



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SUPERTVRDÉ ŘEZNÉ MATERIÁLY

SUPERHARD CUTTING MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PETR MLČOCH

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojírenského inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Mlčoch

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:

Supertvrdé řezné materiály

v anglickém jazyce:

Superhard cutting materials

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na supertvrdé materiály (polykrystalický diamant a polykrystalický kubický nitrid boru) z hlediska výroby, rozdělení, označování, fyzikálně mechanických vlastností, aplikačních oblastí a současných trendů vývoje a výroby u renomovaných špičkových producentů nástrojů a nástrojových materiálů.

Cíle bakalářské práce:

1. Základní dělení materiálů pro řezné nástroje
2. Charakteristika supertvrdých materiálů (druhy, výroba, značení, fyzikálně mechanické vlastnosti, metody povlakování)
3. Supertvrdé materiály v sortimentu výroby nejvýznamnějších domácích a světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů

Seznam odborné literatury:

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. BROOKES, K.J.A. Hardmetals and other Hard Materials. Second Edition. Shrewsbury, England: European Powder Metallurgy Association, 1992. ISBN 0 9508995 3 4.
3. BROOKES, K.J.A. World Directory and Handbook of Hardmetals and Hard materials. Sixth Edition. East Barnet Hertfordshire, United Kingdom: International Carbide Data, 1996. ISBN 0 9508995 4 2.
4. ČSN-ISO 3685. Zkoušky trvanlivosti při soustružení jednobřítým nástrojem. Praha. Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993.
5. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing s. r.o., 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. LEICHTFRIED, G., SAUTHOFF, G., SPRIGGS, G.E. Refractory, Hard and Intermetallic Materials. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2002. ISBN 3-540-42961-1.
7. Technické materiály a prospekty firem Ceratizit, Iscar, Kennametal, Korloy, Mitsubishi, Pramet Tools, Sandvik Coromant, Seco, Walter, Widia.
8. Odborné časopisy International Journal of Refractory Metals & Hard Materials (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02634368>), Journal of Materials Processing Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09240136>), Materials Science and Engineering: A (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09215093>), 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., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá supertvrdými řeznými materiály, mezi které patří diamant a kubický nitrid boru. Je členěna do tří částí. V první je krátké shrnutí materiálů řezných nástrojů používaných v současnosti ke strojnímu obrábění. Druhá část se věnuje dělení, výrobě a vlastnostem supertvrdých řezných materiálů. Poslední část představuje supertvrde řezné materiály v nabídce dvou významných výrobců nástrojových materiálů a dvou výrobců nástrojů.

Klíčová slova

diamant, kubický nitrid boru, řezné materiály

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with superhard cutting tool materials, which include diamond and cubic boron nitride. It is divided into three parts. In the first one there is a short summary of cutting tool materials currently used for machining. The second part pursues sorts, production and properties of superhard cutting materials. The last part represents superhard cutting materials in the offer of two important producers of cutting tool materials and two producers of cutting tools.

Key words

diamond, cubic boron nitride, cutting materials

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MLČOCH, P. Supertvrde řezné materiály. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 29 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Anton Humár, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma supertvrdé řezné materiály vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Petr Mlčoch

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Antonu Humárovi, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	8
1 Základní dělení materiálů pro řezné nástroje	9
1.1 Nástrojové oceli	9
1.2 Slinuté karbidy	9
1.3 Řezná keramika	10
1.4 Cermety	10
1.5 Supertvrdé řezné materiály	10
2 Charakteristika supertvrdých materiálů	11
2.1 Druhy a značení	11
2.2 Výroba	12
2.3 Fyzikálně mechanické vlastnosti	14
2.4 Metody povlakování	17
3 Supertvrdé materiály v sortimentu výroby nejvýznamnějších světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů	19
3.1 Diamond Innovations - dříve GE [®] Superabrasives	19
3.2 Element Six	21
3.3 Sandvik Coromant	23
3.4 SECO	24
ZÁVĚR	26
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	27
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	29

ÚVOD

V dnešní době je k dispozici poměrně široká škála nástrojových materiálů, které mají různé vlastnosti a oblasti použití. Nejširší aplikační rozsah mají slinuté karbidy (SK), ale ani ty nejsou vhodné zdaleka pro všechny druhy obráběného materiálu. Mezi běžně užívané nástrojové materiály se dále řadí rychlořezné oceli, řezná keramika, cermety a supertvrdé řezné materiály.

Pojem supertvrdé řezné materiály zahrnuje především kubický nitrid boru a diamant. Průkopníkem v oblasti těchto materiálů byla firma General Electric, jejíž pracovníci v roce 1955 jako první oznámili a vědecky doložili výrobu syntetického diamantu pomocí metody HPHT (High Pressure High Temperature). Dnes mají supertvrdé řezné materiály své neodmyslitelné zastoupení ve specifických aplikacích, jako je například obrábění slitin hliníku s vysokým obsahem křemíku nebo slitin titanu, kde mají oproti tradičním nástrojům ze SK mnohonásobně vyšší životnost, která kompenzuje jejich vysokou cenu.

Cílem této práce je podat přehled o druzích, výrobě, vlastnostech a oblastech použití supertvrdých řezných materiálů i seznámení se s jejich nabídkou v sortimentu nejvýznamnějších světových producentů, kterými jsou firmy Diamond Inovation (dříve GE Superabrasives) a Element Six (patřící do rodiny De Beers).

1 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ MATERIÁLŮ PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE

V současnosti je na trhu poměrně široká škála různých nástrojových materiálů, které se od sebe navzájem liší svými vlastnostmi a oblastmi použití. Obráběné materiály rozdělujeme podle ISO 513 do 6 základních kategorií, které sdružují materiály s podobným typem zatížení a opotřebením. Tyto kategorie se značí písmeny P, M, K, N, S a H viz tab. 1.1. Za tuto kategorii se pak přidává číslo (např. P20). Toto číslo určuje objem pojiva. S vyšším obsahem pojiva se zvedá houževnatost a pevnost v ohybu. Naopak se snižuje tvrdost. Obecně platí, že větší tvrdost materiálu nám umožňuje obrábět vyššími řeznými rychlostmi a vyšší houževnatost dovoluje větší rychlost posuvu a průřez třísky. Nástrojové materiály se často povlakuji tenkou vrstvou materiálu s vysokou tvrdostí, která vylepšuje jejich vlastnosti jako jsou tvrdost, odolnost proti opotřebením nebo například tepelná a chemická odolnost. Základní metody povlakování jsou:

- Metoda PVD (Physical vapor deposition) - fyzikální napařování/naprašování při nízkých teplotách (okolo 500°C)
- Metoda CVD (Chemical vapor deposition) - chemické napařování z plynné fáze za vysokých teplot (1000-1200°C)

Mezi nejvýznamnější zástupce nástrojových materiálů patří:

1.1 Nástrojové oceli

Dělí se na nelegované, legované a vysokolegované (rychlořezné). Pro strojní obrábění se používají převážně oceli rychlořezné (RO). Nástrojové oceli mají vysokou houževnatost, ale poměrně nízkou tvrdost. RO se tepelně zpracovávají, a to kalením a následným několikanásobným popouštěním. Řezné rychlosti RO jsou ve srovnání s ostatními řeznými materiály velmi nízké (typicky 25-50 m·min⁻¹)[10]. Používají se na tvarově složité nástroje.

1.2 Slinuté karbidy

Jsou to materiály vyráběné práškovou metalurgií. Skládají se z různých karbidů a kovového pojiva. Základem je karbid wolframu (WC), ke kterému se může přidat karbid titanu (TiC), tantalu (TaC) nebo niobu (NbC). Jako pojivo se pak často používá kobalt (Co). SK mají vysokou houževnatost a lomovou pevnost, avšak jejich termochemická stabilita je nízká [7]. Hodí se proto na těžké přerušované řezy a na obrábění velkými posuvovými rychlostmi. SK se velmi často povlakuji. Používají se termochemicky stabilní tvrdé povlaky, které umožňují obrábění vysokými řeznými i posuvovými rychlostmi. Povlakové SK mají nejširší možnosti použití.

Tab. 1.1 Dělení materiálu do skupin podle obrobitelnosti dle ČSN ISO 513 [17]

Skupina	Obráběný materiál
P	Legované, nelegované, nástrojové, feritické a martenzitické korozivzdorné oceli
M	Austenitické a feriticko austenitické oceli, korozivzdorné oceli, žáruvzdorné oceli
K	Šedá, tvárná a temperovaná litina
N	Neželezné kovy, slitiny Al a Cu
S	Žárupevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe a Ti
H	Zušlechtnuté oceli s pevností nad 1500 MPa, kalené oceli, tvrzené kokilové litiny

1.3 Řezná keramika

Je to tvrdý materiál, který má vysokou tvrdost i za vyšších teplot a nereaguje chemicky s materiálem obrobku [10]. Je však velmi křehký a má nízkou tepelnou vodivost. Zpravidla se dělí na :

- Oxidační keramiku založenou na Al_2O_3 která má vysokou řeznou rychlost a nízkou posuvovou rychlost
- Nitridovou keramikou založenou na Si_3N_4 která má vyšší houževnatost a tím pádem se hodí na vyšší posuvové rychlosti než keramika oxidační a na přerušované řezy [10].

Keramika se dnes často vyztužuje vlákny SiC (tzv. whiskery), které se projevují výrazných nárůstem houževnatosti.

1.4 Cermety

Cermety jsou kompozitní materiály vyráběné práškovou metalurgií. Skládají se z tvrdé keramiky (např. Ti(C,N)) a houževnatého kovu sloužícího jako pojivo (např. Co). Jejich hlavní výhodou je vysoká tvrdost (i za zvýšených teplot). Naproti tomu nevýhodou je nízká houževnatost. Z toho také vyplývá původní použití převážně pro dokončovací operace (vysoké řezné rychlosti při malém posuvu). Další výhodou oproti SK je nižší cena a vyšší chemická stabilita. Cermety se mohou také povlakovat pomocí metody PVD pro zvýšení jejich odolnosti proti otěru.

1.5 Supertvrde řezné materiály

Jako supertvrde řezné materiály se označují kubický nitrid boru a diamant, o kterých pojednává zbytek této práce.

2 CHARAKTERISTIKA SUPERTVRDÝCH MATERIÁLŮ

Mezi supetrvrde řezné materiály jsou řazeny především dva synteticky vyráběné materiály a to kubický nitrid boru (KNB) a polykrystalický diamant (PD). Jejich výroba probíhá za vysokých tlaků a teplot a je velmi nákladná. Proto se často z PD nebo KNB dělá pouze roubík, který je připevněn pomocí pájení na břitovou destičku ze slinutého karbidu. Přes svoji vysokou cenu má jejich použití v některých aplikacích své opodstatnění kvůli jejich výjimečným vlastnostem, díky kterým mohou být použity pro velmi vysoké řezné rychlosti a vykazují mnohem menší opotřebení než materiály z jiných řezných nástrojů.

Nástroje z PD se kvůli nízké termochemické stabilitě nehodí pro obrábění za vysokých teplot (teplota by neměla překračovat 700 °C) [11] a obráběný materiál nesmí být afinní k uhlíku. Proto se nehodí k obrábění slitin na bázi železa (litiny a oceli). PD se používají k obrábění neželezných kovů a jejich slitin (jako jsou hliník, měď, hořčík, titan, ...), vláknových kompozitů, keramiky, dřeva. Naproti tomu KNB se používá převážně na obrábění železných slitin, a to kalených ocelí a litin (o tvrdosti 45-65 HRC [11]), kde může i nahrazovat broušení. Materiály s nižší tvrdostí se vzhledem k ceně nástroje neoplatí obrábět.

Diamant se také používá jako povlak nanesený na nástroj nebo břitovou destičku z jiného materiálu. Povlaky z KNB v současné době nemají komerční využití, ale na jejich výzkumu se intenzivně pracuje.

2.1 Druhy a značení

Diamanty se mohou dělit na přírodní (nerost vzniklý v zemském plášti) a syntetické (uměle vyrobené za vysokého tlaku a teploty změnou krystalové mřížky uhlíku z hexagonální na kubickou), přičemž u řezných nástrojů se používají převážně diamanty uměle vyrobené. Oproti tomu nitrid boru jde vyrobit pouze uměle. Oba tyto materiály se pak dále mohou dělit na monokrystal (jeden krystal) a polykrystal (monokrystaly pospojované pomocí pojiva v jeden celek). Monokrystal má oproti polykrystalu, který obsahuje pojivo, větší tvrdost a lepší mechanické vlastnosti za vysokých teplot. Naproti tomu není izotropní a trpí štěpným lomem [3]. Diamanty se mohou dělit také podle koncentrace dusíku a boru (tab. 2.1).

K. Harano T. Satoh, H. Sumiya [6,26] se ve své práci zabývají nano-polykrystalickým diamantem (NPD). Ten podle nich spojuje výhody monokrystalu a polykrystalu. NPD tvoří velmi jemná zrna velikosti několika desítek nanometrů, která jsou pevně a přímo spojená k sobě navzájem a tvoří tak hutnou strukturu.

Podle normy ČSN ISO 513 [7] se pro polykrystalický diamant používá symbol DP a pro polykrystalický kubický nitrid boru BN. V literatuře se často pro kubický nitrid boru používá zkratka KNB (případně cBN/CBN v anglických verzích) a PD/PKD (případně PCD) pro polykrystalický diamant. Značení v nástrojových katalozích se liší podle výrobce.

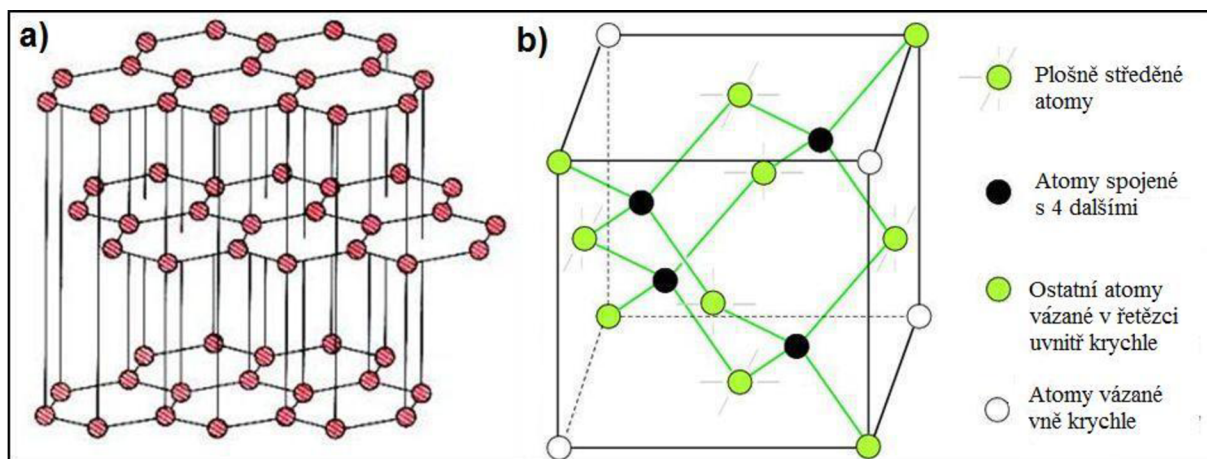
Tab. 2.1 Dělení diamantů podle koncentrace dusíku a boru [7,11]

Typ	Vlastnosti
Ia	Obsahují poměrně velké množství dusíku a nečistot, které se vylučují ve formě malých shluků. Obsahují také destičky připisované dusíkovým nečistotám. Patří sem většina přírodních diamantů.
Ib	Obsahují dusík, který je rozptýlený v substituční formě. Patří sem většina synteticky vyrobených diamantů.
IIa	Neobsahují skoro žádné dusíkové nečistoty. Jsou velmi vzácné v přírodě a mají lepší optické a tepelné vlastnosti.
IIb	Velmi čistý typ diamantu s polovodičovými vlastnostmi. Má obvykle modrou barvu a je velmi vzácný v přírodě. Polovodičové vlastnosti se dají u syntetických diamantů vyvolat přidáním boru.

2.2 Výroba

2.2.1 Diamant

Uhlík se vyskytuje v mnoha alotropních formách. Nejznámější z nich jsou grafit a diamant. Syntetické diamanty se vyrábí v laboratoři pomocí metody HPHT (high pressure high temperature) z grafitu změnou krystalové mřížky z hexagonální na kubickou (obr. 2.1). Jak již název metody napovídá, děje se tak při působení vysokých tlaků a teplot. Pro úspěch syntézy je nezbytná přítomnost katalyzátoru přítomného u grafitového zdroje. Tento katalyzátor snižuje potřebnou teplotu a tlak. Katalyzátorů je celá řada a mezi nejběžnější patří přechodové kovy (Fe, Ni, Co, Mn, ...) a jejich slitiny.

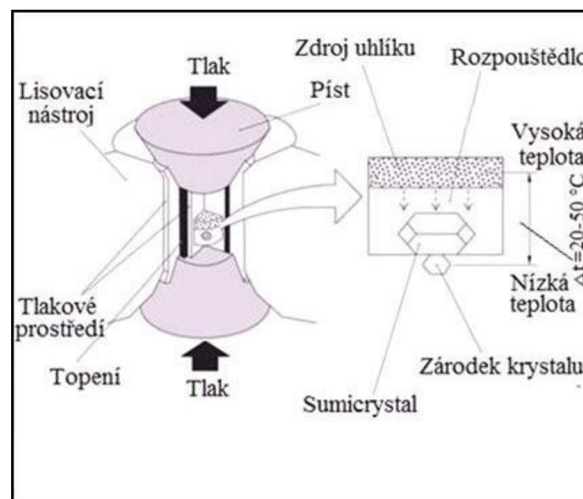


Obr. 2.1 krystalová mřížka a) grafitu [16] a b) diamantu [15]

Postup výroby monokrystalu je vidět na obrázku 2.2. První je příprava kapsle, která obsahuje krystalový zárodek, rozpouštědlo (katalyzátor) a zdroj uhlíku. Tato kapsle je potom umístěna do HPHT zařízení (obr. 2.3), kde působí vysoký tlak a teplota. Zdroj uhlíku je udržován v teplotě asi o 20-50 °C vyšší teplotě než krystalové zrno diamantu. Uhlík se přenáší skrz roztavené rozpouštědlo k povrchu krystalového zrna a celá buňka je udržována v tlakovém a teplotním pásmu stability diamantu. Nové diamanty se za těchto podmínek formují velmi dlouho. Rychlost růstu je zhruba 1,7-3,4 mg/h [5]. Po vzniku diamantu je kapsle odebrána. Monokrystal diamantu se poté rozřeže laserem (nebo jiným způsobem) na segmenty požadovaného tvaru a velikosti.



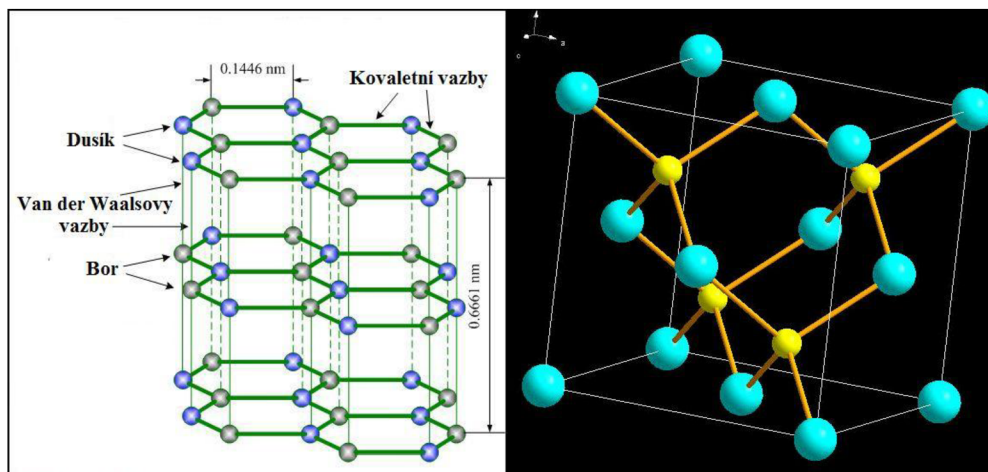
Obr. 2.2 Výrobní proces monokrystalu diamantu "SUMICRYSTAL" [25]



Obr. 2.3 Schematický detail podmínek syntézy pro výrobu monokrystalu [11]

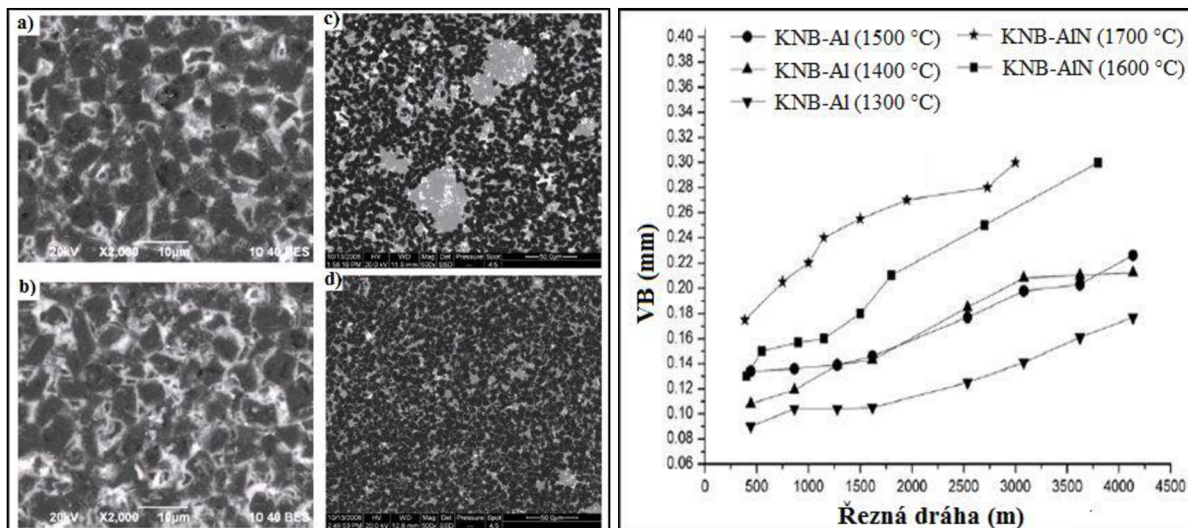
2.2.2 Kubický nitrid boru

Výroba kubického nitridu boru je velmi podobná výrobě syntetického diamantu. Základní surovinou pro výrobu je hexagonální nitrid boru, kterému se pomocí metody HPHT mění mřížka na kubickou (obr. 2.4). Stejně jako u diamantu je i zde při výrobě nezbytný katalyzátor. Velikost a tvar krystalu KNB ovlivňuje vztah mezi návrhem buňky, katalyzátorem/rozpuštědlem, teplotou a tlakem [11].



Obr. 2.4 mřížka hexagonálního nitridu boru [24] a kubického nitridu boru [28]

Ran Lv a kolektiv [18] zkoumali vysokotlaké slinování KNB s přísadou 15%Al a 20%AlN. KNB byl slinován při tlaku 5 GPa v teplotním rozsahu 1300-1500 °C pro Al a 1400-1700 °C pro AlN po dobu 20 min. Na obr. 2.5 jsou vidět vybrané mikrostruktury. KNB s Al měl oproti KNB s AlN vyšší tvrdost (nejvyšší tvrdost u Al byla dle Vickerse 32.1 GPa při teplotě 1350 °C oproti 29 GPa při 1600 °C u AlN) a více homogenní strukturu. Řezné testy (jako například soustružení oceli GCr15 při řezných podmínkách $v_c=85 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f=0,3 \text{ mm}$ a $a_p=0,2 \text{ mm}$ viz obr. 2.6) ukázaly, že kompaktní KNB s přísadou Al má delší životnost nástroje než s přísadou AlN. Jejich experimenty naznačují, že pro průmyslovou praxi je tedy KNB-Al systém více výhodný.



Obr. 2.5 struktura PKNB s a) Al při 1300 °C b) Al při 1500 °C c) AlN při 1400 °C a d) AlN při 1700 °C [18]

Obr. 2.6 opotřebení na hřbetě při soustružení [18]

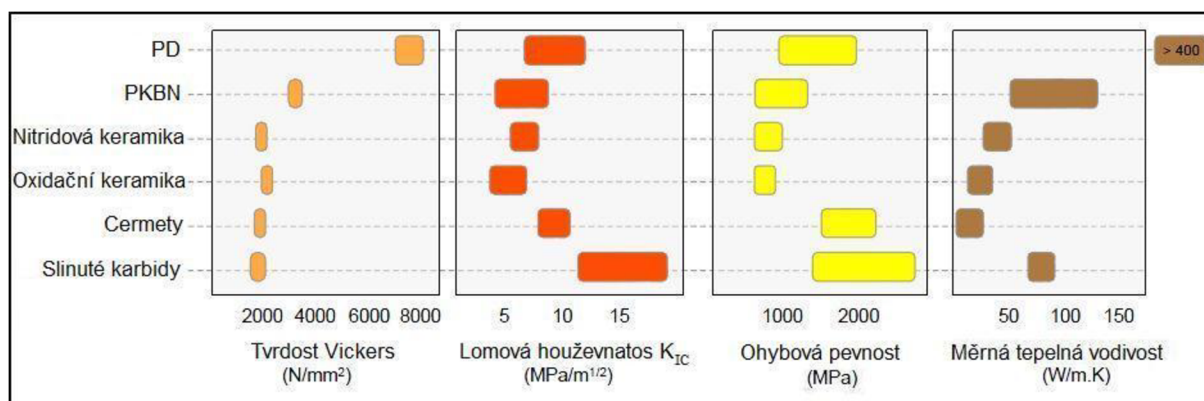
Yucheng Zhao a Mingzhi Wang [30] se zabývali výrobou KNB s $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-AlN-Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$ keramickým systémem (tab. 2.2) pomocí metody SPS (spark plasma sintering) za různých teplot. Pomocí SPS mohou být keramické prachy slinovány velmi rychle do plné hustoty. KNB byl připraven při teplotách 1250, 1350 a 1450 °C. Z testů vyplynulo, že nejvyšší tvrdost a lomovou houževnatost má vzorek slinutý za teploty 1450 °C. Tvrdost tohoto vzorku byla 48.0 ± 0.9 GPa a lomová houževnatost $K_{IC} = 11,5 \pm 0.3$ $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ což představuje podstatný nárůst oproti typicky udávané hodnotě $6,8$ $\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$. Závěrem si myslí, že tato technologie by se mohla stát novou metodou pro výrobu řezných nástrojů z PKNB.

Tab. 2.2 Hmotnostní složení výchozího materiálu [30]

Fáze	Si_3N_4	AlN	Al_2O_3	Y_2O_3	KNB
Obsah (%)	22	14	10	4	50

2.3 Fyzikálně mechanické vlastnosti

Na obrázku 2.7 je srovnání vlastností PD a PKBN s ostatními řeznými materiály



Obr. 2.7 Porovnání vybraných vlastností PD a PKBN s ostatními řeznými materiály [5]

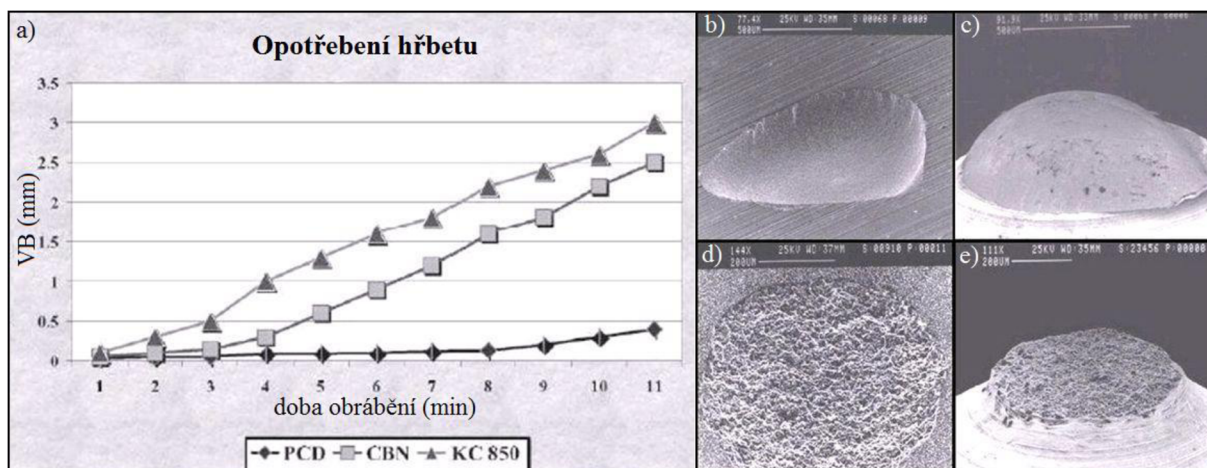
Mechanické a tepelné vlastnosti polykrystalických materiálů silně závisí na druhu a množství použitého pojiva, stejně tak na velikosti zrna tvrdých částic. Porovnání vlastností některých polykrystalických materiálů je v tab. 2.3.

Tab. 2.3 porovnání vlastností vybraných materiálu firmy GE Superabrasives [13]

Vlastnost	Diamant			Kubický nitrid boru		
	PCD1600	PCD 1300	PCD 1500	BZN 6000	BZN 7000S	BZN 8200
Objem tvrdých částic [%]	90	92	94	90	82	65
Velikost zrna [μm]	4	5	25	2	15	2
Pojivo	Co	Co	Co	Co	Keramika	TiN
Tvrdost dle Knoopu [GPa]	≈ 70	≈ 70	≈ 70	28	32	36
Youngův modul [GPa]	920	945	970	740	710	660
Poissonovo číslo	0,10	0,10	0,11	0,16	0,15	0,18
Hustota [g/cm^3]	4,1	4,0	3,9	4,0	3,4	4,1

Farhad Nabhani [14] zkoumal mechanismus opotřebení u supertvrdých řezných materiálů při obrábění slitiny titanu a porovnával je s povlakovaným slinutým karbidem. Na obr. 2.8a je závislost opotřebení hřbetu na době obrábění při soustružení za řezných podmínek $v_c = 75$ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f = 0,25$ mm , $a_p = 1$ mm bez použití chladicí tekutiny. Jak je vidět z grafu, nástroj z PD vydržel podstatně delší dobu, než KNB a povlakovaný SK. Dále pomocí kvazi-statické kontaktní metody identifikoval meziplošnou teplotu mezi nástrojem a obrobkem, nad kterou již docházelo ke značné adhezi a svařování. Tyto teploty byly 740, 760 a 900 °C pro SK, PD a KNB. Při odlomení svaru byla zlomenina zpravidla zahájena v nástrojovém

materiálu s vyšší pevností (viz obr. 2.8b-e). Výsledky tohoto výzkumu zdůrazňují význam chemických reakcí určujícím povahu rozhraní mezi nástrojem a třískou.



Obr. 2.8 a) opotřebení hřbetu při soustružení b) kráter vzniklý na SK při odlomení svaru c) vrstva SK přilepená na obrobku d) kráter vzniklý na PD při odlomení svaru e) vrstva PD přilepená na obrobku [14]

2.3.1 Diamant

Je to nejtvrdší známý materiál. Jeho tvrdost se dle Knoopa při normální teplotě udává v rozmezí 5700-10400 HK v závislosti na krystalografickém směru a velikosti zatížení [5]. Má vysokou odolnost proti abrazivnímu opotřebení.

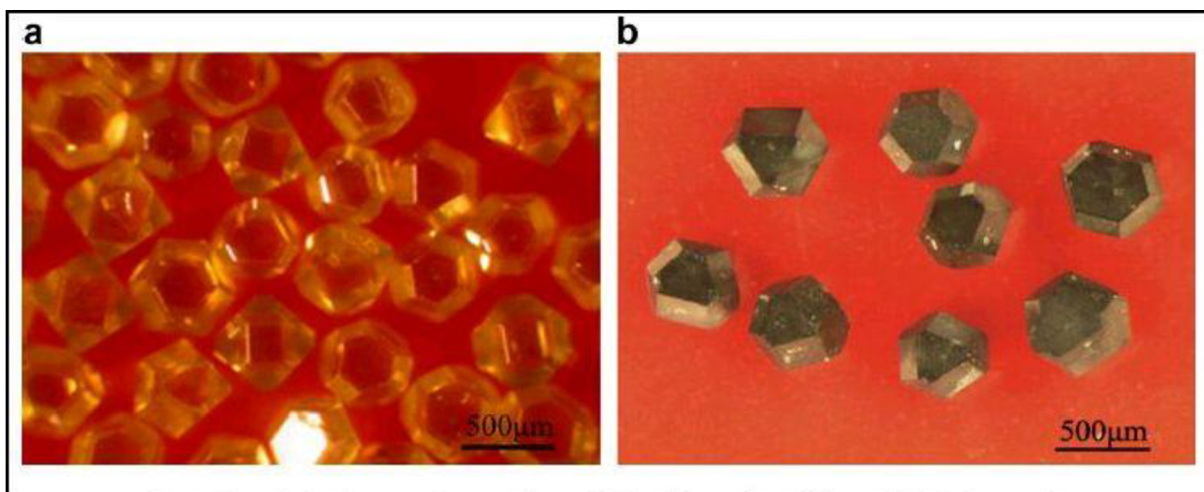
Má kubickou mřížku s prostorou skupinou $Fd3m$ [11] a mřížkovým parametrem $a=3,567 \text{ \AA}$ (obr. 2.4). Jeho měrná hmotnost je $\rho=3515 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Má výbornou tepelnou vodivost (při teplotě 20°C je $600-2100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) [11] díky čemuž dobře odvádí teplo z řezu. Je elektricky nevodivý (s měrným elektrickým odporem $\rho>10^{18} \text{ \Omega m}$ patří k jedněm z nejlepších izolantů [11]). Výjimku tvoří typ IIb, který má polovodičové vlastnosti.

Diamant je silně chemicky netečný a nelze jej ovlivnit žádnými kyselinami ani jinými chemikáliemi kromě těch, ve kterých působí při vysokých teplotách jako oxidační činidlo. V přítomnosti kyslíku začne diamant sám oxidovat zhruba při 650°C . Diamant lze též ovlivnit karbidotvornými kovy jako jsou titan, wolfram, tantal a zirkon, které při vysokých teplotách mají snahu tvořit s diamantem jejich karbidy. [11]

Tab. 2.4 srovnání některých vlastností monokrystalů diamantu a kubického nitridu boru [7,11,13]

Vlastnost	Diamant	Kubický nitrid boru
Tvrdost [HK]	5700-10400	4500
Hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	3,515	3,48
Stabilita proti oxidaci	650°C	1400°C
Grafitizace v inertní atmosféře	1530°C	$1550\div 1600^\circ\text{C}$
Modul pružnosti v tahu [GPa]	820-1250	650-850
Měrná tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	600-2100	1400
Mřížkový parametr [μm]	0,3567	0,3615
Měrný elektrický odpor [Ωm]	$>10^{18}$	10^{12}

Diamanty se také legují jinými prvky. H.S. Li a kolektiv [12] se zabývali diamantem legovaným borem (který diamantu propůjčuje vlastnosti polovodiče nebo dokonce supravodiče). Pomocí metody HPHT s Fe-Ni-C-B katalyzátorem vyráběli monokrystaly šedé barvy o velikosti asi $300-500 \mu\text{m}$ (obr. 2.9). Závěrem jejich práce bylo, že diamant legovaný borem má oproti běžnému diamantu větší tepelnou stabilitu, což zvyšuje jejich pracovní efektivitu a životnost. Zároveň se domnívají, že tato metoda má vysokou průmyslovou použitelnost, kvůli její jednoduchosti a nízké ceně.

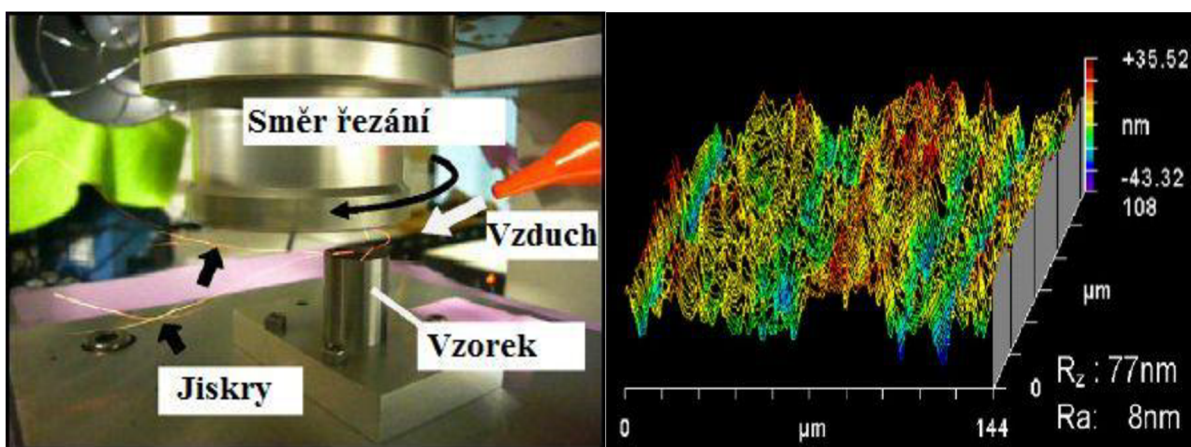


Obr. 2.9 Snímek z optického mikroskopu a) běžného b) borem legovaného monokrystalu diamantu [12]

2.3.2 Kubický nitrid boru

Má zhruba poloviční hodnotu tvrdosti oproti diamantu (přijímaná hodnota je asi 4500 HK). Je extrémně chemicky stabilní na vzduchu, v dusíku i ve vakuu a to až do teploty 1400-1550 °C [11]. Má nižší tepelnou vodivost jak diamant. Krystalová mřížka je kubická s prostorovou skupinou F43m (obr. 2.5) a mřížkovým parametrem $a=0,3615$ nm. KNB má vysokou odolnost proti abrazivnímu opotřebení.

Kazuhiro Fujisaki a kol. [9] se zabývali vývojem ultra jemnozrného bezpojivového KBN pro přesné obrábění železných materiálů. Tento nový řezný nástroj, skládající se z velmi jemných zrn (<100 nm), je vyroben z hexagonálního nitridu boru slinováním při tlaku 10 GPa a teplotě 1800 °C. Ve svém článku porovnávají drsnosti povrchu dvou vzorků (nerezové oceli a ocelového vzorku povlakovaného vrstvou Ni-P), které jsou dosaženy pomocí hoblování nástroji z KNB a monokrystalu diamantu. Zatímco u vzorku s Ni-P jsou dosažené drsnosti podobné, u nerezové oceli je drsnost získaná pomocí nástroje z KNB mnohonásobně lepší (tab. X). Vysoce jemný povrch ($R_z < 100$ nm) byl získán i z vysokorychlostního frézování (na obr. 2.10 je vidět vlevo frézování korozivzdorné oceli při nesprávných řezných podmínkách $v_c=942$ m/min, $f=5$ μ m, $a_p=5$ μ m kdy vznikají jiskry a vpravo drsnost povrchu při $v_c=942$ m/min, $f=2$ μ m, $a_p=2$ μ m). Výsledky naznačují, že by tento řezný materiál mohl být používán pro vysoce přesné obrábění železných materiálů.



Obr. 2.10 jiskry tvořené při nevhodných řezných podmínkách a drsnost povrchu korozivzdorné oceli obráběné frézováním [9]

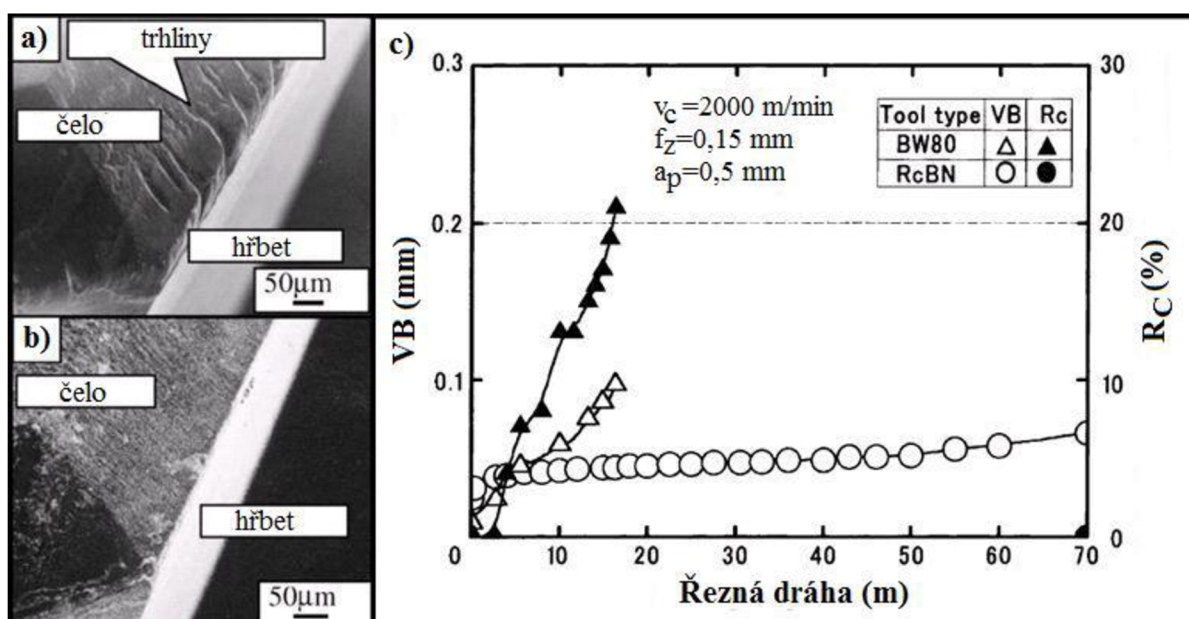
Tab. 2.5 Drsnost vzorků získaná hoblováním ($v_c=2 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $f=10 \text{ } \mu\text{m}$ a $a_p=5 \text{ } \mu\text{m}$) [9]

Mat. vzorku	Nástroj	R_z [nm]	R_a [nm]
Povlak Ni-P	KNB	85	17
	Diamant	92	16
SUS420J2	KNB	2006	228
	Diamant	116	20

Hideharu Katoa, Kazuhiro Shintania a Hitoshi Sumiya [8] zkoumali řezný výkon bezpojivového PKNB (RcBN) při vysokorychlostním frézování šedé litiny a porovnávali jej s klasickým nástrojem z PKNB (BW80). Srovnání vlastností obou materiálů viz tab. 2.6. Pro frézování byly zvoleny tyto řezné podmínky: posuv na zub $f_z=0,15 \text{ mm}$, hloubka záběru $a_p=0,5 \text{ mm}$ a řezná rychlost $v_c=2000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Nástroj z běžného PKNB vykazoval mnoho trhlin vzniklých tepelnou únavou, které měli za následek zničení plochy hřbetu (obr. 2.6a). Naproti tomu u RcBN se tepelná trhlinka dala rozpoznat až po 60 km. Odolnost proti opotřebení má RcBN asi šestkrát lepší než BW80 (obr. 2.7c). Navíc nástroj z RcBN dosahoval lepší drsnosti povrchu.

Tab. 2.6 Materiálové a teplotní charakteristiky použitých materiálových nástrojů [8]

Nástroj	Obsah KNB [%]	Velikost zrna KNB [μm]	Pojivo	Tepelná vodivost [$\text{w/m} \cdot \text{K}$]	Tvrdost [HV]	
					při 20 °C	při 1000 °C
RcBN	>99,9	<1	není	400-500	5000	2000
BW80	80	1-3	CoWB + Al	100-150	3500	1200



Obr. 2.11 porovnání opotřebení: a) nástroj BW80 po 16 km b) nástroj RcBN po 60km a c) graf závislosti řezné dráhy na opotřebení na hřbetu (VB) a poměru šířky tepelné trhliny k délce ostří (Rc) [8]

2.4 Metody povlakování

2.4.1 Diamant

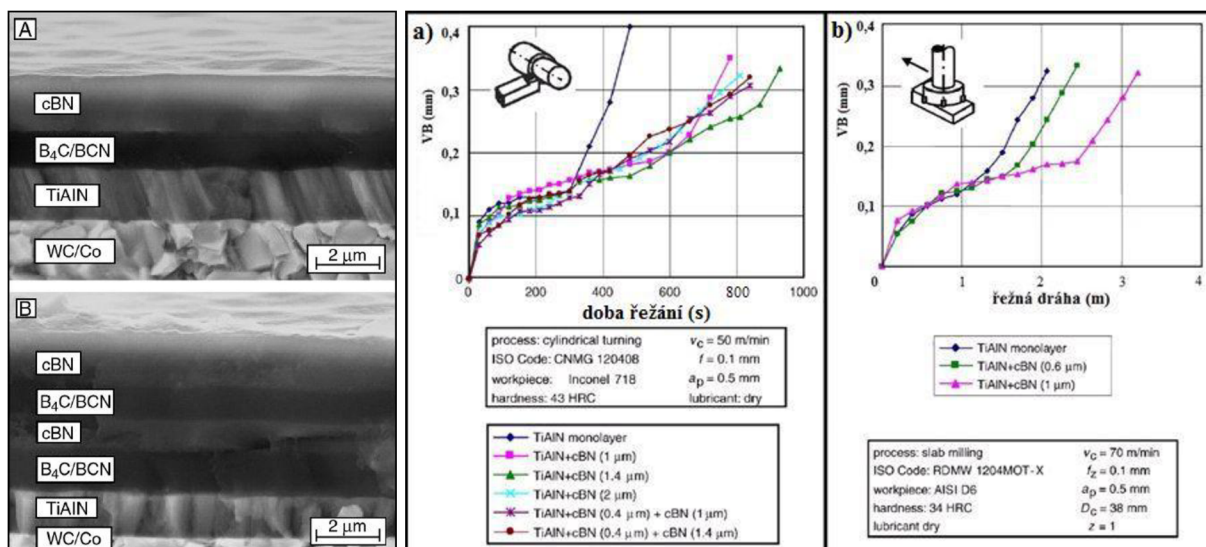
Diamantové povlaky mají oproti roubíkům připájených na nástroji řadu výhod. Nemusí se omezovat na jednoduché tvary a mohou mít utvářeč třísky. Také nejsou limitovány šířkou záběru ostří a_p . K výrobě povlaků se používá metoda CVD a její modifikace. [7]

2.4.2 Kubický nitrid boru

Tvorba povlaků z KNB je velmi složitá záležitost, především kvůli špatné adhezi povlaku s podkladovým materiálem. V současnosti nemá komerční využití. Na jeho výzkumu se však intenzivně pracuje, protože povlaky ze KNB slibují velmi zajímavé vlastnosti jako je vysoká tvrdost, odolnosti proti opotřebení, vysoká termochemická stabilita atd.

K vytváření povlaků KNB se používají různé metody PVD a metoda CVD s asistencí plazmy. U všech těchto metod je nutné iontové bombardování povrchu. To zapříčiňuje enormní zbytková napětí v tlaku, která vedou ke špatné přilnavosti povlaků k substrátu [29].

E. Uhlmann, J.A. Oyanedel Fuentes a M. Keunecke [27] se zabývali obráběním pomocí vícevrstvého povlaku z KNB (obr. 2.11) a porovnávali ho s povlakem TiAlN. Tyto povlaky byly nanášeny na SK. Pro srovnávání soustružili slitinu niklu (Inconel 718) a frézovali legovanou ocel (AISI D6). Oproti běžnému TiAlN povlaku, dosáhl KNB dvakrát tak velkou tvrdost, vyšší chemickou a oxidační stabilitu. Navíc ukázal vysokou odolnost proti opotřebení abrazí a adhezí. U soustružení materiálu Inconel 718 (obr. 2.12a) vydržel při kritériu $VB_{max}=0,3\text{mm}$ až 15 minut, což představuje oproti 7 min, které vydržel nástroj povlakovaný TiAlN značný rozdíl. Navíc jakost obrobené plochy byla lepší než u povlaku TiAlN. I u frézování oceli AISI D6 (obr. 2.12b) měl nástroj s povlakem KNB větší životnost než s TiAlN a to přibližně o 50%. Závěrem tvrdí, že tento povlak KNB je způsobilý obrábět rozličné materiály. Obzvláště se pak hodí na soustružení niklových slitin.



Obr. 2.11 Multivrstvé povlaky s KNB [27] Obr. 2.12 opotřebení hřbetu při a) soustružení b) frézování [27]

3 SUPERTVRDÉ MATERIÁLY V SORTIMENTU VÝROBY NEJVÝZNAMNĚJŠÍCH SVĚTOVÝCH PRODUCENTU NÁSTROJŮ A NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLU

3.1 Diamond Innovations - dříve GE[®] Superabrasives

3.1.1 BZN Compact [1] - (obr. 3.1)

BZN HTC 2000 - vhodný pro dokončovací operace u kalených slitin i ložiskových a zápustkových ocelí. Použití pro kontinuální řezy. Díky své nízké chemické reaktivnosti a optimalizované tepelné vodivosti poskytuje dobrou kvalitu povrchu a vysokou trvanlivost nástroje. Obsahuje 50% KNB v matrici na bázi Ti. Průměrná velikost zrna je 2 μm . Elektricky vodivý.

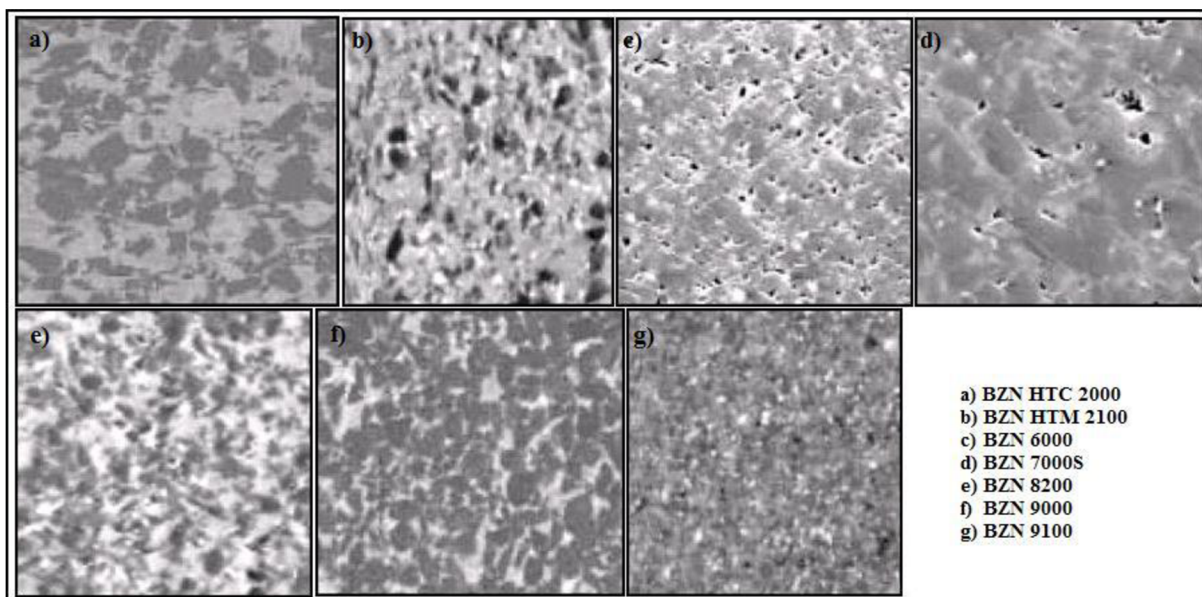
BZN HTM 2100 – pro kontinuální i lehké přerušované řezy. Kombinace vysoké pevnosti v ořezu, rázové houževnatosti a chemické stability dovoluje vyšší úběr materiálu, dobrou jakost povrchu a dlouhou životnost nástroje. Obsahuje 50% KNB v matrici na bázi Ti. Průměrná velikost zrna je 2 μm . Elektricky vodivý.

BZN 6000 – vysoce kvalitní krystaly KNB jsou náhodně orientovány a pevně spojeny k sobě navzájem. Vrstva PKNB je vázána ke karbidu wolframu poskytujícímu rovnoměrně vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení. Následkem toho dosahuje výjimečných výsledků i v těžkých přerušovaných řezech. Vhodný k obrábění superslitin. Obsahuje 90% KNB. Průměrná velikost zrna je 2 μm . Elektricky vodivý.

BZN 7000S – hrubé zrna a vysoký obsah KNB v kombinaci s keramickou matricí poskytuje tomuto materiálu velkou lomovou houževnatost, odolnost proti opotřebení a chemickou stálost. Obsahuje 82% KNB. Průměrná velikost zrna je 15 μm . Není elektricky vodivý.

BZN 8200 - KNB krystaly a keramická matice poskytuje dobrou kombinaci rázové houževnatosti a chemické stálosti. Navržen zvláště pro dokončovací obrábění kalených ocelí (tvrdost >45 HRC) kde může nahrazovat broušení. Obsahuje 65% KNB. Průměrná velikost zrna je 2 μm . Elektricky vodivý.

BZN 9000 – speciálně navržená keramická matrice poskytuje vysokou odolnost proti chemickému opotřebení. Hodí se na obrábění kovů vyrobených práškovou metalurgií. Obsahuje 75% KNB. Průměrná velikost zrna je 4 μm . Elektricky vodivý.



Obr. 3.1 Struktury jednotlivých druhů BZN Compact [1]

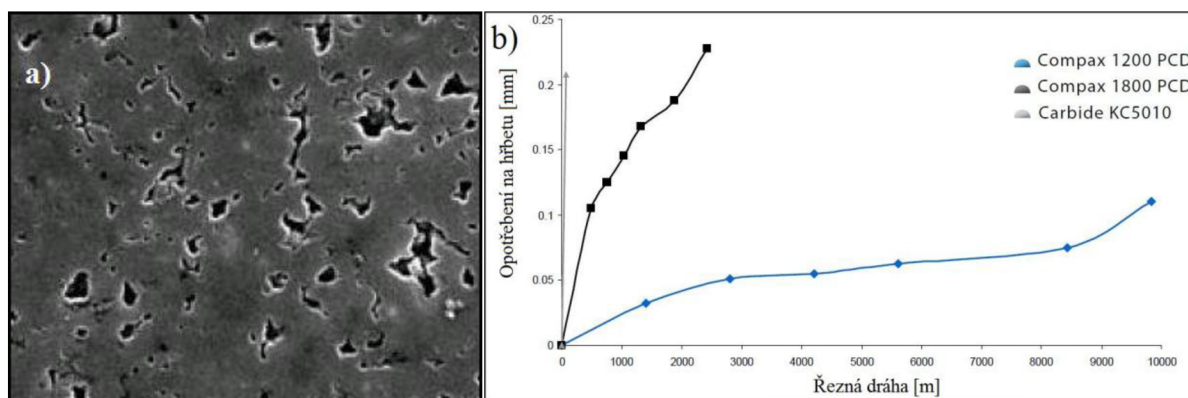
BZN 9100 – vysoký obsah KNB uloženého v matici na bázi Ti. Odolnost proti rázu a velká chemická stálost. Pro kontinuální i těžké přerušované řezy. Obsahuje 90% KNB. Průměrná velikost zrna je 2 μm . Elektricky vodivý.

Tab. 3.1 produktová výběrová tabulka pro BZN compact [1]

Obráběný materiál	Doporučený nástrojový materiál
Perlitická šedá litina	BZN 6000, BZN 7000S
Kalená litina (>45 HRC)	BZN 7000S, BZN 9100
Kalená ocel (>45 HRC)	BZN 8200, BZN 9100, BZN HTC 2000, BZN HTM 2100
Kovy vyrobené práš. met.	BZN 9100, BZN 9000, BZN 6000, BZN 7000S
Superslitiny	BZN 6000

3.1.2 Diamond Compax [2,3]

Compax 1200 Diamond – jemnozrná strukturu s průměrnou velikostí zrna 1,7 μm (obr 3.2a). Použití tam, kde je vyžadována dobrá jakost povrchu. Také se používá pro obrábění slitin titanu (na obrázku 3.2b je vidět opotřebení při obrábění slitiny Ti-6Al-4V řeznými podmínkami: $v_c=180$ m/min, $f=0,127$ mm, $a_p=0,25$ mm). Objem diamantu je 92%.



Obr. 3.2 a) struktura Compax 1200 Diamond b) opotřebení při soustružené slitiny titanu [3]

Compax 1300 Diamond – průměrná velikost zrna 6 μm . Víceúčelový nástroj vhodný zejména pro obrábění hliníkových slitin s obsahem křemíku menším jak 14%, slitiny mědi a další neželezné slitiny.

Compax 1500 Diamond – průměrná velikost zrna je 25 μm . Použití pro přerušované řezy a hrubování slitin hliníku s vysokým obsahem křemíku (více jak 14%), kompozitních materiálů s kovovou maticí, slinutých karbidů a dalších vysoce abrazivních materiálů.

Compax 1600 Diamond – použití pro slitiny hliníku s nízkým obsahem křemíku, obrábění dřeva, měď a její slitiny. Průměrná velikost zrna 4 μm

Compax 1800 Diamond – ideální pro náročné aplikace jako jsou kompozity s kovovou maticí, frézování slitin hořčíku s vysokým obsahem křemíku, bimetalů, skleněných vláken a dalších vysoce abrazivních materiálů. Má bimodální strukturu s velikostí zrn 4/25 μm .

3.2 Element Six

3.2.1 PCBN [5]

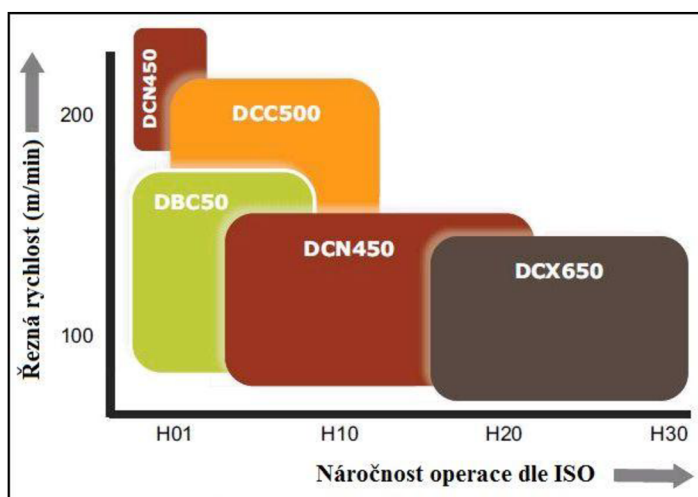
a) s **nízkým obsahem KNB** - obsahují mezi 40-70% KNB uloženého převážně v TiN matrici. Jejich velikost zrna se pohybuje v rozmezí 0,5-5 μm . Na obrázku 3.3 je vidět zařazení dle ISO a řezné rychlosti pro jednotlivé nástrojové materiály. Mikrostruktury viz obr. 3.4.

DCN450 – obsahuje 45% KNB v TiN matrici. Použití pro lehké přerušované soustružení, dokončovací frézování a vysokorychlostní kontinuální soustružení.

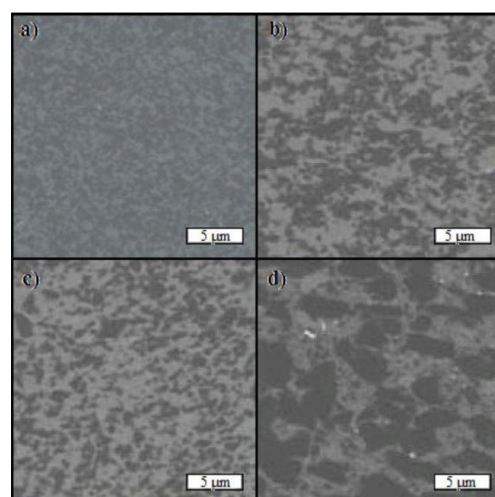
DBC50 – obsahuje přibližně 50% KNB v TiN matrici. Průměrná velikost zrna je 1,5 μm . Použití pro kontinuální a lehké přerušované řezy u většiny automobilových ocelí. Velká odolnost proti abrazivnímu opotřebení.

DCC500 – podobné složení jako DBC50. Větší odolnost proti vylamování. Užití pro stejné aplikace jako DBC50, zejména tam, kde je vyžadována vyšší řezná rychlost nebo delší životnost nástroje.

DCX650 – doporučený pro přerušované soustružení všech běžných kalených ocelí. Obsahuje 65% KNB v TiN matrici.



Obr 3.3 Řazení dle ISO a řezné rychlosti pro jednotlivé materiály [5]



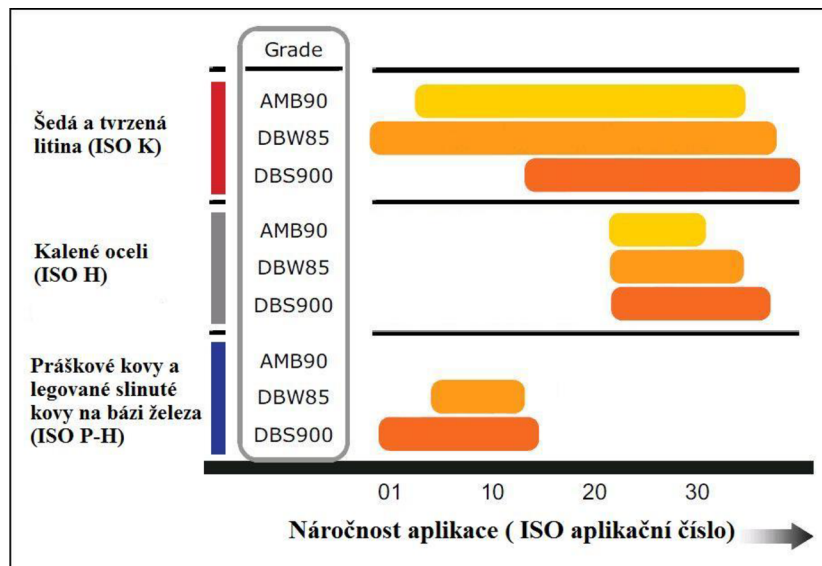
Obr 3.4 struktury a) DCN450 b) DBC50 c) DCC500 d) DCX650 [5]

b) s **vysokým obsahem KNB** – obsah KNB se pohybuje v rozmezí 70-95%. Obrázek 3.5 ukazuje jejich oblast použití.

DBW85 – všestranný a na trhu vysoce úspěšný materiál. Obsahuje 85% KNB umístěného v AlWCoB matrici. Velikostí zrn 1-2 μm .

AMB90 – obsahuje 90% KNB s průměrnou velikostí zrna 10 μm . Matrice se skládá z nitridů a boridů. Pro soustružení a frézování šedé litiny. Také se používá pro soustružení kalených ocelí.

DBS900 – průměrná velikost zrn je 2-4 μm . Obsahuje 90% KNB. V porovnání s DBW85 a AMB90 je ideální volba tam, kde je vyžadována dlouhá životnost nástroje. Použití pro přerušované obrábění šedých a tvrzených litin, kalených ocelí a práškových kovů.



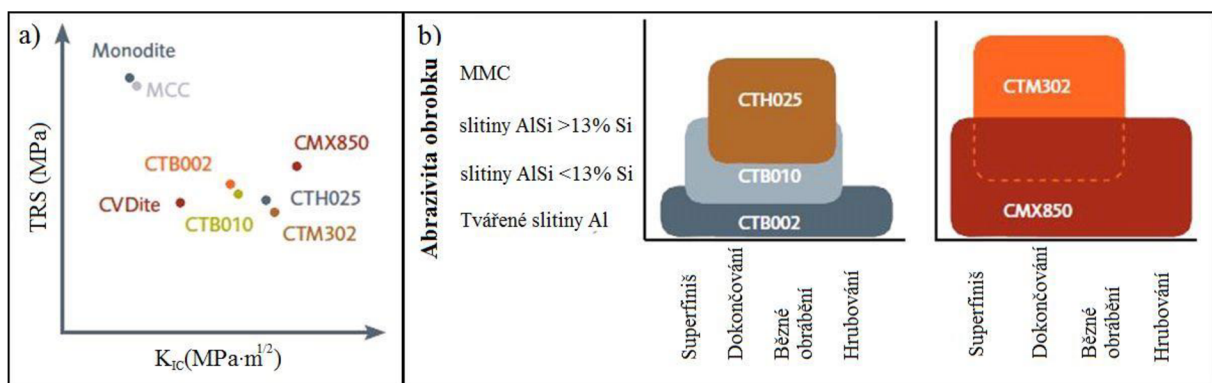
Obr. 3.5 Oblast použití PKNB s vysokým obsahem KNB [5]

3.2.2 Polykrystalický diamant [4]

Tab. 3.2 srovnání chování v aplikacích a výrobní charakteristiky jednotlivých PD [4]

	Velikost zrna	Chování v aplikacích		Výrobní charakteristiky	
		odolnost proti vylamování	odolnost proti otěru	EMS	Brousitelnost
CMX850	0,5-1 μm	████████████████████	██████████████████	████████████████████	████████████████████
CTB002	2 μm	██████████████████	██████████████████	████████████████████	██████████████████
CTB010	10 μm	██████████████████	██████████████████	██████████████████	██████████████████
CTH025	25 μm	██████████████████	██████████████████	██████████████████	██████████████████
CTM302	2-30 μm	██████████████████	██████████████████	██████████████████	██████████████████

Na obr. 3.7a je vidět poměr ohybové pevnosti a lomové houževnatosti pro jednotlivé druhy PD, diamantový povlak (CVDite) a monokrystalický diamant. Obrázek 3.7b pak ukazuje oblasti použití jednotlivých PD.



Obr. 3.7 a) porovnání lomové houževnatosti a ohybové pevnosti a b) oblasti použití jednotlivých PD [4]

CMX850 – průměrnou velikost zrna 0,5-1 μm. Na rozdíl od většiny jemnozrnných struktur, je vhodný i pro obrábění slitin Al s vysokým obsahem Si, kde odolnost proti otěru je vyžadována. Nejlepší obrobitelnost pomocí EDM a broušení z nástrojů Element Six. Použití také pro obrábění titanu a kompozitů.

CTB002 – jeden z nejtuzších materiálu Element Six. Má průměrnou velikost zrna 2 μm a je vhodný tam, kde je důležitá jakost obrobeného povrchu. Velmi dobře obrobitelný EDM a broušením. Hodí se proto na tvarově složitější nástroje. Dobrá odolnost proti vylamování. Použití na obrábění slitin Al s nízkým obsahem Si.

CTB010 – nejúspěšnější třída na trhu. Ideální volba tam, kde chceme hrubování i dokončování provádět jedním nástrojem. Doporučovaný pro obrábění slitin Al s malým až středním obsahem Si.

CTH025 – průměrnou velikost zrna 25 μm. Obrábění slitin Al s vysokým obsahem Si, kompozitů s kovovou maticí a keramiky

CTM302 – strukturu tvoří zrna velikosti 2 až 30 μm. Kombinace těchto zrn propůjčuje extrémní pevnost v otěru a dobrou tepelnou stabilitu. Použití pro obrábění slitin Al s vysokým obsahem Si, kompozitů s kovovou maticí a bimetalů.

3.3 Sandvik Coromant

Kubický nitrid bóru [20]

K dispozici jsou břitové destičky s negativní i s pozitivní geometrií. Nabízený program tvoří materiály KNB s odlišným složením, určené pro obrábění tvrzených ocelí, litin a práškových materiálů. K dispozici jsou VBD v různém provedení:

- Vícebřité VBD (MCI) - s technologií Safe Lok
- Jednobřité VBD
- Oboustranné vícebřité VBD

Polykrystalický diamant [20]

Destičky s pozitivním základním tvarem jsou určeny pro produktivní obrábění neželezných materiálů. K dispozici jsou destičky v provedení jako:

- Jednobřité VBD
- Slinutý karbid s diamantovým povlakem

	ISO	ANSI	Základní
K	01	C4	CB50 CB7050
	10	C3	
	20	C2	
	30	C1	
N	01	C4	CD 10
	10	C3	
	20	C2	
	30	C1	
H	01	C4	
	10	C3	CB7015 CB7025 CB20
	20	C2	
	30	C1	CB50 CB7050

Tab. 3.3 aplikace nástrojů dle značení ISO [19]

Řezné materiály v sortimentu Sandvik Coromat [19]:

CB20 – H15(H10-H25)

Vysoce výkonný materiál z kubického nitridu bóru. Dobrá volba pro spojitě a lehké přerušované řezy v tvrzené oceli.

CB50/CB7050 – K05(K01-K10)

Extrémně tvrdý materiál z kubického nitridu bóru. Vysoká houževnatost břitu a dobrá odolnost proti opotřebení. Optimální pro dokončování šedé litiny při vysokých řezných rychlostech v podmínkách se spojitým i přerušovaným řezem.

CB7015 – H10(H05-H15)

Vysoce výkonný materiál se středním obsahem kubického nitridu bóru. První volba pro spojitě a lehké přerušované řezy při vysokých řezných rychlostech v tvrzených ocelích.

CB7025 – H15(H10-H20)

Vysoce výkonný materiál se středním obsahem kubického nitridu bóru. První volba pro jinak spojitě řezy s významným podílem těžkého přerušovaného řezu při středních režných rychlostech v tvrzených ocelích.

CD10 – N05(N01-N10)

Materiál z polykrystalického diamantu. Dokončování až polodokončování v neželezných a nekovových materiálech. Dlouhá trvanlivost nástroje, čistý řez a dobrá kvalita obrobeného povrchu.

3.4 SECO

3.4.1 Secomax PCBN - třída z KNB vhodná zvláště pro obrábění kalených ocelí, perlitické šedé litiny a vysoce legovaných slitin. [21,22]

Tab. 3.4 Přehled oblastí použití materiálu z KBN pro soustružení v nabídce firmy SECO [21]

Třída	P					M					K					N				S				H					
	P01	P10	P20	P30	P40	P50	M01	M10	M20	M30	M40	K01	K10	K20	K30	K40	N01	N10	N20	N30	S01	S10	S20	S30	H01	H10	H20	H30	
Nepovlak.	CBN10																												
	CBN100																												
	CBN150																												
	CBN170																												
	CBN200																												
	CBN300																												
PVD	CBN500																												
	CBN060K																												
	CBN160C																												
	CBN300P																												
CBN400C																													

CBN10 – k dostání ve formě připájeného prvku nebo jednostranné slinuté vrstvy. Pro lehký nepřerušovaný až středně přerušovaný řez v kalených ocelích ($a_p < 0,5$ mm).

CBN060K – vyrábí se ve formě monolitu, slinuté vrstvy nebo jako připájený prvek. Pro lehký nepřerušovaný až středně přerušovaný řez v kalených ocelích ($a_p < 0,5$ mm). Nový PVD povlak (Ti,Si,Al)N pro vysokorychlostní obrábění. Nové vyjímečné pojivo ze superslitiny.

CBN100 – k dostání jako monolitní břitová destička. Pro kontinuální až středně přerušovaný řez v kalených ocelích ($a_p < 0,5$ mm).

CBN150 - Připájený prvek nebo slinutá celistvá vrstva (jednostranná). Ideální volba pro dosažení vysoké jakosti povrchu. Alternativa k CBN10 a CBN100, houževnatější, ale s vyšší odolností vůči opotřebení. Pro přerušovaný řez v kalené oceli ($a_p < 0,5$ mm).

CBN160C – jemnozrnny materiál s nízkým obsahem KNB. Dostupná ve formě slinuté vrstvy nebo jako připájený prvek. Vhodná pro přesné dokončování s přerušovaným řezem v kalených ocelích. Nový PVD povlak (Ti,Si)N pro vysokorychlostní obrábění.

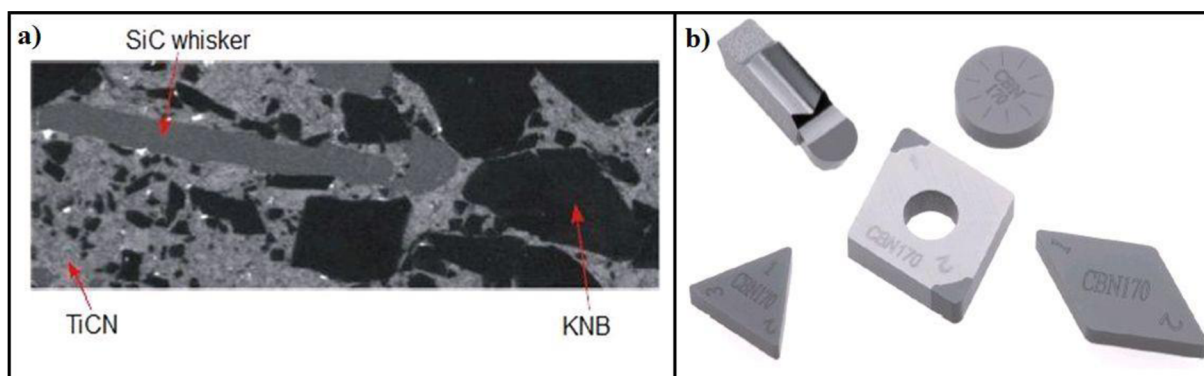
CBN170 (obr. 3.9) - Monolitní nebo s připájenými prvky (oboustranná). Speciálně vyvinutý pro vysokorychlostní obrábění (300-400 m/min) slitin založených na bázi niklu (např. Inconel 718, UDIMET, Waspaloy, MAR a další). Pro kontinuální řez s hloubkou záběru do 0,5 mm. Obsahuje 65% KNB s velikostí zrn 2 μ m a jako pojivo TiCN+SiC Whisker. [23]

CBN200 - Monolitní, připájený prvek nebo slinutá celistvá vrstva. Pro středně hrubé obrábění kalených ocelí ($a_p = 0,5-1,0$ mm). Pro dokončování a hrubování perlitické, tvrzené a bílé litiny. Pro obrábění spékanych materiálů na čisto. Pro hrubování a dokončování práškových materiálů.

CBN300, CBN300P – vyrábí se ve formě monolitní břitové destičky. Vhodný pro hrubování kalených ocelí a pro dokončování i hrubování manganových ocelí, perlitické, tvrzené a bílé litiny. Povlakovaná verze 300P má stejnou nebo vyšší životnost. Snazší posouzení opotřebení břitu. Stejně řezné podmínky jako pro nepovlakované destičky.

CBN400C - monolitní břitová destička. Jemnozrnná struktura s vysokým podílem KBN. Vhodná pro obrábění perlitické šedé litiny. S novým PVD povlakem (Ti,Si)N má oproti tradičnímu povlaku (Ti, Al)N vyšší životnost.

CBN500 - monolitní břitová destička. Má vyšší houževnatost než CBN300. Pro hrubování kalených ocelí, a také dokončování a hrubování manganových ocelí, tvrzené a bílé litiny.



Obr. 3.9 CBN170 a) struktura b) břitové destičky [23]

3.4.2 Secomax PCD

Tab. 3.5 Přehled PCD materiálu pro soustružení v nabídce firmy SECO [21]

Třída	P					M				K				N			S			H								
	P01	P10	P20	P30	P40	P50	M01	M10	M20	M30	M40	K01	K10	K20	K30	K40	N01	N10	N20	N30	S01	S10	S20	S30	H01	H10	H20	H30
PCD05																												
PCD10																												
PCD20																												
PCD30																												
PCD30M																												

PD v sortimentu firmy SECO [21]:

PCD05 – nestandardní materiál, který se vyrábí na zakázku. Průměrná velikost zrna 1 μm má velmi dobře propojenou, homogenní strukturu. Vhodná pro obrábění Al slitin se středním až vysokým obsahem Si a titanových slitin, při vysokých nárocích na jakost povrchu.

PCD10 – nestandardní materiál, který se vyrábí na zakázku. Tento materiál má velikost zrna 2 μm a je určen pro jemné vyvrtávání a vystružování. Zvýšená kvalita břitu této třídy překonává běžné výsledky obrábění v uhlíkových kompozitech.

PCD20 – tento materiál je první volbou pro obecné obrábění. Velikost zrna je 10 μm .

PCD30 – materiál s velikostí zrna 25 μm . Vhodný pro obrábění extrémně abrazivních materiálů. Je též doporučovaný pro obrábění s přerušovaným řezem.

PCD30M – tento multimodální materiál (zrna velikosti 2 a 30 μm) vykazuje zvýšenou tepelnou stabilitu při obrábění kombinovaných materiálů, např. hliníkových slitin a šedé litiny.

ZÁVĚR

V současnosti je na trhu poměrně široká škála různých nástrojových materiálů, které se od sebe navzájem liší svými vlastnostmi a oblastmi použití. Při výběru nástrojového materiálu může sehrát důležitou roli mnoho vlastností. Vysoká tvrdost materiálu nám umožňuje obrábět vyššími řeznými rychlostmi a hodí se na dokončovací operace. Pro hrubování je zase podstatná vysoká houževnatost, která dovoluje větší rychlost posuvu a průřez třísky. Důležitá je ale i například chemická příbuznost materiálu nástroje a obrobku, která může vyvolat adhezní nebo difúzní opotřebení. Je proto důležité znát podmínky obrábění a přizpůsobit tomu výběr nástroje.

Mezi supertvrdé řezné materiály jsou řazeny dimanant a kubický nitrid boru. Jejich výroba, probíhající za vysokých tlaků a teplot, spočívá ve změně hexagonální krystalické mřížky grafitu/nitridu boru na mřížku kubickou. Tento proces je technicky velmi náročný a odráží se na vysoké ceně těchto materiálů. Hlavní oblast použití PD je obrábění neželezných slitin, jako jsou například slitiny hliníku s vysokým obsahem křemíkem, které mají silný abrazivní účinek. PD se nedoporučuje k obrábění slitin železa, kde dochází rychlému opotřebení nástroje vlivem chemických reakcí. PKNB se používá převážně pro obrábění kalené oceli a litiny, kde může i nahrazovat broušení. Obecně lze říct, že supertvrdé řezné materiály mají vysokou tvrdost, tepelnou vodivost a odolnost proti opotřebení. Hodnoty konkrétních polykrystalických materiálů však silně závisí na druhu a množství použitého pojiva, velikosti zrna tvrdých částic a mnoha dalších faktorech. Diamant se také používá ve formě povlaků. Povlaky z KNB zatím nemají komerční využití, avšak intenzivně se na jejich výzkumu pracuje.

Mezi nejvýznamnější světové producenty supertvrdých řezných materiálů patří firmy Diamond Inovations a Element Six. Oba výrobci mají ve svém sortimentu různé řady diamantů i kubických nitridů boru.

Diamond Inovation, dříve známý jako GE[®] Superabrasives, má ve svém sortimentu mimo jiné řady BZN Compacts a Compax Diamond. Řada BZN Compacts jsou nástroje z KNB určené pro obrábění kalených ocelí a litin, ale i litiny šedé, kovů vyrobených práškovou metalurgií a superslitin. Řada Compax Diamond jsou polykrystalické diamanty a hodí se pro obrábění slitin hliníku s různým množstvím obsahu křemíku. Mimo to Compax 1200 Diamond dosahuje dobrých výsledků při obrábění slitin titanu.

Element Six nabízí různé druhy PKNB s různým obsahem KNB a velikostí zrna. PKNB s nízkým obsahem KNB se hodí pro obrábění materiálů v aplikačním rozsahu H01-H20. PKNB s vysokým obsahem KNB jsou vhodné pro obrábění litin, kovů vyrobených práškovou metalurgií a pro těžké přerušované obrábění kalených ocelí. Oblast použití PD je podobně jako u Diamond Inovation především u obrábění slitin hliníku. Kromě nich se hodí i k obrábění kompozitů s kovovou maticí, keramiky nebo slitin titanu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Diamond Innovations. *BZN* Compacts Tool Blanks and Inserts* [online]. 2004 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.diamondinnovations.com/SiteCollectionDocuments/BZN%20Compacts/DI%20BZN%20All%20Products.pdf>
2. Diamond Innovations. *Compax Diamond Product Details Innovations* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.diamondinnovations.com/en/products/compax/details/Pages/default.aspx>
3. Diamond Innovations. *Compax® 1200 Fine Grain Polycrystalline Diamond* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.diamondinnovations.com/SiteCollectionDocuments/Compax%20Diamond/Compax%201200%20Fine%20Grain.pdf>
4. Element Six. *Diamond Tool Materials for Metalworking* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.e6.com/wps/wcm/connect/8a5fd172-7cf9-4666-90bc-525bfeba1803/Diamond+metalworking.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=8a5fd172-7cf9-4666-90bc-525bfeba1803>
5. Element Six. *PCBN Metalworking* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.e6.com/wps/wcm/connect/e15d5138-e2ec-4b99-b564-fb4e6347d037/PCBN+metalworking.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=e15d5138-e2ec-4b99-b564-fb4e6347d037>
6. HARANO, K., T. SATOH a H. SUMIYA. Cutting performance of nano-polycrystalline diamond. *Diamond & Related Materials*. 24 (2012). pp. 78–82. ISSN 0925-9635.
7. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
8. KATO, Hideharu, SHINTANI a Hitoshi SUMIYA. Cutting performance of a binder-less sintered cubic boron nitride tool in the high-speed milling of gray cast iron. *Journal of Materials Processing Technology*. 127 (2002). pp. 217–221. ISSN 0924-0136.
9. KAZUHIRO Fujisaki, Hideo YOKOTA, Naomichi FURUSHIRO, Yutaka YAMAGATA, Takashi TANIGUCHI, Ryutaro HIMENO, Akitake MAKINOUCI a Toshiro HIGUCHI. Development of ultra-fine-grain binderless cBN tool for precision cutting of ferrous materials. *Journal of Materials Processing Technology*. 209 (2009) . pp. 5646–5652. ISSN 0924-0136.
10. KOCMAN, K. a J. PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
11. LEICHTFRIED, G., SAUTHOFF, G., SPRIGGS, G.E. *Refractory, Hard and Inter-metallic Materials*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2002. ISBN 3-540-42961-1.
12. LI, H.S., Y.X. QI, J.H. GONG, M. WANG a M.S. LI. High-pressure synthesis and characterization of thermal-stable boron-doped diamond single crystals. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*. 27 (2009). pp. 564–570. ISSN 0263-4368.
13. M.P. D'EVELYN. Industrial Diamond. GE Superabrasives Report Number LFN 2001-17
14. NABHANI Farhad. Wear mechanisms of ultra-hard cutting tools materials. *Journal of Materials Processing Technology*. 115 (2001). pp. 402-412. ISSN 0924-0136.
15. Open Book Project. *Lessons In Electric Circuits -- Volume III* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://openbookproject.net/electricCircuits/Semi/SEMI_2.html
16. PEDAGOGICKÁ FAKULTA Masarykovy univerzity. *Fyzikální základy vědy o materiálu*. [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.ped.muni.cz/wphy/fyzvla/FMkomplet4.htm>
17. Pramet. *Soustružení 2012* [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Turning%202012%20CZ%20PROG.pdf>

18. Ran Lv , Jin Liu , Yongjun Li , Sicheng Li , Zili Kou , Duanwei He. High pressure sintering of cubic boron nitride compacts with Al and AlN. *Diamond & Related Materials*. 17 (2008). pp. 2062–2066. ISSN 0925-9635.
19. SANDVIK Coromant. *Informace o třídách* [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical_guide/general_turning/grade_information/pages/default.aspx
20. SANDVIK Coromant. *Turning tools: GENERAL TURNING*. [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/catalogues/en-gb/TURN_A.pdf
21. SECO. *Machining Navigator 2012: Soustružení* [online]. 2010 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.secotools.com/CorpWeb/Downloads/seconews2_2011/MN/turning/Turning%202012_CZ_LR.pdf
22. SECO. PCBN [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.secotools.com/cs/Global/Products/Advanced-cutting-materials/PCBN/>
23. SECO. *Secomax™ CBN170* [online]. 2010 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: [http://www.secotools.com/CorpWeb/Downloads/seconews1_2010/concertinafolds/GB_Folder_CBN170_HR_\(CMYK\).pdf](http://www.secotools.com/CorpWeb/Downloads/seconews1_2010/concertinafolds/GB_Folder_CBN170_HR_(CMYK).pdf)
24. SubsTech. *Boron nitride as solid lubricant* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=boron_nitride_as_solid_lubricant
25. SUMIMOTO ELECTRIC. *The Sumitomo Electric Group's Synthetic Diamond* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://global-sei.com/sn/2009/382/3.html>
26. SUMIYA, H. a K. HARANO. Distinctive mechanical properties of nano-polycrystalline diamond synthesized by direct conversion sintering under HPHT. *Diamond & Related Materials*. 24 (2012). pp. 44–48. ISSN 0925-9635.
27. UHLMANN, E., J.A. OYANEDEL FUENTES a M. KEUNECKE. Machining of high performance workpiece materials with CBN coated cutting tools. *Thin Solid Films*. 518 (2009). pp. 1451– 1454. ISSN 0040-6090.
28. University of Illinois at Springfield. *Crystal Structure Visualization Using Computer Software* [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: https://edocs.uis.edu/kdung1/www/Gemini/crystal_structure_visualization.htm
29. YE, S., S. ULRICH, C. ZIEBERT a M. STÜBER. Stress reduction of cubic boron nitride films by oxygen addition. *Thin Solid Films*. 517 (2008). pp. 1151–1155. ISSN 0040-6090.
30. YUCHENG, Zhao a Mingzhi WANG. Effect of sintering temperature on the structure and properties of polycrystalline cubic boron nitride prepared by SPS . *Journal of Materials Processing Technology*. 209 (2009).pp.355–359. ISSN 0924-0136.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Jednotka	Popis
a_p	[mm]	Hloubka řezu
CVD	[-]	Chemical vapor deposition
EDM	[-]	Electro-discharge machining
f	[mm]	Posuv
f_z	[mm]	Posuv na otáčku
HK	[MPa]	Tvrlost dle Knoopu
HPHT	[-]	High Pressure High Temperature
HRC	[MPa]	Tvrlost dle Rockwella
K_{IC}	[MPa·m ^{1/2}]	Lomová houževnatost
KNB/cBN/CBN	[-]	Kubický nitrid boru
např.	[-]	Například
NPD	[-]	Nano-polykrystalický diamant
obr.	[-]	Obrázek
PD/PKD/PCD	[-]	Polykrystalický diamant
PVD	[-]	Physical vapor deposition
R_a	[μm]	Střední aritmetická hodnota drsnosti
RO	[-]	Rychlořezná ocel
R_z	[μm]	Největší výška profilu drsnosti
SK	[-]	Slinutý karbid
SPS	[-]	Spark plasma sintering
TRS	[MPa]	Ohybová pevnost
tzv.	[-]	Takzvaný
VBD	[-]	Výměnná břitová destička
v_c	[m·min ⁻¹]	Řezná rychlost