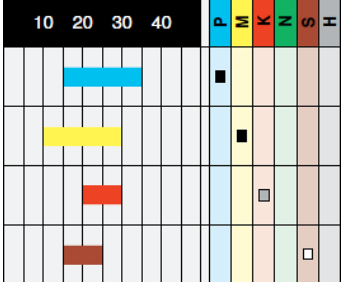

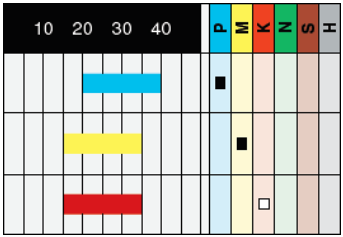
29. Mechanical properties of monolayer coatings deposited by PVD techniques. *Archives of Materials Science and Engineering* [online]. 2007, Volume 28, Issue 9 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: http://157.158.19.176/vol28_9/2895.pdf
30. MEISSNER, Caryn. Improving Catalysis with a "Noble" Material. *Science and Technology: Review* [online]. 2009, April/May [cit. 2012-05-07]. Dostupné z: <https://str.llnl.gov/AprMay09/biener.html>
31. MICHNIAK, Pavol. Příprava a analýza diamantovej štruktúry. *Posterus* [online]. 2012, roč. 5, č. 3 [cit. 2012-05-06]. ISSN 1338-0087. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=12893>
32. Moderní PVD povlaky pro řezné aplikace a tváření. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2004, č. 9 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.shm-cz.cz/files/literatura/30.pdf>
33. Nová průmyslová technologie povlakování. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2003, č. 4 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.shm-cz.cz/files/literatura/25.pdf>
34. NOVÁK, Zdeněk. Výběr nových řezných nástrojů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2004, č. 12 [cit. 2012-05-06]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyber-novych-reznych-nastroju.html>
35. Plasma & Coatings Physics. *IFM* [online]. 2012 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.ifm.liu.se/plasma/>
36. *Povrcháři* [online]. 2008, 2. číslo [cit. 2012-04-21]. ISSN 1802-9833. Dostupné z: http://povrchari.cz/kestazeni/200802_povrchari.pdf
37. PRAMET. *Soustružení*. Šumperk, 2012. Dostupné z: <http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Turning%202012%20CZ%20PROG.pdf>
38. Remaking the Grade. *Fabricating and Metalworking* [online]. 2012 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.fabricatingandmetalworking.com/2011/06/remaking-the-grade/>
39. Řezná keramika. *Sandvik Coromant* [online]. [c 2000] [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical_guide/materials/cutting_tool_materials/ceramics/pages/default.aspx
40. SANDVIK - COROMANT. *Turning Tools*. 2012. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/catalogues/en-gb/TURN_A.pdf#search=Turning
41. SANDVIK AB - SANDVIK CZ S.R.O. *Příručka obrábění: Kniha pro praktiky*. 1. vyd. Překlad Miroslav Kudela. Praha: Scientia, 1997, 1 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.
42. SOC Coating Technologies. SHOWA OPTRONICS CO., Ltd. *SOC Showa Optronics Co., Ltd.* [online]. © 2003-2011 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.soc-ltd.co.jp/en/seihin/optics/coating.html>
43. SOSNOVÁ, Martina. *Souvislost metod hodnocení adhezivně kohezivního systému tenká vrstva: substrát*. Plzeň, 2007. Disertační práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Jana Skálová.


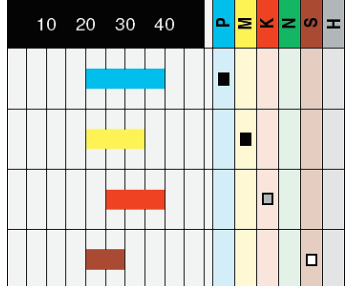

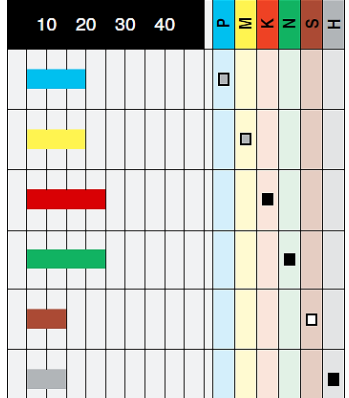

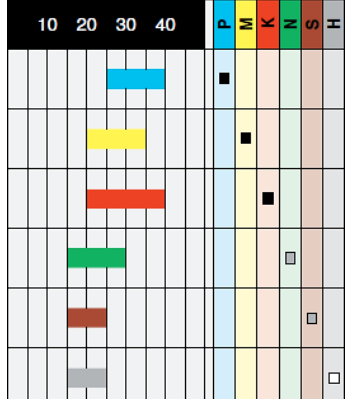

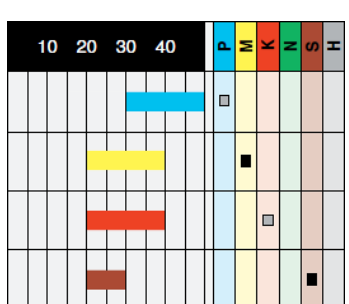

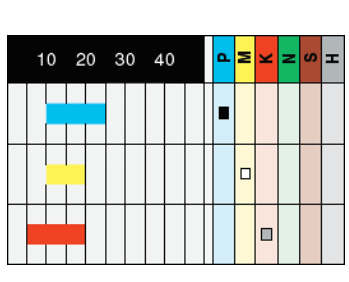
44. Sumitomo Products. SUMITOMO. *Sumitomo Turning, Boring, Milling, Drilling, CBN, PCD* [online]. c 2005 [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: <http://www.sumicarbide.com/prodline.htm>
45. Synthesis of carbon nanotubes by CO₂-laser-assisted chemical vapour deposition. *Infrared Physics & Technology* [online]. 2003, Volume 44, Issue 1 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350449502001585>
46. ŠÍMA, Michal a Roman JANKŮ. Mechanická úprava monolitních nástrojů před PVD povlaky. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2007, č. 4 [cit. 2012-05-06]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/mechanicka-uprava-monolitnich-nastroju-pred-pvd-povlaky.html>
47. TAEGUTEC ČR S.R.O. *Příručka obrábění*. Plzeň, [2009]. Dostupné z: http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka_obrabení.php
48. Tetrabond Technology. *Ionbond* [online]. [2011] [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.ionbond.com/dynasite.cfm?dsmid=83918>
49. The role of cemented carbide functionally graded outer-layers on the wear performance of coated cutting tools. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* [online]. 2011 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263436811002125>
50. Vacuum Evaporation Deposition, Vacuum Evaporation Equipment, Multilayer Thin Film Deposition. KAWAI OPTICS CO., Ltd. *KAWAI OPTICS CO., LTD.: Thin Film, Coating, Equipment* [online]. 2008 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://ns.kopt.co.jp/English/ca_jou-gi/joutyaku.html

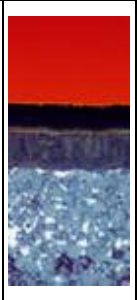
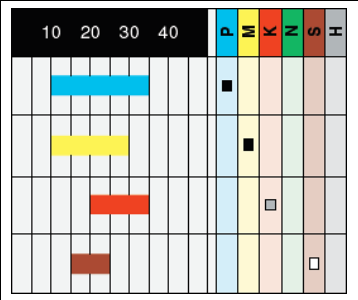

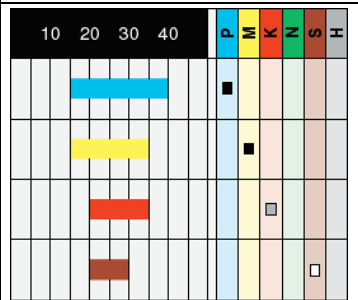

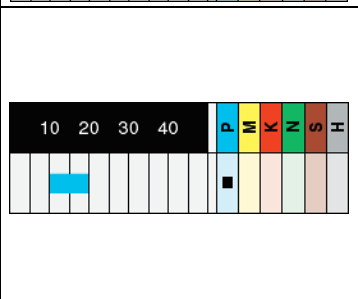

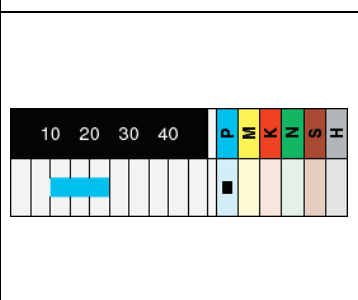

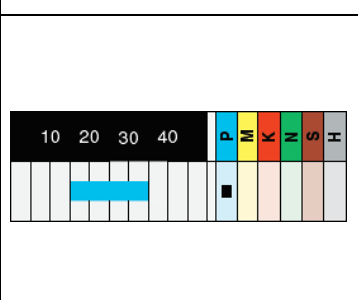



Přílohy

Příloha č. 1

Aplikované povlaky na slinutých karbidech firmy Pramet Tools pro soustružení ³⁷

| Č. | Struktura | Oblast použití | Doporučené použití |
|------|---|---|--|
| 3025 |  |  | Jedná se o nejnovější submikrometrový substrát typu H složený z multivrstev nanášených pomocí metody PVD s gradientními přechody. Při snížení vnitřního pnutí v povlaku došlo k zvýšení tvrdosti. Díky zmenšení vrubového opotřebení na hlavním břitu je možné dosáhnout dobré provozní spolehlivosti při ztížených záběrových podmínkách. Díky své univerzálnosti má rozsáhlé použití. Hlavní aplikační oblast leží v obrábění uhlíkových a legovaných ocelí, přičemž široké uplatnění nalezne i v oblasti litin. |
| 6605 |  |  | Jde o nejotěruvzdornější materiál řady 6000. Na použitý substrát typu h je nanesený povlak s nosnou vrstvou Al ₂ O ₃ metodami MTCVD a PVD. Destičky určené pro dokončovací až hrubovací soustružení přerušovaným řezem materiálů skupin K, P a H. Vhodný i pro suché obrábění vysokými řeznými rychlostmi s příznivými záběrovými podmínkami. |
| 6615 |  |  | Duální povlak nanesený na gradientní substrát s nízkým obsahem Co kombinací metod MTCVD a PVD s nosnou vrstvou TiCN. Vhodný pro dokončovací až hrubovací operace materiálů skupin P a K, při vhodných podmínkách aplikovatelný i pro skupinu M. Pro plynulý řez a podmíněně i mírně přerušovaný. |
| 6630 |  |  | Řezný materiál s nejuniverzálnějším využitím z řady 6000. Povlak nanesený metodou MTCVD na funkčně gradientní substrát s nosnou vrstvou TiCN. Vhodný pro skupiny materiálů P, M, K a dále aplikovatelný pro skupinu S. Použití dokončovací až hrubovací soustružení při středních zřídka vysokých řezných rychlostech. Vhodný pro kontinuální i přerušovaný řez. |
| 6635 |  |  | Tenký povlak nanesený metodou MTCVD na funkčně gradientním substrátu s relativně vysokým obsahem Co. Vhodný pro střední a hlavně vyšší průřezy třisek materiálů ze skupin P a M, podmíněně i K. Určen pro nižší až střední řezné rychlosti. Odolný v nepříznivých záběrových podmínkách a přerušovaném řezu. |

| | | | |
|------|---|---|---|
| 6640 |  |  | <p>Substrát vyrobený bez kubických karbidů (typ H) povlakovaný metodou MTCVD s tenkou nosnou vrstvou TiCN. Použití pro polohrubovací a hrubovací soustružení materiálů skupin P, M a dále aplikovatelný na K a S podmíněně. Doporučen pro nižší až střední řezné rychlosti v přerušovaných a nepříznivých záběrových podmínkách.</p> |
| 8016 |  |  | <p>Jedná se zde o nejotěruvzdornější materiál řady 8000. Submikrometrový substrát bez kubických karbidů (typ H) s nízkým obsahem Co, na kterém je nanostrukturní povlak nanesený metodou PVD. Určený pro operace charakterizované vysokou tepelnou zátěží. Z hlediska použitelnosti je velmi univerzální pro všechny druhy materiálů. Vhodný pro malé až střední průřezy třísek odebírané vysokou rychlostí při stabilních záběrových podmínkách.</p> |
| 8030 |  |  | <p>Jde o submikrometrový substrát typu H, na kterém je nanesený nanostrukturní povlak metodou PVD. Povlak kombinuje dobrou otěruvzdornost spolu s provozní spolehlivostí. Z hlediska obráběných materiálů je velmi univerzální. Jeho řezné rychlosti se pohybují v oblasti střední. Vhodný pro horší záběrové podmínky.</p> |
| 8040 |  |  | <p>Jedná se zde o nejhouževnatější materiál třídy 8000 skládající se ze submikrometrového substrátu bez kubických karbidů (typ H) s vysokým obsahem Co povlakovaný nanostrukturní vrstvou metodou PVD. Vhodný pro operace charakterizované vysokou mechanickou zátěží bříty pro materiály skupin M a S a aplikovatelný i pro P a K. Používaný v nestabilních záběrových podmínkách pro nízkou až střední rychlost.</p> |
| 9210 |  |  | <p>Nejotěruvzdornější materiál řady 9200 postavený na gradientním substrátu s relativně nízkým obsahem Co povlakovaný silnou nosnou vrstvou Al₂O₃ nanesenou metodou MTCVD. Díky speciální úpravě povlaku vhodný pro dokončování až hrubování materiálů skupin P a K podmíněně pro M. Určen pro vyšší řezné rychlosti v plynulém a mírně přerušovaném řezu.</p> |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 9230 |  |  | <p>Nejuniverzálnější materiál řady 9000 postavený na funkčně gradientním substrátu povlakovaný středně silným speciálním povlakem nanášeným metodou MTCVD. Vhodný pro dokončovací až hrubovací soustružení materiálů skupin P, M, K a aplikovatelný i pro skupinu S. Používaný při středních až vysokých rychlostech v plynulém i přerušovaném řezu.</p> |
| 9235 |  |  | <p>Středně silný povlak postavený na funkčně gradientním substrátu s relativně vysokým obsahem Co nanášený metodou MTCVD. Použití je pro hrubovací až dokončovací soustružení materiálů skupin P, M, K a možnost použití pro skupinu S. Využití při nepříznivých záběrových podmínkách, přerušovaném i plynulém řezu ve středních rychlostech.</p> |
| 9310 |  |  | <p>Nejotěruvzdornější materiál třídy 9300 založen na funkčně gradientním povlaku s nízkým obsahem Co povlakovaný silným povlakem s krycí vrstvou Al₂O₃ zaručující tepelnou, mechanickou a chemickou ochranu podkladového materiálu. Povlak je nanášen metodou MTCVD. Plátky jsou vhodné pro dokončovací operace s plynulým řezem s vysokými rychlostmi na materiál P.</p> |
| 9315 |  |  | <p>Materiál s dobrou otěruvzdorností a houževnatostí postaven na funkčně gradientním substrátu s nízkým obsahem Co povlakovaný silnou vrstvou metodou MTCVD. Nanesená vrstva povlaku obsahuje pojící složku Al₂O₃ zaručující tepelnou, mechanickou a chemickou stálost. Vhodný pro finální úpravy obrobku z materiálů třídy P obráběný středními a vysokými reznými rychlostmi.</p> |
| 9325 |  |  | <p>Nejhouževnatější materiál třídy 9300. Na funkčně gradientní substrát s vysokým obsahem Co je nanesen silný povlak metodou MTCVD a krycí vrstvou Al₂O₃. Vhodný pro obráběné materiály třídy P. Použitelný pro aplikace se středními rychlostmi na plynulých i přerušovaných řezech.</p> |
|  - hlavní oblast použití | |  - další použití |  - podmíněné použití |

Příloha č. 2

Schematické znázornění vhodnosti použití aplikovaných povlaků na vyměnitelných břitových destičkách firmy Sandvik Coromant určených pro soustružení ⁴⁰

| | ISO | ANSI | | |
|---|-----|------|----------------------|---|
| P OCEL | 01 | C8 | | ▲ |
| | 10 | C7 | | |
| | 20 | C6 | | |
| | 30 | | | |
| | 40 | | | |
| | 50 | C5 | | ▼ |
| M LEGOVANÁ OCEL | 10 | - | | ▲ |
| | 20 | - | | |
| | 30 | - | | |
| | 40 | - | | ▼ |
| K LITINA | 01 | C4 | | ▲ |
| | 10 | C3 | | |
| | 20 | C2 | | |
| | 30 | C1 | | |
| | 40 | | | ▼ |
| N NEŽELEZNÉ KOVY | 01 | C4 | | ▲ |
| | 10 | C3 | | |
| | 20 | C2 | | |
| | 30 | C1 | | ▼ |
| S SPECIÁLNÍ ŽÁRUPEVNÉ SLITINY | 01 | - | | ▲ |
| | 10 | - | | |
| | 20 | - | | |
| | 30 | - | | |
| | 40 | - | Ni-základ Ti-základ | ▲ |
| H ZUŠLECHTĚNÉ OCELI | 01 | C4 | | |
| | 10 | C3 | | |
| | 20 | C2 | | |
| | 30 | C1 | | ▼ |



Základní třída



Doplňková třída

▲ odolný vůči opotřebení

▼ houževnatý

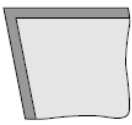


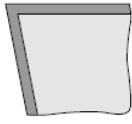
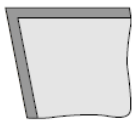
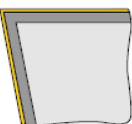

Aplikované povlaky na slinutých karbidech firmy Sandvik Coromant určené pro soustružení ⁴⁰

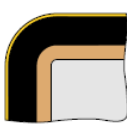
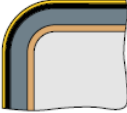





| | | |
|--|---|--|
| P | Skupina materiálů - oceli, ocelolitiny, temperované litiny | |
| Základní třída: | | |
| GC1515 P10-P30 (M10-M25) | Povlakovaný substrát metodou CVD tenkou vrstvou karbidu. Vhodný pro obrábění nízkolegovaných ocelí za použití nízké řezné rychlosti. Vhodný pro dokončovací operace plynulým řezem. | |
| GC4205 P01-P15 | Povlak nanášený CVD metodou s vynikající odolností proti vzniku trhlin. Vhodný pro plynulý řez a větší plochy třísek. Výhodou je schopnost odolávat vysokým teplotám i v suchém obrábění. | |
| GC4215 P01-P30 (K10-K25, H05-H25) | Karbíd povlakovaný CVD metodou pro dokončovací až hrubovací soustružení s plynulým řezem. Gradientní vrstva substrátu zajišťuje optimální tvrdost a houževnatost. Je schopen odolávat vysokým teplotám. | |
| GC4225 P10-P40 | Povlak nanášený na gradientní substrát metodou CVD. Vhodný pro dokončování až hrubování ocelí a odlitků oceli. Odolný vůči vysokým teplotám s optimálním poměrem tvrdosti a houževnatosti. Určen pro přerušované řezy při vyšším úběru třísky. | |
| GC4235 P20-P45 | Slinutý karbid povlakovaný CVD metodou určený pro hrubování za nepříznivých podmínek. Gradientní substrát s optimalizovaným poměrem tvrdosti a houževnatosti zaručuje odolnost proti opotřebení. Použitelný pro přerušované řezy s vyšším úběrem třísky. | |
| Doplňková třída: | | |
| GC30 P01-P25 (M15-M25, K25-K40, S35-S45) | Povlak nanášený pomocí CVD metody pro lepidivé materiály. Vhodný na hrubování při středních rychlostech. | |
| M | Skupina materiálů - austenitická, feritická, martenzitická ocel, ocelolitina, mangánová ocel, slitiny železa | |
| Základní třída: | | |
| GC1125 M10-M30, N15-N30 (P10-P30, S20-S30) | Metodou PVD nanášený povlak. Vhodný pro opracování veškerých nerezavějících ocelí při nízké řezné rychlosti. Je vhodný pro přerušované řezy, dále vysoká odolnost proti teplotnímu šoku. | |
| GC2015 M05-M25 (P20-P30) | Povlak nanášený CVD metodou vhodný pro dokončovací a lehce hrubovací operace korozivzdorných ocelí. Díky své odolnosti proti opotřebení za vysokých teplot je vhodný pro plynulé řezy při středních až vyšších rychlostech. | |
| GC2025 M15-M35 (P25-P40) | Slinutý karbid povlakovaný PVD metodou doporučený pro dokončovací až hrubovací soustružení austenitických ocelí při nižších rychlostech. Výhodou je odolnost proti opotřebení za vysokých teplot a odolnost proti teplotním šokům. Vhodný pro přerušované řezy. | |
| GC235 M25-M40 | Na slinutém karbidu nanášený povlak metodou CVD. Doporučený pro hrubování korozivzdorných ocelí a ocelolitín. Tuhý substrát umožňuje obrábění při nižších rychlostech přerušovaného řezu. | |
| GC1115 M05-M25, S15-S25 (N10-N20) | Metodou PVD nanášený povlak na jemnozrnný slinutý karbid s vysokou tvrdostí a dobrou odolností proti plastické deformaci břitu. Vhodný pro vysoký výkon. | |


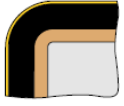
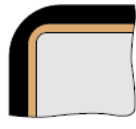
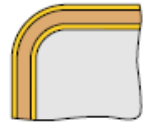
| | |
|---|--|
| K | Skupina materiálů - litina, tvrzená litina, tvárná litina |
| Základní třída: | |
| GC3205 K01-K15 | Slinutý karbid povlakovaný metodou CVD odolný vůči opotřebení při zachování tvrdého podkladu. Vhodný pro vysoké řezné rychlosti. |
| GC3210 K01-K20 | Slinutý karbid povlakovaný silnou vrstvou, metodou CVD. Doporučuje se pro vysokorychlostní obrábění tvárné litiny. |
| GC3215 K01-K25 | Silný povlak nanesený na slinutém karbidu metodou CVD, který je zvláště odolný proti opotřebení a dokáže odolávat přerušovaným řezům. Doporučen obecně pro hrubování při nižších až středních rychlostech. |
| Doplňková třída: | |
| GC3005 K01-K20 | Povlak nanesený metodou CVD na slinutý karbid odolný vůči opotřebení a vysokým teplotám. Vhodný pro dokončovací práce. |
| GC15 K05-K15 (P25-P40, M05-M25, N10-N20, S15-S25) | Metodou CVD povlakovaný slinutý karbid vhodný pro dokončovací operace, při nízkých a středních rychlostech. |
| N | Skupina materiálů - neželezné kovy |
| Základní třída: | |
| GC1005 N05-N15, S10-S25 | Slinutý karbid povlakovaný metodou PVD. Jeho kombinace tvrdé části povlaku s měkčím substrátem má za následek vysokou odolnost proti opotřebení a je nejvhodnější pro hrubování. |
| S | Skupina materiálů - speciální žárupevné oceli |
| Základní třída: | |
| GC1105 S05-S20 (M05-M20) | Substrát se skládá z jemnozrnného WC s 6% Co. Nanášený povlak TiAlN metodou PVD má vynikající přilnavost a zaručenou houževnatost, je vhodný pro dokončovací operace při vysokých rychlostech. |
| H | Skupina materiálů - zušlechtnuté oceli |
| Doplňková třída: | |
| GC4205 H05-H20 | Slinutý karbid povlakovaný metodou CVD. Vhodný pro hrubování s plynulým řezem při nízkých řezných rychlostech. |

Příloha č. 3

Aplikované povlaky na slinutých karbidech firmy Kennametal pro soustružení ²⁴

| KC5010 |  TiAlN | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>K</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>N</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | K | | | | | | | | | | N | | | | | | | | | | S | | | | | | | | | | H | | | | | | | | | | <p>Nový zlepšený jednovrstvý povlak TiAlN nanesený metodou PVD na slinutý karbid. Vhodný na dokončovací operace při vyšších rychlostech zvláště pro ocel, nerezové oceli, litiny a neželezné materiály.</p> |
|---------------|---|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KC5025 |  TiAlN | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>K</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>N</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | K | | | | | | | | | | N | | | | | | | | | | S | | | | | | | | | | <p>Nový otěruvzdorný povlak TiAlN na tuhém jemnozrnném podkladu nanášený metodou PVD. Vhodný pro dokončovací až hrubovací práce při nižších až středních rychlostech v přerušovaném řezu s vysokým posuvem pro materiály skupin P, M, K, N a S.</p> | | | | | | | | | | |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KC5410 |  TiB ₂ | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>N</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | N | | | | | | | | | | <p>Jednovrstvý povlak TiB₂ (tvrdší než TiAlN) odolný vůči deformaci a nanesený na slinutém karbidu metodou PVD. Plátek je určen pro dokončovací obrábění při vyšších rychlostech materiálů skupiny N. Díky nízké afinitě a hladkému povlaku k obráběnému materiálu má vynikající odolnost proti opotřebení.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KC5510 |  TiAlN | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>K</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>N</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | K | | | | | | | | | | N | | | | | | | | | | S | | | | | | | | | | H | | | | | | | | | | <p>Jemnozrnný karbid wolframu povlakovaný metodou PVD novým povlakem TiAlN je navržen pro obrábění žárupevných ocelí vysokými rychlostmi. Jemnozrnný WC s 6% Co má vynikající tuhost a odolnost proti deformaci bříty.</p> |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KC5525 |  TiAlN | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>K</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>N</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | K | | | | | | | | | | N | | | | | | | | | | S | | | | | | | | | | <p>Metodou PVD nanášený nový jednovrstvý povlak TiAlN na jemnozrnný karbid wolframu s vysokým obsahem Co vhodný pro hrubování s přerušovanými řezy při vyšších rychlostech pro skupiny materiálů P, M, K, N a S.</p> | | | | | | | | | | |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KU10T |  TiN TiAlN | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>K</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>N</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>H</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | K | | | | | | | | | | N | | | | | | | | | | S | | | | | | | | | | H | | | | | | | | | | <p>Dvouvrstvý povlak nanesený pokročilou metodou PVD na slinutém karbidu se zvýšenou odolností vůči deformaci bříty. Plátek je určen pro dokončovací operace plynulým řezem pro materiály všech skupin.</p> |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KU25T |  TiN TiAlN | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>K</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>N</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | K | | | | | | | | | | N | | | | | | | | | | S | | | | | | | | | | <p>Tuhý a vysoce odolný substrát proti opotřebený povlakovaný pokročilou metodou PVD určený pro dokončování až hrubování materiálů skupin P, M, K, N a S při plynulém řezu. Substrát s vyšším obsahem Co poskytuje dostatečnou houževnatost při dané pevnosti.</p> | | | | | | | | | | |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| KC8050 |  <p>TiN Al₂O₃ TiCN</p> | <table border="1" data-bbox="486 257 842 369"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>K</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | K | | | | | | | | | | <p>Vícevrstvý povlak nanášený metodou CVD na slinutý karbid, obohacený Co vhodný pro hrubovací operace, díky vysoké odolnosti proti opotřebení může pracovat v suchém prostředí za vysokých rychlostí v přerušovaných řezech. Doporučuje se pro materiály skupin P, M a K.</p> |
|--------|--|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KC9040 |  <p>TiN Al₂O₃ TiC TiCN</p> | <table border="1" data-bbox="486 504 842 571"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | <p>Substrát s vyšším obsahem Co z slinutého karbidu povlakovaný metodou CVD navržen pro hrubovací práce v náročných pracovních podmínkách, kdy je nutná vysoká pevnost bříty a dlouhá životnost.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KC9110 |  <p>TiN Al₂O₃ MT-TiCN</p> | <table border="1" data-bbox="486 739 842 828"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>K</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | K | | | | | | | | | | <p>Speciálně vyvinutý slinutý karbid obohacený Co s nanesenými vrstvami metodou CVD je vhodný pro dokončovací až střední hrubovací operace, díky své vysoké odolnosti proti opotřebení má využití v materiálech skupin P a K vyššími rychlostmi. Použitý substrát poskytuje vysokou tvrdost.</p> | | | | | | | | | | |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KC9125 |  <p>TiN Al₂O₃ MT-TiCN</p> | <table border="1" data-bbox="486 1041 842 1131"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>K</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | K | | | | | | | | | | <p>Tvrký kobaltem obohacený slinutý karbid, na kterém je nanesen vícevrstvý povlak metodou CVD, má vysokou houževnatost s dostatečnou odolností proti deformaci bříty, vhodný pro hrubovací práce při přerušovaných řezech na materiálech skupin P a K. Konstrukce povlaku dobře odolává třecímu teplotě.</p> | | | | | | | | | | |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KC9140 |  <p>TiN Al₂O₃ MT-TiCN TiN</p> | <table border="1" data-bbox="486 1355 842 1422"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | <p>Nově vyvinutý vícevrstvý povlak nanesený na substrátu ze slinutého karbidu metodou CVD. Vhodný pro hrubování materiálů skupiny P, kde je důležitá pevnost destičky při daných podmínkách. Speciálně konstruovaná mezivrstva zajišťuje vynikající přilnavost vnějšího povlaku a dlouhou životnost.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KC9225 |  <p>TiN Al₂O₃ MT-TiCN TiN</p> | <table border="1" data-bbox="486 1635 842 1724"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | <p>Vícevrstvý povlak nanesený na slinutý karbid obohacený Co pomocí metody CVD, je navržen pro hluboké řezy polodokončovacích operací. Vhodný pro materiály skupin P a M. Obohacení substrátu Co zajišťuje optimální poměr tvrdosti a houževnatosti.</p> | | | | | | | | | | |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KC9240 |  <p>TiN Al₂O₃ MT-TiCN TiN</p> | <table border="1" data-bbox="486 1881 842 1971"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | <p>Vícevrstvý povlak nanášený metodou CVD na slinutý karbid obohacený Co je určen pro nejnáročnější hrubovací práce za středních rychlostí pro materiály skupin P a M. Má vynikající odolnost proti teplotnímu šoku a vysokou tuhost.</p> | | | | | | | | | | |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| KC9245 |  <p>TiN Al₂O₃ MT-TiCN TiN</p> | <table border="1" data-bbox="485 277 847 360"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | <p>Metodou CVD nanesený vícevrstvý povlak na slinutý karbid je speciálně navržen pro nejtěžší řezné podmínky. Díky tuhosti substrátu vydrží přerušovaný řez a hladký povlak odolává tvorbě trhlin. Vhodný pro nízké řezné rychlosti a vysoký úběr materiálu skupin P a K.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KC9315 |  <p>TiN Al₂O₃ MT-TiCN</p> | <table border="1" data-bbox="485 555 847 638"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>K</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | K | | | | | | | | | | <p>Na slinutý karbid je nanesený nový vícevrstvý povlak metodou CVD, který je navržen pro dokončovací operace vysokou řeznou rychlostí materiálů skupin P a K. Silná vrstva TiCN zajišťuje vysokou životnost nástroje. Tato třída povlaků se používá pro plynulý až lehce přerušovaný řez.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KC9325 |  <p>Al₂O₃ TiCN</p> | <table border="1" data-bbox="485 824 847 907"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>K</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | K | | | | | | | | | | <p>Povlak nanesený metodou CVD na slinutý karbid je navržen pro obrábění materiálů z litiny případně i oceli. Široký rozsah použití plátku umožňuje dokončovací až hrubovací práce.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KU30T |  <p>TiN TiCN TiN</p> | <table border="1" data-bbox="485 1032 847 1160"> <thead> <tr> <th></th> <th>05</th> <th>10</th> <th>15</th> <th>20</th> <th>25</th> <th>30</th> <th>35</th> <th>40</th> <th>45</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>M</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>K</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | P | | | | | | | | | | M | | | | | | | | | | K | | | | | | | | | | S | | | | | | | | | | <p>Substrát obohacený kobaltem povlakovaný metodou CVD. Nový povlak je speciálně navržen pro široké použití v oblasti hrubování materiálů skupin P, M, K a S. Kobalt dodává substrátu houževnatost při dostatečné tvrdosti.</p> |
| | 05 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |