

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 A JEJICH EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ

SUPERHARD CUTTING MATERIALS AND THEIR EFFECTIVE USE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ALENA STRADĚJOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

BRNO 2009

Zadání

Licenční smlouva

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na supertvrdé řezné materiály (polykrystalický diamant a polykrystalický kubický nitrid boru) a jejich efektivní využití. Zabývá se problematikou charakteristiky daných materiálů a jejich výrobou. Hodnotí sortiment výroby nejvýznamnějších producentů nástrojů a nástrojových materiálů v dané oblasti. Porovnává pracovní podmínky vybraných světových výrobců, které souvisejí s narůstajícím využitím těchto materiálů v procesu obrábění. Zabývá se řezivostí nástroje a popisuje technicko-ekonomické hodnocení této problematiky.

Klíčová slova

supertvrdé řezné materiály, polykrystalický diamant, polykrystalický kubický nitrid boru, řezné podmínky, aplikace

ABSTRACT

The master's thesis is aimed at superhard cutting materials (polycrystalline diamond and polycrystalline cubic boron nitride) and their effective utilization. It describes the characteristics and production of these materials and evaluates product ranges of the most significant producers of tools and tool materials in given area. It further compares working conditions of selected world's producers which are related to the growing utilization of these materials in machining process. The thesis also deals with the cutting power of tools and provides a technical-economic assessment of the discussed issue.

Key words

superhard cutting materials, polycrystalline diamond, polycrystalline cubic boron nitride, cutting conditions, application

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

STRADEJOVÁ, Alena. *Supertvrdé řezné materiály a jejich efektivní využití*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 54s. Vedoucí práce: doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Supertvrdé řezné materiály a jejich efektivní využití* vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Květen 2009

.....
Alena Stradějová

Poděkování

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

OBSAH

Abstrakt.....	3
Prohlášení.....	4
Poděkování.....	5
Obsah.....	6
Úvod	7
1 Řezné materiály	8
2 supertvrdé řezné materiály.....	10
2.1 Charakteristika, druhy	10
2.2 Výroba.....	11
2.3 Vlastnosti	12
2.4 Využití	16
2.5 Chronologický vývoj supertvrdých materiálů	17
3 NÁSTROJE A VYMĚNITELNÉ BŘITOVÉ DESTIČKY.....	19
3.1 Výroba VBD ze supertvrdých materiálů	19
3.2 Povlakování supertvrdými materiály	21
3.3 Konstrukce VBD	22
3.4 Nástroje	24
4 HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI NÁSTROJE.....	25
5 SORTIMENT VÝROBY STM SVĚTOVÝCH PRODUCENTŮ A DOPORUČENÉ PRACOVNÍ PODMÍNKY.....	28
5.1 CeramTec.....	29
5.1.1 SPK-WURBON pro obecné obrábění.....	29
5.1.2 SPK-WURBON pro obrábění litin	30
5.1.3 SPK-WURBON pro obrábění kalených materiálů.....	32
5.2 Iscar.....	33
5.2.1 Materiály s kubickým nitridem boru	33
5.2.2 Materiály se syntetickým diamantem	34
5.3 Kennametal.....	35
5.3.1 Materiály s kubickým nitridem boru	35
5.3.2 Materiály se syntetickým diamantem	36
5.4 Sandvik Coromant AB.....	37
5.4.1 Materiály s kubickým nitridem boru	37
5.4.2 Materiály se syntetickým diamantem	38
5.5 Seco Tools AB.....	39
5.5.1 Materiály s kubickým nitridem boru	39
5.5.2 Materiály se syntetickým diamantem	40
5.6 De Beers.....	42
5.6.1 Materiály s kubickým nitridem boru	42
5.6.2 Materiály se syntetickým diamantem	43
5.7 Porovnání materiálů světových výrobců	44
6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	47
Závěr	50
Seznam použitých zdrojů	51
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	54

ÚVOD

Řezné nástroje jsou jedním ze základních realizačních prvků technologických operací obrábění. Vývoj řezných nástrojů probíhá v současné době v úzké spolupráci s jejich uživateli a vyžaduje zejména využívání nových konstrukčních materiálů a také pokrok v kvalitě obráběcích strojů. Jsou kladeny stále vyšší požadavky na přesnost a jakost funkčních povrchů obrobků a také na trvanlivost a spolehlivost.

Ve strojírenském průmyslu je čím dál častější potřeba výroby součástí z pevnějších a tvrdších materiálů. U takových materiálů je požadována především vysoká přesnost, kvalita obrábění a co nejnižší cena. Z toho plyne nutnost používat co nejmodernější a nejefektivnější nástroje. Pro obrábění velmi tvrdých materiálů musí být splněny odpovídající předpoklady. Ty splňuje sortiment řezných nástrojů, kterými jsou, vedle klasických tvrdých materiálů, i supertvrdé materiály.

Takovými představiteli jsou polykrystalický diamant a kubický nitrid boru. Jedná se o řezné materiály, které se vyznačují vysokou tvrdostí a odolností proti abrazivnímu opotřebení. Vzhledem k jejich vlastnostem se jejich použití pro řezné nástroje přímo nabízí a to zejména pro speciální aplikace.

Použití diamantu má sice určité omezení, kterým je afinita uhlíku k železu, ale při správné aplikaci je vynikajícím řezným materiálem, zejména pro obrábění neželezných materiálů. Jedná se především o obrábění kdy je vyžadována vysoká přesnost rozměru a vysoká jakost obrobených ploch. Naopak kubický nitrid boru se při obrábění vyznačuje dobrou chemickou stabilitou, díky které jej lze použít pro obrábění kovových materiálů s tvrdostí nad 48 HRC. Jeho významnou vlastností je při narůstající tvrdosti obrobku menší opotřebení bříty.

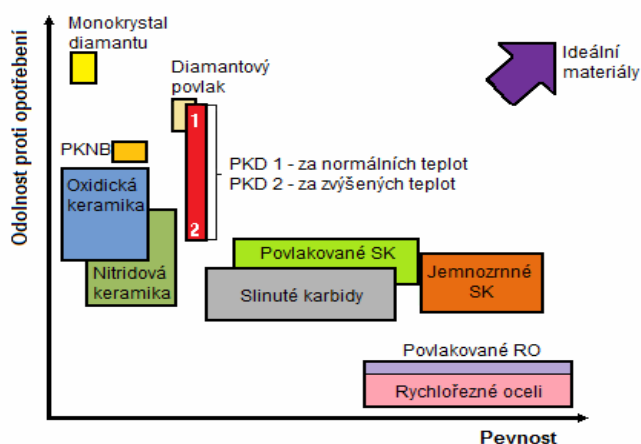
1 ŘEZNÉ MATERIÁLY

Průběh a výsledek řezného procesu závisí především na vlastnostech řezné části nástroje. Ta je vyrobena z daného nástrojového materiálu. Na tyto materiály jsou kladeny různé požadavky, například vysoká tvrdost, houževnatost, odolnost proti opotřebení, tepelná vodivost, pevnost v ohybu a chemická odolnost i při zvýšených teplotách řezného procesu, tj. až do teplot blízkých se tavným teplotám materiálu obrobku. Uvedené požadavky musí materiál splňovat při vyšších a vysokých teplotách po relativně dlouhou dobu.⁴

Výběr materiálů pro řezné nástroje je v dnešní době široký a velmi úzce souvisí jak s rozvojem konstrukčních materiálů určených pro obrábění, tak s vývojem nových obráběcích strojů. Obrázek 1.1 charakterizuje vlastnosti, s jakými je vhodné použít daný materiál za určitých řezných podmínek.

Jako materiál řezných částí nástrojů se používají:²

- nástrojové oceli
- slinuté karbidy
- cermety
- řezná keramika
- supertvrdé řezné materiály



Obr. 1.1 Vlastnosti řezných materiálů⁴⁶

Nástrojové oceli

Mezi nástrojovými oceli mají specifické vlastnosti rychlořezné oceli. Zpravidla obsahují méně než 1 % uhlíku. Mají střední odolnost proti opotřebení, vysokou lomovou pevnost a vysokou houževnatost. Rychlořezné oceli jsou vhodné pro obrábění s nízkými řeznými rychlostmi, pro obrábění ocelí, ocelí na odlitky o vysoké pevnosti a tvrdosti a také pro tvarově složité nástroje.

Slinuté karbidy

Slinuté karbidy se vyrábí z různých karbidů a kovového pojiva práškovou metalurgií. Jsou to směsi dvou a více fází. Množství jednotlivých složek ovlivňuje jejich vlastnosti, především tvrdost, houževnatost a odolnost proti otěru. Jako pojivo je nejčastěji používán kobalt. Slinuté karbidy není možné dále te-

pevně zpracovávat. Jediné úpravy, které lze na nich provádět za účelem získání konečného tvaru a rozměru, jsou broušení, elektroerozivní obrábění a lapování. Mezi nejvíce užívané karbidy patří karbid wolframu WC, karbid titanu TiC, karbid tantalu TaC a karbid niobu NbC.

Slinuté karbidy jsou vhodné pro obrábění s vysokými posuvovými rychlostmi a také pro přerušované řezy. Kvůli své nízké termochemické stabilitě nejsou vhodné pro obrábění s vysokými řeznými rychlostmi. Nanesením termochemicky stabilního tvrdého povlaku (např. oxid, karbid a nitrid) na pevný karbidový podklad vznikne materiál vhodný pro vysoké řezné i posuvové rychlosti, pro velký úběr materiálu a přerušovaný řez. Nazýváme je povlakovanými slinutými karbidy.

Cermety

Cermety jsou řezné materiály vyráběné stejně jako slinuté karbidy práškovou metalurgií, které obsahují v kovovém pojivu např. niklu, molybdenu a kobaltu, tvrdé částice (TiC, TiN a TaN). Ve srovnání se slinutými karbidy jsou méně houževnaté, mají menší pevnost, menší odolnost proti teplotním šokům a zhruba stejnou tvrdost. Používají se pro obrábění ocelí, litin, lité oceli, snadno obrobitelné slitiny a neželezné kovy. Jsou vhodné pro obrábění s vyššími řeznými i posuvovými rychlostmi.

Řezná keramika

Řezná keramika jako řezný materiál má vysokou tvrdost za tepla, chemicky nereaguje s materiálem obrobku a zaručuje vysokou trvanlivost břitu. Je křehká a má nízkou tepelnou vodivost.

Oxidická keramika na bázi Al_2O_3 je vhodná pro vysoké řezné rychlosti a nízké posuvové rychlosti. Nitridová keramika na bázi nitridu křemíku Si_3N_4 je vhodná pro vyšší posuvové rychlosti a protože vykazuje rychlé opotřebení, její použití je omezeno pro obrábění šedé litiny.

2 SUPERTVRDÉ ŘEZNÉ MATERIÁLY

2.1 Charakteristika, druhy

Supertvrde materiály jsou technické materiály, které svými vlastnostmi, především tvrdostí a otěruvzdorností, převyšují běžné řezné materiály, jako jsou slinuté karbidy a řezná keramika. Jedná se tedy o dva syntetické materiály vyrobené v laboratoři a to na bázi diamantu – **polykrystalický diamant** a na bázi kubického nitridu boru – **polykrystalický kubický nitrid boru**.^{1,18}

Jedná se tedy o nejtvrďší řezné materiály, a proto se materiály, které tyto komponenty obsahují, označují jako supertvrde řezné materiály.⁴

Diamant

Polykrystalický diamant nebo také umělý diamant se označuje zkratkou PKD, v zahraničí se používá označení PCD (polycrystalline diamond).

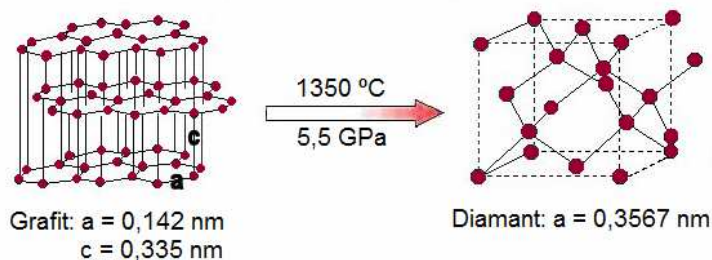
Diamanty dělíme na dvě skupiny – přírodní a syntetické. Přírodní diamanty (obr. 2.1) se upravují broušením a vyrábí se z nich klenotnické diamanty (obr. 2.2). Vyskytují se volně v přírodě ve vyvřelých horninách. Jejich největší těžiště se nachází v jižní Africe. Syntetický nebo uměle vyrobený diamant je tvořen pouze jediným prvkem, a to uhlíkem. Jeho uspořádání atomů probíhá v krystalické mřížce a krystalizuje v kubické soustavě (obr. 2.3). Krystaly mají nejčastěji tvar osmistěnu. Oba uvedené druhy se vyskytují v monokrystalickém i polykrystalickém tvaru.^{1,12,18}



Obr. 2.1 Surové přírodní diamanty¹²



Obr. 2.2 Vybroušené klenotnické diamanty¹²



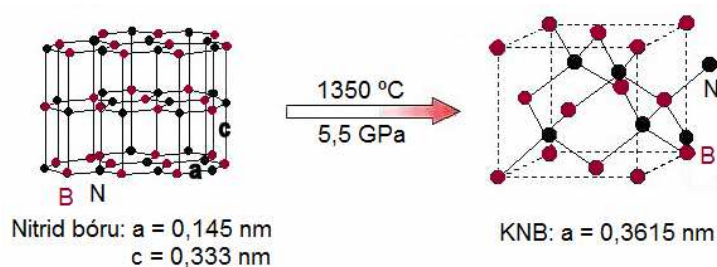
Obr. 2.3 Diamant, změna mřížky¹

Kubický nitrid boru

Kubický nitrid boru byl vyvinut pro řezání materiálů, které nelze opracovávat diamantem. Pro označení kubického nitridu boru, je používána zkratka KNB. Pro označení polykrystalického kubického nitridu boru, kdy se jedná o

soustavu krystalů, je používána zkratka PKNB. Zkratka používaná v zahraničí je CBN (cubic boron nitride), respektive PCBN.

Nitrid boru se vyskytuje ve dvou strukturních modifikacích. Jako hexagonální modifikace s krystalovou strukturou podobnou grafitu a jako kubická modifikace s krystalovou strukturou diamantu (obr. 2.4). Krystalová mřížka KNB je podobná mřížce diamantu. Z hlediska struktury jsou stejné a liší se velikostí mřížkové konstanty. Ta má hodnotu $a = 0,3616 \text{ nm}$ u kubického nitridu boru, u diamantu pak $a = 0,3567 \text{ nm}$. Tato hodnota společně s valencí atomů KNB vysvětluje, proč je tvrdost KNB nižší než tvrdost PKD.^{1,6,11}



Obr. 2.4 Nitrid boru, změna mřížky¹

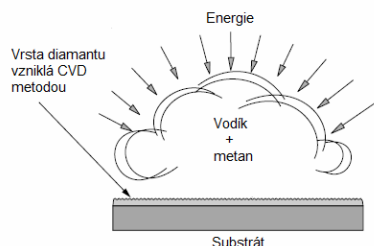
2.2 Výroba

Diamant

Umělé diamanty lze vyrobit dvěma metodami. Obě metody se provádí při vysoké teplotě a tlaku.

První metodou je HPHT (High Pressure High Temperature) metoda, vyvinutá v polovině 20. století společností General Electric. Při této metodě se diamanty vytváří za vysokých teplot a tlaků, kdy se uhlík stlačuje za použití roztaženého kovu a následného chladnutí při určité rychlosti. K tomu, aby atomy uhlíku vytvořily ve vznikajícím krystalu správnou strukturu, která dodává diamantu jeho pevnost, je nutné, aby se zahřívaly na teplotu 1000 až 1500 °C a to při tlaku 5,3 až 10 GPa.^{5,9}

Druhou metodou je CVD (Chemical vapour deposition) metoda, ve které dochází ke kondenzaci par na vhodný podklad (obr.2.5). Jde o směs vodíku s metanem, která je bombardována nabitými částicemi nebo přímo plazmou. Tak dojde ke složité chemické reakci, která vyvolá velké množství malých kapiček uhlíku. Ty následně dopadají na podklad a zkrystalizují ve formě diamantu (obr. 2.6). Takto vytvořené diamanty se zahřívají na 2000 °C.^{5,9}



Obr. 2.5 Schéma CVD procesu⁴⁴



Obr. 2.6 Vrstva vzniklého diamantu o tloušťce 150 μm ⁴⁵

HPHT je starší technologie, pomocí které bylo vyrobeno poměrně malé množství kamenů. Většina z nich je zbarvena do žluté až hnědé barvy. Metoda CVD v tomto ohledu podává daleko lepší výsledky. Díky této technologii můžeme ovlivnit tvar diamantu, její produkt je bezbarvý a výroba je lépe řízena. Největší předností této metody je výroba diamantu, který je tvrdší než běžný přírodní i umělý diamant. Mimořádná tvrdost je pravděpodobně způsobena minimalizací množství poruch krystalové mřížky, které zpravidla snižují pevnost jakýchkoli struktur.^{5,9}

Výroba diamantů je časově náročná, ale poměrně levná. Vyrábí se rychlostí jedné desetiny milimetru za hodinu. Je možné jít až na 0,3 mm/hod a teoreticky až na 1 mm/hod. Je ale samozřejmostí, že s rychlejším procesem krystalizace klesá kvalita.^{5,6,9}

Kubický nitrid boru

KNB se vyrábí syntézou hexagonálního nitridu boru za přítomnosti katalyzátoru. Syntéza se provádí ve speciálních kádích na hydraulických lisech při teplotě kolem 2000 °C. Druhým nejtvrdším materiálem se KNB stává teprve až transformací mřížky z hexagonální na kubickou, za stejných teplot a tlaků viz. obr. 2.4.^{6,9,19}

2.3 Vlastnosti

Diamant

Chemické složení: Diamant je tvořen uhlíkem. Případné nečistoty a také nejdůležitější defekty diamantů jsou dusík, který svou přítomností ovlivňuje mechanické, elektrické, optické i teplotní vlastnosti, nikl, železo, hliník a bor, který může způsobovat u diamantů polovodičové vlastnosti.⁸

Klasifikace: Diamantové krystaly obsahují dusík a bor a podle jejich koncentrace se rozdělují na:⁸

- Typ I – hlavní příměsí je dusík. Jsou-li atomy dusíku ve shlucích a neovlivňuje barvu, pak jde o skupinu Ia. Do této skupiny spadá většina přírodních diamantů. Jsou-li atomy dusíku rozptýlené v mřížce, pak se jedná o typ Ib. Do této skupiny patří téměř všechny syntetické diamanty.
- Typ II – neobsahuje žádný dusík. Typ IIa neobsahuje ani žádné další příměsí a v přírodě je velmi vzácný. Typ IIb obsahuje na místě uhlíkových atomů atomy boru, což způsobuje částečnou elektrickou vodivost. V přírodě se vyskytují velmi vzácně, zpravidla mají modrou barvu.

Tvrdost: Diamanty se vyznačují vlastností s vysokou těsností krystalické mřížky, což poskytuje diamantu extrémní tvrdost a jsou díky tomu nejtvrdšími ze všech materiálů. Dosahuje stupně 10 Mohsovy stupnice tvrdosti. Je 150x tvrdší než korund, který dosahuje stupně tvrdosti 9. Z toho tedy plyne, že diamantem lze zanechat stopu po vrypu na jakémkoliv jiném materiálu a naopak

není možné rýpnout do diamantu žádným jiným materiálem. Diamant je tedy velice tvrdý, ale zato, ve srovnání s jinými materiály, poměrně křehký.^{5,6,9}

Mohsova stupnice tvrdosti vyjadřuje schopnost materiálu rýpat do druhého materiálu. Za účelem srovnání tvrdosti nerostů ji vytvořil německý mineralog Friedrich Mohs.

Tab. 2.1 Mohsova stupnice tvrdosti¹⁰

Tvrdost	Minerál	Absolutní tvrdost
1	Mastek	1
2	Sůl kamenná, Sádrovec	3
3	Kalcit - Vápenec	9
4	Fluorit	21
5	Apatit	48
6	Živec	72
7	Křemen	10
8	Topaz	200
9	Korund	400
10	Diamant	1500

Pro orientaci: nehet má tvrdost 1,5 až 2, mince 3,4 až 4 a pokud minerál zanechává rýhu ve skle, má tvrdost větší než 5.¹⁰

Disperze: Je optická vlastnost vyjadřující barvu vstupujícího světla, tedy je to závislost indexu lomu na vlnové délce. Touto vlastností jsou způsobeny barevné efekty, které jsou pozorovatelné u vystupujících paprsků světla. Diamant má hodnotu disperze -0,044, což je vzhledem k indexu lomu 2,42 poměrně nízká hodnota. Pro srovnání, jiné uměle vytvořené kameny se srovnatelným indexem lomu, mají disperzi vyšší a kombinace barev v těchto kamelech je nepřirozeně nápadná.^{5,6,8,9}

Index světelných lomů: Diamant, charakteristický kubickou krystalovou mřížkou, je opticky jednoosý, tzn., že má jedinou hodnotu indexu lomu, nebo také, že nevykazuje dvojlom. Diamanty vystavují vysoké rozptylování viditelného světla (obr. 2.7). Hodnota indexu lomu je 2,418. Z jednolomných materiálů má diamant index lomu nejvyšší. Vyšší hodnoty jsou sice naměřeny u přírodního atanasu a rutilu, ale oba jsou dvojlomné.^{5,6,9}

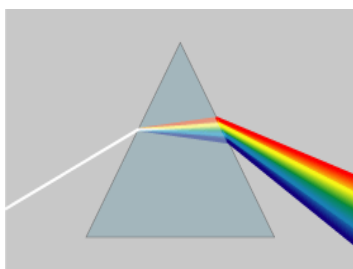
Čistota: Čistotou diamantu se míní úroveň jeho znečištění (výskyt inkluzí, jejich množstvím a polohou) nebo mechanických poruch (zpravidla prasklin). Chemicky čistý diamant je dokonale transparentní bez odstínů nebo zbarvení.^{5,6,9}

Barva: Zbarvení, stejně jako fyzikální vlastnosti, jsou dány výskytem příměsí nebo strukturálními kazy v krystalové mřížce (jako je nezkrytalizovaný uhlík nebo malé praskliny). Například žluté zbarvení kamene způsobuje výskyt atomu dusíku, tmavě modré zbarvení způsobuje prvek boru. Intenzita zbarvení je přímo úměrná množství přítomných prvků.^{5,6,9}

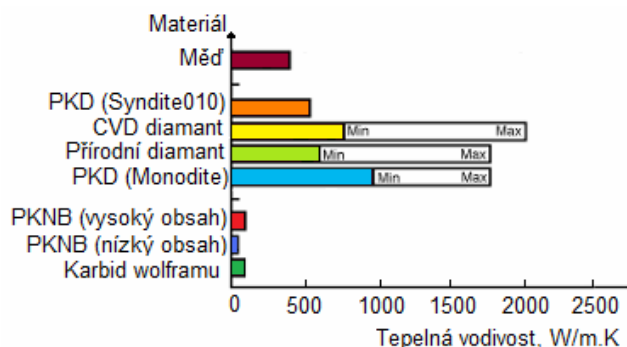
Elektrické vlastnosti: Diamant je velmi dobrá, elektricky izolační látka. Výjimkou jsou diamanty zbarvené do modra, které mohou být polovodiče. A to díky přítomnosti boru v krystalové mřížce, který se vyznačuje výbornou vodivostí.^{5,6,8,9}

Tepelná vodivost: Diamant je dobře tepelně vodivý a jak ukazuje diagram, vlastní nejvyšší tepelnou vodivost ze všech látek vůbec. Na obr. 2.8 je znázorněna tepelná vodivost vybraných materiálů za normálních podmínek.^{5,6}

Termodynamická stabilita: Diamant má poměrně malou teplotní stálost. Po dosažení teploty nad 800 °C se začne přetvářet na grafit. Z tohoto důvodu se diamant nepoužívá pro obrábění materiálů na bázi železa. Při nadměrném ohřevu by tak mohlo dojít k silné difuzi mezi obrobkem a nástrojem a tím samozřejmě také k velkému opotřebení především na čele nástroje.^{5,6,9}



Obr. 2.7 Diamanty vystavují vysoké rozptylování viditelného světla¹¹



Obr. 2.8 Tepelná vodivost vybraných materiálů⁴⁴

Obecně lze o diamantech říct, že mají dobré mechanické vlastnosti např. tuhost, pevnost apod. Některé syntetické diamanty obsahují poměrně velké, prizmatické nebo tabulkovité zbytky železa uvolněného z matečné taveniny. Díky obsahu železa jsou některé diamanty s těmito příznaky magnetické. Jsou tedy přitahovány nebo odpuzovány silným magnetem. Tímto se ale usnadní jejich identifikace. Pro praxi však tento jev nenabývá velkého významu. Díky odolnosti proti opotřebení a příznivé tepelné vodivosti vykazuje PKD vysokou kvalitu drsnosti povrchu, delší trvanlivost a vysoké řezné rychlosti.^{9,10,32,46}

Kubický nitrid boru

Vlastnosti KNB jsou velmi podobné vlastnostem diamantu. V některých je dokonce lepší. Například z hlediska obrábění se vyznačuje lepší chemickou stálostí a tepelnou odolností. Zatímco teplotní stálost diamantu je asi 800 °C, KNB dosahuje daleko vyšších teplot, protože tento materiál reaguje s kyslíkem teprve od teploty cca 1200 °C.^{7,19,27}

Obecně se dá říct, že se vyznačuje mnohonásobně vyšší trvanlivostí a lepšími řeznými vlastnostmi, než klasické brusné materiály, vysokou lomovou houževnatostí, dobrou tepelnou vodivostí a jak už bylo řečeno, jeho přední vlastností je vysoká tvrdost. Vlastnosti jako jsou tvrdost za tepla, odolnost vůči oxidaci a houževnatost při lomu tohoto materiálu, dávají břitovým destičkám z PKNB vynikající pevnost ostří a dlouhou trvanlivost při obrábění tvrdých železných materiálů. Prostřednictvím vysoké odolnosti proti opotřebení je proces obrábění vysoce výkonný, a to především v operacích s přerušovaným i nepřerušovaným řezem. Prostřednictvím vlastností tohoto materiálu lze snižovat

náklady a zajistit vysokou spolehlivost a produktivitu procesu, které jsou pro výrobu vysoce žádoucí.^{19,29,32}

Porovnání vybraných vlastností polykrystalického diamantu a polykrystalického kubického nitridu boru je uvedeno v tabulce 2.2. Vybrané fyzikální vlastnosti některých PKNB firmy De Beers jsou uvedeny v tabulce 2.3, vlastnosti některých PKD v tabulce 2.4.

Tab. 2.2 Porovnání vlastností supertvrdých materiálů^{2,27,46}

Vlastnost	PKD	PKNB
Délka strany kubické mřížky [nm]	0,3567	0,3616
Mikrotvrdost [HV]	7000 - 10000	5000 - 8000
Pevnost v tlaku [GPa]	4,7	3,8
Teplotní stálost [°C]	700 - 800	1500 - 1600
Měrná hmotnost [g.cm ⁻³]	3,6 - 4,1	3,4 - 4,3
Měrná tepelná vodivost [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	120	100 - 600
Lomová houževnatost K _{IC} [MN.m ^{-3/2}]	8,0	5,0
Modul pružnosti v tahu [GPa]	925	680
Modul pružnosti ve smyku [GPa]	430	280
Poissonova konstanta [-]	0,09	0,22
Koeficient délkové roztažnosti při 200 °C [10 ⁻⁶ .K ⁻¹]	4,0	4,9

Tab. 2.3 Fyzikální vlastnosti některých produktů PKNB firmy De Beers⁴⁶

Vlastnost	Amborite AMB90	Amborite DBC50	Amborite DBA80
Měrná hmotnost [g.cm ⁻³]	3,42	4,28	3,52
Pevnost v tlaku [GPa]	2,73	3,552	-
Lomová houževnatost K _{IC} [MN.m ^{-3/2}]	6,4	3,7	5,9
Modul pružnosti v tahu [GPa]	680	587	649
Koeficient délkové roztažnosti [10 ⁻⁶ .K ⁻¹]	4,9	4,7	4,6
Měrná tepelná vodivost [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	100	44	85
Koeficient opotřebení [-]	1,90	1,34	1,76

Tab. 2.4 Fyzikální vlastnosti některých produktů PKD firmy De Beers⁴⁶

Vlastnost	Syndite CTB010	Syndrill SRC	Monokrystal diamantu
Měrná hmotnost [g.cm ⁻³]	4,12	3,99	3,52
Pevnost v tlaku [GPa]	7,60	7,61	8,68
Lomová houževnatost K _{IC} [MN.m ^{-3/2}]	8,81	9,80	3,46
Modul pružnosti v tahu [GPa]	776	810	1141
Koeficient délkové roztažnosti [10 ⁻⁶ .K ⁻¹]	4,2	4,6	1,5 – 4,8
Měrná tepelná vodivost [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	540	760	500 - 2000
Koeficient opotřebení [-]	3,89	3,97	2,14 – 5,49

2.4 Využití

Diamant

Přírodní diamanty nejsou vhodné pro obrábění, neboť jsou příliš drahé a technologicky méně výhodné než diamanty vyráběné synteticky. Jejich prvořadě využití, společně se syntetickým čirým diamantem, lze nalézt ve šperkařství, optice, elektronice a jiných speciálních zařízeních, kde je zbarvení nežádoucí. Syntetické diamanty jsou proti přírodním levnější a mají lepší mechanické vlastnosti. Především se jedná o stejnou pevnost ve všech osách.^{5,18}

Standardní a největší využití syntetických diamantů je v průmyslu, jako řezné nástroje, vrtné nástroje, brusivo, prášky, pasty a diamantový prach. Jako brusivo se úspěšně používá na broušení tvrdých a křehkých materiálů (jako jsou slinutý karbid, keramika, sklo) a také pro broušení a ostření řezných nástrojů osazených plátky SK, polykrystalickým a monokrystalickým diamantem a polykrystalickým nitridem boru. Diamantové prášky se využívají pro výrobu past a brousicích těles (např. brousicí a řezací kotouče, honovací kameny, vrtáky, pilníky), pro lapování a leštění. Diamantové brousicí kotouče se používají pro dokončování s vysokou přesností a jakostí povrchu.^{5,18,19,27}

Syntetické diamanty vyrobené v menší kvalitě mají využití například jako náhrada křemíku v procesorech. Některé druhy lze užít jako polovodiče. Také se používají na ostření, leštění a jsou osazeny do břitových destiček.^{5,18}

Nástroje a vyměnitelné břitové destičky osazené polykrystalickým diamantem se používají pro obrábění měkkých a houževnatých materiálů a neželezných kovů a slitin, jako jsou např. hliník a jeho slitiny, měď, mosaz, bronz, titan a jeho slitiny. Jedná se vesměs o materiály s malou tepelnou vodivostí, jejich teplota obrábění leží pod 700 až 800 °C a nemají afinitu k uhlíku. Také se používají při obrábění keramických a plastických hmot, grafitových hmot, gumy, jiných kompozitních materiálů vyztužených různými druhy vláken např. skleněná, uhlíková a také na tvrdé přírodní materiály jako je žula, mramor apod. Vynikající výkonnost a trvanlivost řezných nástrojů osazených diamantem nabízejí možnosti použití zejména ve velkosériové výrobě např. v automobilovém průmyslu, kde se používají k soustružení, frézování, vrtání a vystružování pro obrábění hliníkových bloků motorů, převodových skříní, karburátorů atd.^{5,18,19,20,27}

Dále se PKD používá pro jiné než řezné účely, a to do průvlaků pro tažení, např. wolframových drátů, jako otěruvzdorné doteky, čidla atd. Své uplatnění také nachází v oblastech geologie a hornictví, kde je PKD osazován jako řezný element do vrtných korunek a dlát. Další využití nachází také ve speciálních aplikacích obrábění. Diamantové produkty vzniklé CVD metodou jsou vhodné pro využití v medicíně, optice, rádio frekvencích a v aplikacích s vysokými požadavky na přesnost.^{18,27}

Kubický nitrid boru

Jak už bylo řečeno, PKNB byl vyvinut pro řezání materiálů, které nelze opracovávat polykrystalickým nebo monokrystalickým diamantem. Zpravidla se jedná o tvrdé a zakalené kovové materiály.

Z hlediska řezného procesu je PKNB možno užít, jsou-li požadovány větší řezné hloubky (to je při obrábění spíše výjimečné) nebo pro přerušovaný řez.

Další využití nachází v elektronice jako elektrický izolační materiál, který velmi dobře odvádí teplo.¹³

Velmi vhodný je pro brusné operace - pro volné broušení i pro výrobu brusných nástrojů se všemi druhy pojiv (od keramických až po kovová) a brusných past. Nejčastěji se jedná o broušení zušlechtěných kalených nástrojových ocelí s tvrdostí více než 58 HRC, rychlořezných ocelí apod. Proces broušení je buď zcela, nebo částečně nahrazen operacemi soustružení a to z důvodu efektivity a ekologie. Prášky nitridu boru se používají pro výrobu past a brousicích nástrojů např. brousicí kotouče a honovací kameny.^{13,14}

Nástroje a VBD osazené polykrystalickým kubickým nitridem boru jsou vhodné pro obrábění tvrdých a abrazivních materiálů, pro obrábění zakalených nástrojových ocelí s tvrdostí minimálně 45 HRC a pro ocelové výkovky, povrchově zakalené oceli, rychlořezné oceli a slitiny s tvrdým povlakem. Dále pro obrábění bílé litiny s tvrdostí nad 50 HRC, legované, šedé, tvárné a tvrzené litiny, žáruvzdorné slitiny a slinutých kovů. Typickou oblastí je konkrétně obrábění ozubených kol pro převodovky, válečkových ložisek, talířových ozubených kol, kuličkových tažných šroubů a válcové frézování.^{13,18,29,45}

Tento materiál není vhodný pro obrábění měkkých materiálů, neboť se zvyšuje opotřebení břitu nástroje. Jinými slovy, čím vyšší tvrdost obrobku, tím menší opotřebení břitu nástroje. Obrábění měkkých materiálů nástrojem z PKNB je vzhledem k vysoké ceně neekonomické. Vysoké kvality obrobeneho povrchu a maximální efektivity lze dosáhnout obráběním na čisto.^{14,29,41}

2.5 Chronologický vývoj supertvrdých materiálů

Před mnoha miliony let docházelo k tvorbě diamantu pod zemskou kůrou v hloubce více než 150 km. V horninách Kimberlit a Lamproit byl diamant vyneseno do vrchní vrstvy zemské kůry. V roce 1890 byl v USA vyvrtán první hloubkový vrt pomocí ruční diamantové korunky. V roce 1907 se diamantů začalo průmyslově využívat ve formě průvlaků pro výrobu wolframových vláken elektrických žárovek. V roce 1932 se začaly vyrábět diamantové brousicí kotouče s kovovým pojivem a o rok později s pryskyřičným pojivem. V roce 1947 dosáhl Bridgman takových teplot a tlaků, které zpomalovaly reakci přechodu diamantu na grafit, ale nedokázal vyrobit diamant. V roce 1953 vyrobili vědečtí pracovníci Liander a Lundblad diamanty pomocí metody HPHT. V roce 1955 byl vytvořen tlakově-teplotní rovnovážný diagram pro diamant/grafit. Ve stejném roce vyrobili vědečtí pracovníci laboratoře firmy General Electric v USA diamanty pomocí HPHT a popsali definovaný a opakovatelný vědecky podlo-

žený proces, na který jim byla udělena patentová práva. O pět let později provedli transformaci hexagonálního nitridu boru na tvrdou, kubickou formu. Začala výroba krystalů kubického nitridu boru v komerčním měřítku pro použití v brousicích kotoučích. Do roku 1970 začala výroba diamantových krystalů s kovovým povlakem pro zlepšení vazby v brousicích kotoučích s pryskyřičným pojivem. Po roce 1971 se začal používat polykrystalický diamant v aplikacích obrábění neželezných a nekovových materiálů, kubický nitrid boru v aplikacích pro obrábění kalených ocelí a tvrzených litin. Ruští vědci oznámili v roce 1973 výrobu diamantového povlaku z plynné fáze pomocí procesu CVD. V roce 1976 začala výroba vylepšených diamantových krystalů s přesně definovanou strukturou a vlastnostmi, v souladu se specifickými požadavky jednotlivých aplikací, např. pro broušení kombinace materiálů slinutý karbid/ocel a nástroje s kovovým pojivem pro řezání a vrtání. V roce 1981 již existovaly tepelně stabilní polykrystalické polotovary pro břity vrtacích korunek. Pokračuje zlepšování vlastností diamantových krystalů. Od roku 1993 jsou komerčně dostupné diamantové produkty pro řezné nástroje, drátové průtažnice, samostatné diamantové díly pro optické a elektronické aplikace.¹

3 NÁSTROJE A VYMĚNITELNÉ BŘITOVÉ DESTIČKY

3.1 Výroba VBD ze supertvrdých materiálů

Nástroje z polykrystalických supertvrdých materiálů a vyměnitelné břitové destičky osazené těmito materiály lze vyrábět několika způsoby.^{1,27} Jednotlivé typy VDB jsou znázorněny na obr. 3.2.

1. Výroba monolitních destiček

Celistvé destičky se vyrábí pouze z PKNB. Jedná se o destičky, jejichž celý objem tvoří polykrystalický kubický nitrid boru.

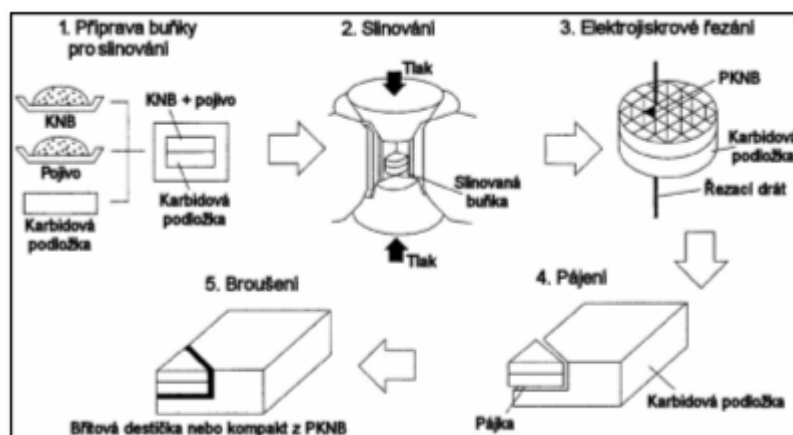
2. Výroba vícevrstvé destičky

Druhou možností výroby destiček je nanesení nebo připájení silné vrstvy PKD nebo PKNB na celou plochu destičky, která je ze slinutého karbidu. VBD je pak složena ze dvou vrstev. Tloušťka se pohybuje v rozmezí několika desetin milimetrů až po celé milimetry.

3. Výroba VBD - substrát z SK + pojivo + roubík z STM

Výroba VBD zahrnuje následující operace (obr. 3.1):

- příprava monokrystalů pro syntézu,
- syntéza monokrystalů,
- slinování tělesa – prášky či krystaly PD nebo KNB s pojivem, účelem je docílit přímé vazby mezi jednotlivými zrny supertvrdých materiálů, objemový podíl by měl být vyšší než 60 %,
- rozřezávání těchto vrstevnatých destiček elektrojiskrovým dělením do jednotlivých segmentů požadovaných tvarů a rozměrů (nejčastěji půlkruh, kruhová výseč, trojúhelník, čtverec, popř. obdélník), jak poukazuje obrázek 3.3,
- napájení segmentů (roubíků) do uložení v nosném tělese nástroje nebo vyměnitelné břitové destičky,
- opracování a broušení břitu, jehož kvalita má podstatný vliv na výslednou trvanlivost nástroje.

Obr. 3.1 Výroba VBD ze supertvrdých materiálů¹Obr. 3.2 Břitové destičky – a) monolitní, b) silná vrstva na SK podložce, c) s roubíkem³²Obr. 3.3 Segmenty požadovaných tvarů a rozměrů PKD⁴⁷

Při výrobě VBD ze supertvrdých materiálů hraje významnou roli velikost zrna. Zrna diamantu i kubického nitridu boru, která jsou určena pro výrobu kompaktních těles, jsou opatřena zvláštními kovovými povlaky titanu a chromu. Provádí se to za účelem zvýšení pevnosti vazby a také jako ochrana proti znehodnocení zrn. Tím, že se vytvoří na povrchu zrn rovnoměrná vrstva ve formě povlaku, který obalí každé zrn, jsou všechny přítomné nečistoty a příměsí zcela eliminovány. Produkt tak získá vysokou houževnatost, vysokou odolnost proti opotřebení a lomu, rovnoměrné rozptýlení zrn v pojivu a dobrou adhezi mezi zrny a pojivem.^{1,27}

Podle požadované aplikace je možné volit rozdílnou zrnitost. Obecně platí pravidlo, kdy s jemnější zrnitostí lze získat lepší drsnost obráběného povrchu, ale do určité míry klesá celková trvanlivost nástroje. Větší zrnو tedy zajišťuje nástroji větší odolnost proti opotřebení a rázům. Je evidentní, že velikost zrna tvrdých částic společně s použitým pojivem značně ovlivňuje vlastnosti nástrojů např. řezné, tepelné a mechanické vlastnosti.^{27,28}

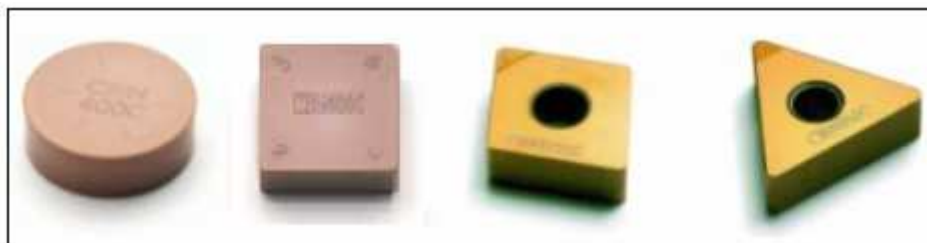
Vlastnosti jako jsou tvrdost za tepla, odolnost vůči oxidaci a houževnatost při lomu tohoto materiálu, dávají břitovým destičkám z PKNB vynikající pevnost ostří a dlouhou trvanlivost při obrábění tvrdých kovových materiálů.³⁸

3.2 Povlakování supertvrdými materiály

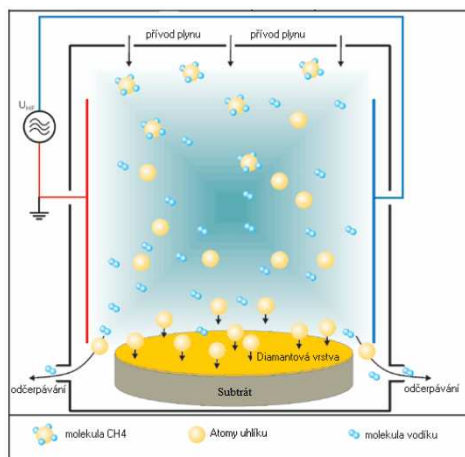
Povlakování je proces, kdy se na podkladové těleso (zpravidla se jedná o slinuté karbidy) nanáší tenká vrstva materiálu. Tím vznikne otěruvzdorný povlak vynikajících vlastností. Břitové destičky povlakované těmito materiály jsou znázorněny na obrázku 3.4. Pro povlakování řezných nástrojů se nejčastěji používají metody CVD (Chemical Vapour Deposition), PVD (Physical Vapour Deposition) a další.²

Pro povlakování řezných nástrojů diamantem se používá nejčastěji metoda CVD (obr. 3.5). Je to chemické napařování z plynné fáze a proces je založen na směsi chemicky reaktivních plynů (metanu a vodíku) v blízkosti povrchu podkladového materiálu (slinutý karbid). Reakce probíhá ve vakuové komoře při teplotě 700 až 1000 °C. Směs je disociována, ionizována a při reakci s povrchem substrátu vytváří požadovanou vrstvu diamantu. Touto metodou lze povlakovat libovolný tvar i povrch.²⁸

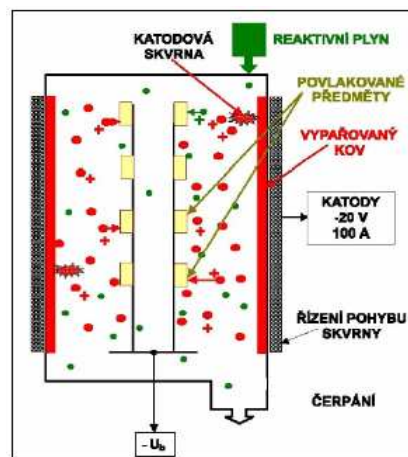
Metoda PVD se využívá více pro povlakování destiček kubickým nitridem boru. Proces probíhá ve vakuu (viz obr. 3.6) buď napařováním, napařováním, iontovou implantací nebo jinými způsoby. Při napařování je čistý kov odpařován pomocí elektrického oblouku buď klasickým odporovým ohřevem, nebo svazkem elektronů. Tyto částice vytváří spolu s atmosférou komory chemickou reakci a dopadají na povrch substrátu, kde vytváří tenkou vrstvu. Nevýhodou PVD metod je složitý vakuový systém a nutnost pohybu povlakovaných předmětů za účelem rovnoměrného ukládání povlaku. Výhodou představuje možnost povlakování ostrých hran.^{2,28}



Obr. 3.4 Povlakované břitové destičky firmy Seco^{22,38}



Obr. 3.5 Schéma metody CVD⁴⁷



Obr. 3.6 Schéma metody PVD – napařování²

DLC vrstva

Povlaková vrstva typu DLC (Diamond-Like Carbon) se skládá z uhlíku v grafitické, amorfní a krystalické formě a vodíku. Vyvinula ji firma Sumitomo Electric Carbide pro obrábění slitin hliníku za sucha. Typické provedení povlaku má tloušťku vrstvy 2 až 4 μm . Povlak se vyznačuje vysokou tvrdostí (3000 až 5000 HV) a přilnavostí k základnímu materiálu, mimořádně nízkým koeficientem tření (0,1 až 0,2), nízkou mírou opotřebení, korozní odolností a vysokou jakostí obrobeného povrchu. Povlak DLC, díky svému chemicky inertnímu povrchu, brání při obrábění hliníkových slitin tvorbě nárůstků. To přispívá ke kvalitě řezu a klidnému průběhu řezání. Díky struktuře povlaku se malý koeficient tření kombinuje s výbornými provozními vlastnostmi, především tam, kde je nedostatečné mazání.^{17,23,24}

Své použití nachází kromě povlakování vyměnitelných destiček také na tvářecích a stříhacích nástrojích pro zpracování hliníku, v technologiích tváření, v ložiskové, upínací, montážní a kompresorové technice apod.^{17,23,24}

V tabulce 3.1 jsou porovnány vybrané vlastnosti diamantového povlaku naneseného chemickou CVD metodou a technologií DLC.

Tab. 3.1 Porovnání vlastností diamantového povlaku⁴⁶

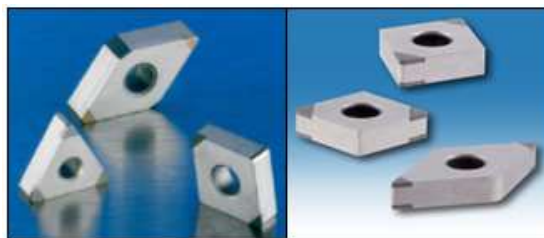
Vlastnost	DLC vrstva	CVD diamant
Tloušťka	3 μm	několik mm
Index lomu [-]	1,8 – 2,4	2,42
Mikrotvrdost [HV]	3000 - 6000	8400 - 12200
Teplotní stálost [°C]	zhruba 400	zhruba 600
Měrná hmotnost [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	2,4 – 2,6	3,52
Měrná tepelná vodivost při 25 °C [$\text{W}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]	zhruba 2	4 - 20
Modul pružnosti v tahu [GPa]	700 – 850	910 - 1250
Pevnost v tahu [GPa]	neaplikovatelné	3440
Pevnost v tlaku [MPa]	neaplikovatelné	96500
Koeficient délkové roztažnosti [$10^{-6}\cdot\text{K}^{-1}$]	neaplikovatelné	0,6 – 3,0
Elektrický odpor [$\Omega\cdot\text{cm}$]	$10^2 - 10^{16}$	$10^9 - 10^{16}$
Dielektrická pevnost [$\text{MV}\cdot\text{cm}^{-1}$]	0,01	10
Poissonova konstanta [-]	neaplikovatelné	0,10 – 0,16

3.3 Konstrukce VBD

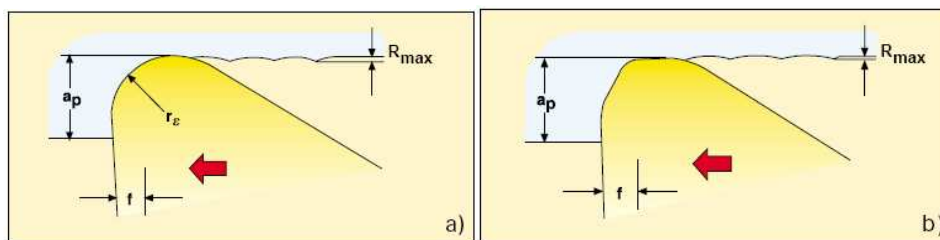
Většina současných VBD je konstruována s tzv. roubíky. Ty mají různou tloušťku a jsou připájeny do vybrání, které je vytvořené na špičce břitové destičky ze slinutého karbidu.^{1,28}

- K jednomu rohu destičky (obr. 3.7) – destička má jeden využitelný břit, někdy mohou být připájeny i na více špičkách a to na jedné nebo obou stranách destičky. Výhodu představuje podepření roubíku materiálem destičky ve svislém směru, tedy menší namáhání pájeného spoje.

- Po celé tloušťce a v každém rohu destičky (obr. 3.8) – délka roubíku odpovídá tloušťce destičky. Nabízí možnost použít všechny břity oboustranné VBD, např. oboustranná trojúhelníková destička má k dispozici celkem šest využitelných břitů. Má poměrně malou délku ostří (šířku roubíku), která dosahuje hodnot 0,9 až 1,2 mm. Od toho je odvozeno použití destičky, a to pro malé hodnoty šířky záběru ostří, zpravidla je hodnota $a_p < 1$ mm. Druhou nevýhodou malé šířky je možnost výrazného tepelného ovlivnění, což má za následek zeslabení pájeného spoje roubíku s destičkou. To lze odstranit tzv. zámkovou konstrukcí destiček (obr. 3.9).

Obr. 3.7 VBD s roubíkem – břit na jedné nebo obou stranách destičky^{29,33}Obr. 3.8 VBD s připájenými roubíky PKNB po celé tloušťce destičky⁴⁰Obr. 3.9 Zámková konstrukce břitových destiček firmy Sandvik Coromant⁴⁰

Vyměnitelné břitové destičky mohou být upraveny o hladící geometrii Wiper (obr. 3.10) nebo utvářeče třísky (obr. 3.11). Destičky s hladící geometrií Wiper vykazují výbornou kvalitu obrobeného povrchu a eliminují nutnost následného broušení. Při obrábění hliníkových slitin s obsahem křemíku menším než 1 %, je typickou charakteristikou špatné dělení třísek, což lze odstranit použitím rozměrově i tvarově přesného utvářeče třísek. Ten třísku odvádí ve stanoveném směru a její dělení je zaručeno bezprostředně za řeznou hranou. Napomáhá omezit problémy v oblasti řezání, zlepšuje kvalitu obrobeného povrchu a trvanlivost nástroje.^{25,28,38}

Obr. 3.10 Schéma geometrie – a) standardní, b) Wiper³⁸



Obr. 3.11 Monolitní PKNB destičky s vybroušeným utvářečem třísky firmy Seco³⁸

3.4 Nástroje

Ke splnění hlavního požadavku na metody obrábění významně přispívají řezné nástroje. Jde především o zajištění vysoké produktivity výroby a dosažení požadované jakosti obrobeného povrchu.

Nástroje z PKNB mají při opracování tvrdých kovových materiálů mnohonásobně větší trvanlivost oproti jiným řezným materiálům jako je slinutý karbid a řezná keramika. Tím se snižuje neproduktivní čas nutný k výměně nástroje a v důsledku nižšího otěru destičky se zlepšuje rozměrová přesnost. Takové obrábění ale vyžaduje pevnou a stabilní soustavu stroj - nástroj - obrobek, protože i jakékoliv chvění snižuje trvanlivost nástroje.²⁷

Nástroje z PKD vykazují nízký koeficient tření, což vede ke snížení řezných sil. Výsledkem je menší silové zatížení soustavy stroj - nástroj - obrobek a tím se dosáhne zvýšení rozměrové přesnosti obrobku. Nástroje z diamantu většinou pracují při vysokých řezných rychlostech, a proto je nutné, aby měl obráběcí stroj vysoký výkon a tuhost.^{23,28}

Nástroje z polykrystalických materiálů dosahují v porovnání s materiály ze slinutého karbidu mnohonásobně vyšší hodnoty vlastností. Např. nástroje z PKD dosahují až desetinásobně větší trvanlivost. Tento poměr byl stanoven na základě praktických zkoušek. Použitím PKD nástroje se sníží počet výměn nástrojů a tím se zkrátí neefektivní časy obráběcího stroje. Další významnou předností je mnohem lepší kvalita opracovaných ploch, vyšší přesnosti a mnohonásobná možnost renovace.^{23,27,28}

4 HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI NÁSTROJE

Řezivost nástroje je vlastnost, díky které lze odebírat z obráběného materiálu třísku efektivním způsobem. Na řezivost má vliv několik faktorů, například geometrie nástroje, řezné podmínky, řezné prostředí, způsob obrábění, mechanické a fyzikální vlastnosti nástroje, a také obráběný materiál, který řezivost značně ovlivňuje svými mechanickými vlastnostmi.^{2,3}

Kritériem hodnocení řezivosti nástroje je závislost $T-v_c$ (obr. 5.3). Obecně platí pravidlo, kdy nástrojový materiál, který dosahuje ve vztahu $T-v_c$ vyšší hodnotu konstanty C_v a nižší hodnotu exponentu m , je považován za materiál s lepší řezivostí.^{2,3}

$T-v_c$ závislost:

$$v_c = \frac{C_v}{T^{1/m}} \quad (5.1)$$

$$T = \frac{C_T}{v_c^m} \quad (5.2)$$

kde v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] je řezná rychlost,
 C_v [-] je konstanta (řádově 10^2 až 10^3),
 T [min] je trvanlivost nástroje,
 $m = \tan \alpha$ [-] je exponent,
 C_T [-] je konstanta s vysokou hodnotou (řádově 10^9 až 10^{13}).

Nevýhodou těchto závislostí jsou omezující podmínky:

- posuv na otáčku $f = \text{konst.}$,
- šířka záběru ostří $a = \text{konst.}$,
- kritérium opotřebení je také konstantní.

Z tohoto důvodu se používají rozšířenější vztahy $T-v_c$ závislosti:

$$v_{cT} = \frac{C_{vT}}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} \quad (5.3)$$

$$v_c = \frac{C_{v1}}{T^{1/m} \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} \quad (5.4)$$

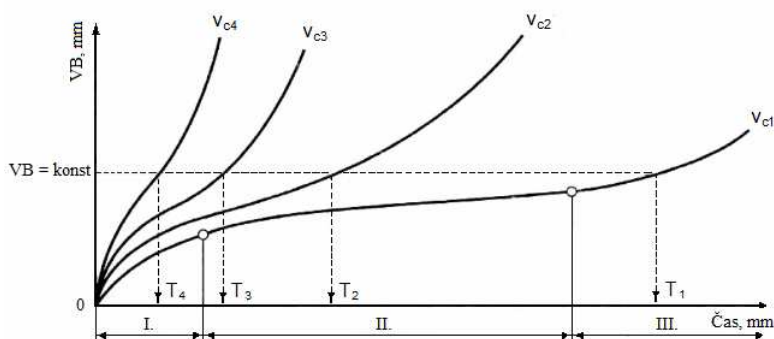
kde v_{cT} [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] je řezná rychlost při konstantní trvanlivosti T ,
 C_{vT} [-] je konstanta,
 x_v [-] je exponent, který vyjadřuje vliv hloubky řezu,
 y_v [-] je exponent, který vyjadřuje vliv posuvu na otáčku,
 C_{1T} [-] je konstanta.

Vztahy (5.3) a (5.4) platí pro soustružení, jejichž výhodou představuje menší počet omezujících podmínek, nevýhodou pak větší rozsah zkoušek nutné pro jejich stanovení.^{2,3}

Postup stanovení T - v_c závislosti

Při určování závislosti T - v_c pro vybranou kombinaci řezný nástroj - obráběný materiál lze vycházet z trvanlivosti. Trvanlivost nástroje závisí především na způsobu obrábění, řezných podmínkách a na vlastnostech obráběného i nástrojového materiálu. Na trvanlivost nástroje má z řezných podmínek největší vliv řezná rychlost. Toto definoval Frederick Winslow Taylor již na počátku 20. století a odvodil základní vztah pro vzájemnou závislost, který je nazýván jako Taylorův vztah nebo T - v_c závislost.^{2,3}

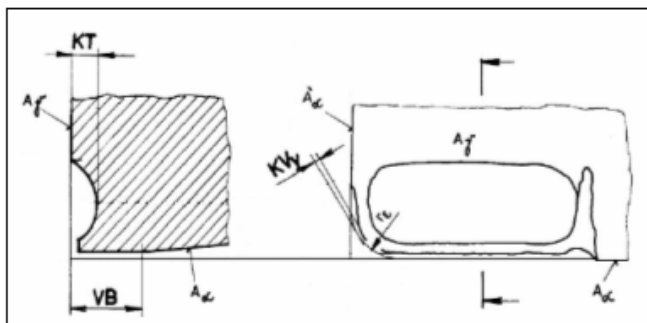
Materiál je obráběn nástrojem za konstantních řezných podmínek minimálně čtyřmi různými řeznými rychlostmi $v_{c1} - v_{c4}$ a sleduje se časový nárůst opotřebení nástroje (obr. 5.1). Oblast I. představuje tlak, oblast II. nárůst opotřebení a oblast III. teplotu.^{2,3}



Obr. 5.1 Diagram závislostí trvanlivostí a řezných rychlostí²

Nejčastěji používaná kritéria opotřebení jsou znázorněna na obr. 5.2 a jde o tyto opotřebení:³

- VB – šířka fazetky opotřebení na hřbetě,
- KT – hloubka výmolu na čele,
- KV_y – radiální opotřebení špičky

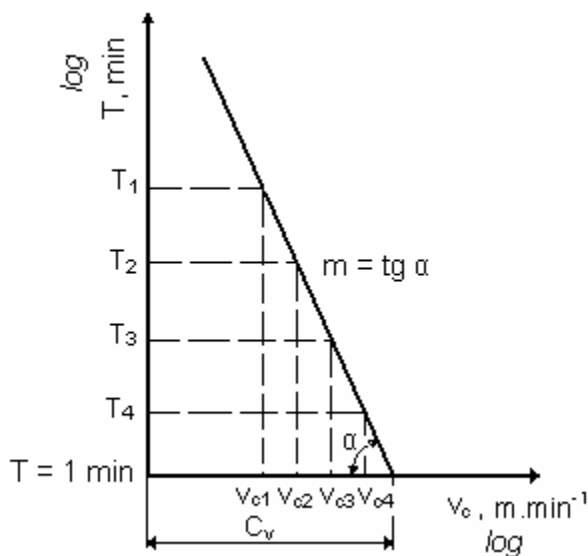


Obr. 5.2 Vybraná kritéria opotřebení řezného nástroje³

Pro hodnotu vybraného kritéria se z časových křivek odečtou hodnoty trvanlivosti $T_1 - T_4$. Ty korespondují se zvolenými řeznými rychlostmi. Hodnoty trvanlivostí a řezných rychlostí se následně vynesou do diagramu v logaritmické

kých souřadnicích. Vyhodnocení lze provést graficky, graficko-analyticky, pomocí zjednodušené lineární regresní analýzy nebo využitím počítače.^{2,3}

V případě grafického zpracování společné body o souřadnicích $v_{c1}-T_1$ až $v_{c4}-T_4$ vytvoří přímku, která představuje zvolenou hodnotu kritéria. Aby proložení přímky jednotlivými body bylo přesné a jednoznačné, je zapotřebí vytvořit těžiště. Hodnota exponentu m se stanoví jako tangenta úhlu α , hodnota konstanty C_v se odečítá na ose řezné rychlosti. Hodnota konstanty C_T nelze z grafu odečíst, proto se následně vypočítává.^{2,3}



Obr. 5.3 T- v_c závislost²

Norma ČSN ISO 3685 předepisuje řadu řezných rychlostí za účelem dosažení rovnoměrného rozložení jednotlivých bodů při sestavování T- v_c závislosti. Trvanlivost by při nejvyšší řezné rychlosti neměla být menší než hodnota $T = 5$ minut, při obrábění drahých materiálů je dovolena trvanlivost nižší.⁴⁹

5 SORTIMENT VÝROBY STM SVĚTOVÝCH PRODUCENTŮ A DOPORUČENÉ PRACOVNÍ PODMÍNKY

Pro analýzu sortimentu výroby bylo vybráno několik nejvýznamnějších světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů. Na světovém trhu zaujímají dominantní postavení nejen díky své široké nabídce špičkových výrobků, které nacházejí uplatnění v nejrůznějších průmyslových odvětvích. Jedná se o následující představitele.



CeramTec AG je německá společnost, která náleží koncernu Rockwood Holdings Inc. se sídlem v Princetonu, USA. Rockwood Holdings, se zaměřuje především na specializované chemické a vysoce výkonné materiály. Společnost se tak stala partnerem nejen automobilovému průmyslu, kovoprůmyslu a strojního inženýrství. S inovativními SPK řeznými materiály (přizpůsobenými nástroji pro soustružení, frézování a vrtání) pro vysoce výkonnostní obrábění litin a kalených ocelí, tak společnost významně přispívá k růstu produktivity, snížení výrobních nákladů a optimalizaci výrobního procesu. Mezi tyto řezné materiály patří SPK - řezná keramika, SPK - cermety a SPK - Wurbon.

Společnost **Iscar** byla založena v roce 1952 v Izraelském Tefenu. Je výrobcem unikátních a inovativních nástrojů pro všechny aplikace třískového obrábění kovů. Již řadu let patří ke světové špičce v oblasti vývoje, výroby a celosvětové distribuce obráběcích nástrojů a řezných materiálů. Společnost se dostala do povědomí globálního partnera díky neustálým inovacím, individuálnímu a profesionálnímu přístupu při navrhování efektivních, praktických a ekonomických řešení. Nabízí široký sortiment řezných nástrojů (především na bázi slinutých karbidů), vyměnitelných řezných destiček a monolitních nástrojů pro jakékoli aplikace.

Společnost **Kennametal** se sídlem v Latrobe, Pa., USA je přední světový dodavatel nástrojů, obráběných komponentů a moderních materiálů používaných ve výrobních procesech. Společnost zvyšuje konkurenceschopnost svých zákazníků a zajišťuje vysokou ekonomickou návratnost díky aplikovaným znalostem a moderním technologiím. V oblasti supertvrdých řezných materiálů nabízí širokou škálu špičkových výrobků.

Společnost **Sandvik Coromant AB** je světový vůdce ve výrobě řezných nástrojů a nástrojových systémů pro kovoobráběcí průmysl, především v automobilovém, leteckém a strojírenském průmyslu. Je reprezentována ve 130 zemích světa s hlavním sídlem v Sandviken ve Švédsku.

Švédská společnost **Seco Tools AB** je výrobcem v oblasti vývoje a výroby řezných nástrojů pro obrábění kovů. Jejich sortiment zahrnuje více než 21000 produktů a poskytuje komplexní řešení pro frézování, soustružení a vr-

tání. Své zastoupení má ve všech průmyslově vyspělých zemích světa. Je výrobcem vysoce výkonných řezných materiálů řady Secomax z materiálu polykrystalického kubického nitridu boru a polykrystalického diamantu. Při obrábění těchto materiálů lze dosáhnout výrazného snížení výrobních nákladů. Například doby obrábění lze snížit ve srovnání s broušením až o 90 % a ve srovnání s broušením nabízí tato řada mnoho výhod.

Společnost **De Beers** s hlavním sídlem v Johannesburgu, Jihoafrická republika, má tři podílníky, jedním z nich je vláda republiky Botswana. Aktivity jsou uskutečňovány prostřednictvím několika spojených dceřiných společností a investovány financemi z různých částí světa. Jednou takovou nezávislou skupinou s vlastním managementem a více než 50-ti letou tradicí je skupina Element Six. Je dodavatelem vysoce kvalitních supertvrdých materiálů, zaměřených především na diamantové materiály.

5.1 CeramTec

Tato společnost nabízí široký sortiment řezných materiálů z PKNB řady SPK-WURBON, s vysoce výkonnostními charakteristikami. Rozdílná oblast použití jednotlivých typů materiálu Wurbon vyplývá z procentuálního obsahu KNB, typu pojiva a velikosti zrna. Jednotlivé materiály Wurbon jsou dostupné jako tělesa s připájenou řeznou špičkou nebo jako celistvé.^{29,30,31}

5.1.1 SPK-WURBON pro obecné obrábění

WBN500 - tento materiál je doporučován pro aplikace s těžkým přerušovaným řezem pro kalené oceli, pro obrábění slinutých ocelí a karbidů.

WBN550 – materiál je obzvláště vhodný pro obrábění s použitím procesní kapaliny, soustružení kalených součástí s lehkým přerušovaným řezem a plynulým řezem za nestabilních podmínek.

WBN600 – tento materiál by měl představovat první volbu při obrábění kalených součástí. Aplikační pole zahrnuje soustružení s plynulým řezem, se středně přerušovaným řezem a také obrábění jak za sucha i při použití procesní kapaliny.

WBN650 - díky dobré odolnosti proti opotřebení a nízké pevnosti představuje vysoce výkonný materiál. Díky své jemnozrnné struktuře je vhodný pro aplikace vyžadující dobrou kvalitu povrchu a přesnost rozměrů. Použití nachází v soustružení kalených ocelí s vysokou řeznou rychlostí, obrábění s plynulým řezem a stabilními podmínkami.

WBN700 – pro obrábění materiálů z šedé, tvárné a tvrzené litiny a slinutých ocelí.

WBN750 – materiál vhodný pro dokončování slinutých materiálů.

WBN100 – tento materiál se vyrábí jako celistvé těleso, je vhodný především pro hrubování a dokončování šedé litiny. Dále pro obrábění tvrzené litiny, materiálů na bázi niklu a tvrdých povlakovaných materiálů.

Doporučené použití materiálů Wurbon z hlediska metod obrábění a obráběných materiálů je uvedeno v tabulce 4.1.

Tab. 4.1 Doporučené použití materiálů Wurbon³¹

Způsob obrábění	Obráběný materiál					
	Šedé litiny	Tvárné litiny	Kalené oceli	Slinuté kovy	Tvrdé povlaky	Slitiny
Soustružení						
Hrubování	WBN 100			WBN 700 WBN 750		
Polohrubování	WBN 100 WBN 750		WBN 500 WBN 550	WBN 700 WBN 750	WBN 100	WBN 100
Dokončování	WBN 100 WBN 750	WBN 700	WBN 600 WBN 650	WBN 750	WBN 100 WBN 750	WBN 750
Jemné dokončování	WBN 750	WBN 700				WBN 750
Frézování						
Hrubování					WBN 100	
Dokončování				WBN 100	WBN 100	
Jemné dokončování	WBN 100	WBN 100		WBN 100		
Vyvrtávání						
Hrubování						
Dokončování	WBN 750	WBN 700		WBN 700 WBN 750		WBN 750

5.1.2 SPK-WURBON pro obrábění litin

Tyto materiály se vyznačují vysokým obsahem KNB 75 až 95 %. Jsou obzvláště vhodné pro obrábění litin s vysokou pevností a abrazivním opotřebením. Hodnoty uvedené v závorkách představují zařazení materiálu dle ISO normy).²⁹

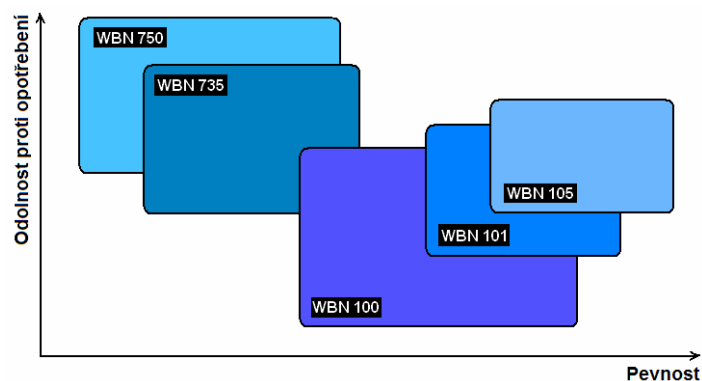
WBN101 (K25, případně S25, H25) – materiál je vhodný pro výrobu celistvých destiček, díky své pevnosti a odolnosti proti opotřebení je vhodný pro obrábění tvárných litin.

WBN100 a 105 (K25, případně S25, H25) – materiály vhodné pro obrábění hrubovacím způsobem, dokončování šedých litin a pro obrábění tvrdých litin. Pro optimální rozpoznání opotřebení je možno použít povlakovaný substrát WBN100C.

WBN735 (K20, případně S20, H20) – materiál se používá na destičky s připájenou špičkou KNB, je obzvláště vhodný pro obrábění šedých litin.

WBN750 (K20, případně S20) – doporučuje se pro hrubování a dokončování a jako destička s připájenou vrstvou KNB je vhodná pro drážkování.

Obecný přehled vlastností jednotlivých materiálů Wurbon znázorňuje obrázek 4.1, doporučené použití je uvedeno v tabulce 4.2 a doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 4.3 a 4.4.

Obr. 4.1 Vlastnosti materiálů Wurbon²⁹Tab. 4.2 Doporučené použití jednotlivých materiálů²⁹

Materiál	Obráběný materiál			Druh obrábění		
	Litiny	Speciální slitiny a titan	Tvrdé materiály	Soustružení	Frézování	Drážkování
WBN 100	x	o	o	x	x	x
WBN 101	x	o	o	x	x	
WBN 105	x		o	x		o
WBN 735	x	o	o	x		o
WBN 750	x	x		x	x	x

x – hlavní aplikace, o – vedlejší aplikace

Tab. 4.3 Doporučené řezné podmínky pro soustružení²⁹

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	f [mm]	Wurbon
Šedé litiny				
Hrubování	600 - 1500	2,0 - 5,0	0,3 - 0,6	100, 101, 105
Polohrubování	600 - 1500	1,5 - 2,5	0,2 - 0,35	100, 101, 105
Dokončování	800 - 1200	0,5 - 2,0	0,15 - 0,30	105, 735, 750
Jemné dokončování	800 - 1200	0,2 - 1,0	0,1 - 0,2	735, 750
Tvárné litiny				
Polohrubování	200 - 500	1,5 - 3,5	0,2 - 0,35	100
Dokončování	250 - 1000	1,0 - 2,5	0,15 - 0,3	100
Jemné dokončování	350 - 1000	0,5 - 1,5	0,1 - 0,3	735, 750
Tvrzené litiny				
Polohrubování	70 - 150	1,0 - 2,5	0,2 - 0,65	100, 101
Dokončování	70 - 150	0,1 - 1,0	0,1 - 0,3	100, 101
Slinuté kovy				
Polohrubování	180 - 300	1,0 - 2,5	0,2 - 0,3	750
Dokončování	200 - 350	0,5 - 1,5	0,1 - 0,25	750
Jemné dokončování	250 - 400	0,1 - 1,0	0,1 - 0,2	750

Tab. 4.4 Doporučené řezné podmínky pro frézování²⁹

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	f_z [mm]	Wurbon
Sedé litiny				
Hrubování	600 - 1500	2,0 - 5,0	0,35 - 0,6	100, 101
Polohrubování	600 - 1500	1,5 - 2,5	0,2 - 0,35	100, 101
Dokončování	800 - 1200	0,5 - 2,0	0,15 - 0,30	750
Jemné dokončování	800 - 1200	0,2 - 1,0	0,1 - 0,2	750
Tvárné litiny				
Dokončování	250 - 1000	1,0 - 2,5	0,15 - 0,3	750
Jemné dokončování	350 - 1000	0,5 - 1,5	0,1 - 0,3	750
Tvrzené litiny				
Polohrubování	70 - 150	1,0 - 2,5	0,2 - 0,65	100, 101
Dokončování	70 - 150	0,1 - 1,0	0,1 - 0,3	100, 101

5.1.3 SPK-WURBON pro obrábění kalených materiálů

Tyto materiály Wurbon se vyznačují nízkým obsahem KNB, zhruba 45 až 65 %. Jsou ideální pro obrábění kalených ocelí, především pro soustružení a broušení. Hodnoty uvedené v závorkách představují zařazení materiálu podle ISO normy.²⁹

WBN555 (H25, případně S25) – materiál je vhodný pro tvrdé, kalené a slinuté materiály a pro obrábění s těžkými přerušovanými řezy.

WBN560 (H15, případně S15) – je obzvláště vhodný pro soustružení kalených materiálů s poměrně malým přerušením řezu nebo pro plynulé řezání za nepříznivých podmínek.

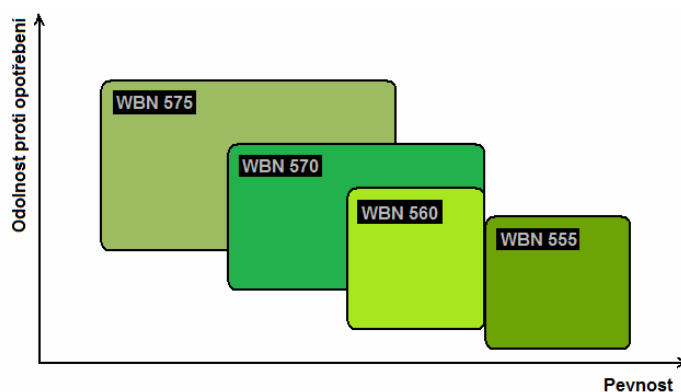
WBN570 (H10, případně S10) – materiál s vyváženou kombinací pevnosti a odolnosti proti opotřebení nachází uplatnění v širokém okruhu obrábění kalených materiálů. Je vhodný pro soustružení s plynulým řezem a obrábění s lehkým přerušovaným řezem.

WBN575 (H05, případně S05) – jedná se o materiál na vysoké úrovni a s vynikající odolností proti opotřebení. Je to materiál s jemnozrnnou strukturou, která splňuje vysoké požadavky na kvalitu povrchu a rozměrovou přesnost. Je používán hlavně pro soustružení kalených ocelí s plynulým řezem za použití vysokých řezných rychlostí.

Obecný přehled vlastností jednotlivých materiálů Wurbon znázorňuje obrázek 4.2, doporučené použití je uvedeno v tabulce 4.5 a doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 4.6.

Tab. 4.5 Doporučené použití jednotlivých materiálů²⁹

Materiál	Obráběný materiál		Druh obrábění	
	Speciální slitiny a titan	Tvrdé materiály	Soustružení	Drážkování
WBN 555	o	o	x	x
WBN 560	o	o	x	
WBN 105		o	x	o
WBN 570	o	o	x	o
WBN 575	x		x	x
x – hlavní aplikace, o – vedlejší aplikace				

Obr. 4.2 Vlastnosti materiálů Wurbon²⁹Tab. 4.6 Doporučené řezné podmínky pro soustružení²⁹

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	f [mm]	Wurbon
Kalené oceli				
Plynulý řez	140 – 250	0,1 – 0,5	0,05 – 0,2	570, 575
Lehce přerušovaný řez	140 – 200	0,1 – 0,5	0,05 – 0,2	560, 570
Středně přerušovaný řez	120 – 170	0,1 – 0,5	0,05 – 0,2	560, 570
Těžce přerušovaný řez	100 – 150	0,1 – 0,5	0,05 – 0,2	555
Slinuté kovy				
Polohrubování	180 – 300	1,0 – 2,5	0,2 – 0,3	555, 560, 570
Dokončování	200 – 350	0,5 – 1,5	0,1 – 0,25	560, 570
Jemné dokončování	250 – 400	0,1 – 1,0	0,1 – 0,2	555, 560, 570

5.2 Iscar

5.2.1 Materiály s kubickým nitridem boru

Materiály jsou vhodné především pro vysokorychlostní obrábění litiny a pro těžko obrobitelné materiály jako jsou slinuté a kalené oceli a superslitiny. Jsou velmi výkonné při vysokých řezných rychlostech, zaručují velmi kvalitní drsnost povrchu a snižují náklady na obrábění. Hodnoty uvedené v závorkách představují zařazení materiálu dle ISO normy).^{33,34,35}

IB50 (P01 – P10) – tento materiál obsahuje 50 % KNB, má vysokou odolnost proti otěru. Je vhodný pro dokončování kalených ocelí, pro obrábění s plynulým řezem a pro vysoké řezné rychlosti.

IB65 – obsah KNB je 65 %, materiál je vhodný pro polohrubování kalených ocelí, polodokončování legovaných, šedých a nodulárních litin.

IB80 (K01 – K15) – obsahuje 80 % KNB, vhodný pro legované, šedé a nodulární litiny s vyšším obsahem Cr, pro těžké obrábění kalených ocelí s přerušovaným řezem, polohrubování až hrubování a pro vysoké řezné rychlosti.

IB90 (K01 – K10) – obsah KNB je 90 %, materiál je vhodný pro rychlostní obrábění legovaných, šedých, tvrzených a nodulárních litin, slinutých karbidů na bázi WC, slinutých kovů a slitin, pro obrábění kalených ocelí

s přerušovaným řezem a pro obrábění rychlořezných ocelí, a také pro polohrubování a hrubování.

IB90A (K01 – K10) – obsah KNB je 80 až 90 %, materiál je vhodný pro rychlostní obrábění tvrzených litin, a také pro hrubování a polohrubování kalených a rychlořezných ocelí.

Nově zavedené materiály: **IB55** – vhodný především pro kalené oceli, pro polodokončování a dokončování a také pro přerušované řezy. Tento materiál nahradí současný materiál IB65. **IB85** – vhodný především pro šedé litiny a litiny s tvrdostí větší než 45 HRC, žáruvzdorné slitiny a kalené oceli. Tento materiál se nabízí jako alternativa materiálu IB90.

Doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 4.7 a 4.8.

Tab. 4.7 Doporučené řezné podmínky pro soustružení³²

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	f [mm]	Materiál
Kalené oceli - hrubování	60 – 140	0,7 – 2,5	0,15 – 0,4	IB80, IB90, IB90A
Kalené oceli - dokončování	100 - 140	0,12 – 0,75	0,1 – 0,2	IB50, IB65
Šedé litiny	400 - 1000	0,12 – 2,0	0,15 – 0,4	IB80, IB90
Tvrzené litiny	75 - 150	0,12 – 2,0	0,15 – 0,3	IB80, IB90
Superslitiny	100 - 240	0,1 – 2,5	0,05 – 0,3	IB80, IB90
Slituté kovy	90 - 180	0,1 – 1,0	0,05 – 0,2	IB80, IB90
Válcované rychlořezné oceli	45 - 60	2,0 – 4,0	0,6 – 0,8	IB90A

Tab. 4.8 Doporučené řezné podmínky pro frézování³²

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	f_z [mm]	Materiál
Kalené oceli	120 - 240	0,12 – 1,0	0,1 – 0,25	IB50, IB65, IB80, IB90
Šedé litiny	400 - 1000	0,2 – 2,0	0,15 – 0,3	IB80, IB90
Tvrzené litiny	120 - 240	0,2 – 2,0	0,15 – 0,3	IB90A
Superslitiny	100 - 240	0,1 – 1,0	0,1 – 0,4	IB80, IB90
Slituté kovy	100 - 240	0,1 – 1,0	0,05 – 0,2	IB80, IB90

5.2.2 Materiály se syntetickým diamantem

ID4 – velikost diamantového zrna je 4 až 5 μm , materiál je vhodný pro tvrzené plasty, dřevo, hliník a jeho slitiny a pro obrábění za vyšších rychlostí.

ID5 (K01 – K10) – velikost diamantového zrna je 8 až 9 μm , materiál je vhodný pro slitiny hliníku ($\text{Si} < 12\%$), slitiny mědi, pro všeobecné použití na neželezné materiály a pro dokončování a polohrubování za vysokých řezných rychlostí.

ID6 (K01 – K10) – velikost diamantového zrna je 10 až 25 μm , tento materiál je vhodný pro slitiny hliníku ($\text{Si} > 12\%$), pro frézování (přerušovaný řez) a pro dokončování za vysokých řezných rychlostí.^{32,33}

Doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 4.9 a 4.10.

Tab. 4.9 Doporučené řezné podmínky pro soustružení³²

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	f [mm]	Materiál
Slitiny Al (4–9 % Si)	800 – 2500	0,05 – 3,0	0,1 – 0,3	ID5
Slitiny Al (9–14 % Si)	600 – 1280	0,05 – 3,0	0,1 – 0,3	ID5, ID6
Slitiny Al (16–18 % Si)	300 – 600	0,05 – 3,0	0,1 – 0,3	ID6
Slinuté karbidy	20 – 40	0,02 – 0,5	0,05 – 0,2	ID6
Dřevo	1000 – 2500	0,2 – 5,0	0,1 – 0,5	ID4
Slitiny mědi	600 – 1000	0,05 – 3,0	0,05 – 0,2	ID5
Plasty, tvrzené plasty	300 – 1000	0,05 – 3,0	0,05 – 0,25	ID5

Tab. 4.10 Doporučené řezné podmínky pro frézování³²

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	f_z [mm]	Materiál
Slitiny Al (Si < 14%)	300 - 3000	0,1 – 3,0	0,1 – 0,2	ID6
Slitiny Al (Si > 15%)	300 - 1200	0,1 – 3,0	0,1 – 0,2	ID6

5.3 Kennametal

Společnost Kennametal rozděljuje na svých webových stránkách supertvrdé materiály podle typu obrábění. Materiály nástrojů pro soustružení jsou následující.^{36,37,38}

5.3.1 Materiály s kubickým nitridem boru

Materiály s označením KB5xxx jsou materiály s PVD povlakováním a materiály s označením KB9xxx jsou materiály s povlakováním metodou CVD.

KB5625 (P20 – P35, H15 – H35) – na základní karbidovou vložku je připájena špička PKNB se středním obsahem KNB (65%), následně je vše povlakováno vrstvou TiAlN. Materiál je vhodný pro hrubování a dokončování kalených ocelí, pro ložiskové a rychlořezné oceli, oceli na zápustky, nauhličené a nitrídané oceli a někdy pro tvrdé povlaky. Doporučuje se obrábět při řezné rychlosti $v_c = 45 - 180$ m.min⁻¹.

KB9610 (K01 – K05, H01 – H15) – jako základní materiál je PKNB s nízkým obsahem KNB a ten je následně povlakován TiN, Al₂O₃, TiCN metodou CVD. Třívrstvý povlak slouží jako ochrana proti vydrolování. Je vhodný pro obrábění kalených ocelí s vysokou přesností, je velmi efektivně aplikovatelný na ložiskové a rychlořezné oceli, oceli na zápustky, nauhličené a nitrídané oceli a někdy pro tvrdé povlaky. Není vhodný pro použití jemných ocelí. Doporučená řezná rychlost nabývá hodnot $v_c = 100 - 260$ m.min⁻¹.

KB9640 (K05 – K35, H30 – H40) – základním materiálem je PKNB s vysokým obsahem KNB. Je obdobou materiálu KB9610. Celistvá destička má mnohonásobnou řeznou špičku. Zajišťuje nejlepší ochranu proti vydrolování. Je aplikovatelná pro hrubování a polodokončování plně perlitických šedých litin, tvrzených litin, slinutých kovů a těžkých řezů kalených ocelí. Nedo-
poručuje se pro dokončování kalených ocelí. Ideální řezná rychlost pro obrábění ocelí je $v_c = 45 - 180$ m.min⁻¹ a pro obrábění litin $v_c = 1000 - 3500$ m.min⁻¹.

KD081 (P05 – P15) – jde o materiál s nízkým obsahem KNB (65%) a nízkou tepelnou vodivostí, špička z PKNB je připájena na karbidovou podlož-

ku. Materiál je vhodný pro pro lehce přerušované řezy a pro hrubování a dokončování kalených, ložiskových a rychlořezných ocelí, nauhličené a nitriderované oceli a někdy pro tvrdé povlaky.

KD120 (K01 – K20, H20 – H30) – materiál s vysokým obsahem KNB, špička z PKNB je připájena na karbidovou podložku. Hlavní použití nachází v hrubování a dokončování perlitických šedých a tvrzených litin, slinutých kovů a v těžkých řezech kalených ocelí. Nedoporučuje se pro dokončování kalených ocelí.

Doporučené pracovní podmínky jsou uvedeny v tabulce 4.14.

Tab. 4.14 Doporučené pracovní podmínky pro soustružení pro kalené oceli^{35,36,37}

Typ operace	Řezné podmínky		Typ řezu			
	a_p [mm]	f [mm]	Těžce přerušovaný řez	Lehce přerušovaný řez	Proměnlivý průměr třísky	Konstantní průměr třísky
Polohrubování	1,0 – 4,0	0,1 – 0,4	KB9640	KB9640 KB9610	KB9610	KB9610
Dokončování	0,1 – 0,5	0,063 – 0,25	KB5625 KB9610	KB5625 KB9610	KB5625 KB9610	KB5625 KB9610
Jemné dokončování	0,1 – 1,0	0,063 – 0,25	-	KB9610	KB9610	KB9610

5.3.2 Materiály se syntetickým diamantem

KD100 (N01 – N10) – špička z PKD je připájena na karbidový materiál. Materiál řezného nástroje je vhodný obecně pro soustružení, především pro hrubování a dokončování všech typů vysoce abrazivních materiálů z neželezných a nekovových materiálů. Také pro superslitiny s vysokým obsahem křemíku. Při dokončování vykazuje dobrou kvalitu povrchu. Zajišťuje odolnost proti nárazu a je vhodný pro vysoké řezné rychlosti.

KD1405 (N01 – N05) – diamantový plátek je přímo připájen na substrát karbidu. Je to nástrojový materiál s největší odolností proti abrazi pro neželezné a nekovové materiály. Má menší pevnost než KD100, ale zato je odolnější při malých přerušovaných řezech. Je obzvláště vhodný pro dokončování.

Doporučené pracovní podmínky jsou uvedeny v tabulce 4.15, doporučené řezné rychlosti v tabulce 4.16 a konstrukční provedení břitových destiček v tabulce 4.17.

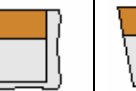
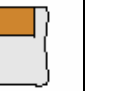
Tab. 4.15 Doporučené pracovní podmínky³⁷

Typ operace	Řezné podmínky		Typ řezu			
	a_p [mm]	f [mm]	Těžce přerušovaný řez	Lehce přerušovaný řez	Proměnlivý průměr třísky	Konstantní průměr třísky
Dokončování	0,2 – 1,0	0,1 – 0,4	-	KD1405	KD1405	KD1405
Jemné dokončování	0,1 – 0,9	0,063 – 0,25	KD100	KD100	KD100	KD100

Tab. 4.16 Doporučené řezné rychlosti pro soustružení³⁷

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	KD100	KD1405
Slitiny hliníku (Si < 12%) a hořčíku	500 – 3000	x	
Slitiny hliníku (Si > 12%) a hořčíku	300 – 900	x	
Slitiny hliníku (Si > 12%) a hořčíku	350 – 1200		x
Měď a mosaz	300 – 1000	x	x
Plasty, guma, pryskyřice, sklo a skelná vata	150 – 750	x	x
Uhlík a grafitové kompozity	550 – 1200	x	x
MMC materiály na bázi hliníku	300 – 850		x

Tab. 4.17 Provedení břitů destiček z vybraných materiálů³⁷

KB5625	KB9610	KB9640	KD120	KD081	KD100	KD1405
						

5.4 Sandvik Coromant AB

5.4.1 Materiály s kubickým nitridem boru

CB20 (H01 – H10) – jde o kompozitní materiál, který se skládá z KNB a nitridu titanu. Typicky se vyrábí jako roubík z PKNB, který je připájen na karbidovou podložku. Materiál se vyznačuje výbornou chemickou stabilitou a odolností proti opotřebení. Je vhodný pro dokončování kalených ocelí a litin. Může být použit pro plynulé i přerušované řezy.

CB50 (K01 – K10, H05 – H15) – jedná se o extrémně tvrdý kubický nitrid boru. Materiál je tvořen čistým KNB, který je připájen na karbidovou podložku jako celá vrstva. Materiál je doporučován pro dokončování šedých litin při vysokých rychlostech a to s plynulými i přerušovanými řezy.

CB7020 (H01 – H10) – jde o materiál z KNB a nitridu titanu, který je na břitovou destičku přislinut (nikoli připájen) ke každé špičce. Destičky jsou povlakovány TiN metodou PVD za účelem jednoduchého odhalení opotřebení. Materiál je vhodný pro dokončovací operace tvrzených ocelí a litin se středně až těžce přerušovanými řezy.

CB7050 (K01 – K10, H05 – H15) – jde o čistý materiál z KNB se stejným provedením jako předchozí materiál. Je vhodný pro obrábění litin s těžce přerušovanými řezy.

CB7015 (H01 – H25) – nový materiál s nízkým obsahem KNB a jemnou zrnitostí. Je vhodný pro dokončování a pro plynulé až lehce přerušované řezy v tvrzených ocelích. Měl by představovat první volbu při soustružení a požadavcích na vysokou kvalitu povrchu. Materiál představuje kombinaci vysoké výkonnosti a spolehlivosti.

CB7025 (H10 – H25) – nový vysoce výkonný materiál se středním obsahem KNB. Měl by představovat první volbu pro obrábění tvrzených ocelí při

středních řezných rychlostech a v případech, kdy nedílnou součástí jinak spojitých řezů představují náročná přerušení.^{40,41}

Doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tabulkách 4.18 a 4.19.

Tab. 4.18 Doporučené řezné podmínky pro soustružení při použití procesní kapaliny⁴⁰

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	Materiál
Šedé litiny	1200 - 1700	0,1 – 0,4	CB50, CB7050
Tvrzené oceli	160 - 350	0,05 – 0,25	CB7015
	135 - 250	0,05 – 0,25	CB7025
	145 - 260	0,05 – 0,25	CB20
	95 - 205	0,1 – 0,4	CB50, CB7050
Tvrzené litiny	120 - 180	0,1 – 0,4	CB50, CB7050

Tab. 4.19 Doporučené řezné podmínky pro frézování⁴⁰

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	Materiál
Šedé litiny	650 – 1100	0,1 – 0,2	CB50
Nodulární litiny	360 – 630	0,1 – 0,2	CB50
Tvrzené oceli	115 – 190	0,07 – 0,2	CB50
Tvrzené litiny	215 - 355	0,07 – 0,2	CB50

5.4.2 Materiály se syntetickým diamantem

CD10 (N01 – N10) – materiál z polykrystalického diamantu je tvořen jemným až středně jemným zrnem o průměru 7 μm . Je doporučován pro obrábění neželezných a nekovových materiálů, především pro dokončování a polodokončování s velice dobrou kvalitou povrchu. Zajišťuje dlouhou trvanlivost břitu nástroje.

CD1810 (N01 – N15) – jedná se o diamantem povlakovaný, speciálně upravený substrát karbidu. Povlak je získán metodou CVD. Extrémní odolnost proti opotřebení zajišťuje povlak čistého diamantu s průměrnou velikostí zrna 6 až 8 μm . Materiál je tak vhodný pro obrábění neželezných slitin.^{40,41}

Doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tabulkách 4.20 a 4.21.

Tab. 4.20 Doporučené řezné podmínky pro soustružení⁴⁰

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	Materiál
Slitiny hliníku (13-15% Si)	195 – 1950	0,05 – 0,4	CD10
	95 - 960	0,15 – 0,8	CD1810
Slitiny hliníku (16-22% Si)	95 - 960	0,05 – 0,4	CD10
	65 - 640	0,15 – 0,8	CD1810
Měď a slitiny mědi	65 - 630	0,05 – 0,4	CD10
	65 - 630	0,15 – 0,8	DD1810

Tab. 4.21 Doporučené řezné podmínky pro frézování⁴⁰

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	Materiál
Slitiny hliníku (13-15% Si)	650 – 850	0,1 – 0,2	CD10
Slitiny hliníku (16-22% Si)	480 – 640	0,1 – 0,2	CD10
Měď a její slitiny	800 – 1060	0,1 – 0,2	CD10

Tab. 4.22 Provedení břitových destiček z vybraných materiálů⁴¹

CB10, CB20	CB50	CB7020, CB7050	CD1810
			

5.5 Seco Tools AB

Seco je výrobcem vysoce výkonných řezných materiálů řady Secomax z materiálu polykrystalického kubického nitridu boru a polykrystalického diamantu. Řezné materiály jsou v povlakovaném i nepovlakovaném provedení.^{38,39}

5.5.1 Materiály s kubickým nitridem boru

Secomax CBN050C (H02 – H20) – materiál je vhodný pro lehké nepřerušované až středně přerušované řezy kalených ocelí. S povlakováním TiN, SiN je určen pro vysokorychlostní obrábění.

Secomax CBN10 a CBN100 (H01 – H20, případně S15 – S20) – pro plynulé až středně přerušované řezy kalených ocelí. Hloubka řezu je doporučována o velikosti $a_p < 0,5$ mm. Materiál CBN 100 se vyrábí pouze v monolitní formě.

Secomax CBN150 (H15 – H25) – tento materiál je houževnatější a nepatrně méně odolný proti opotřebení, je obdobou CBN 10 a CBN 100. Vhodný pro silné přerušované řezy kalených ocelí. Materiálem lze získat vysokou jakost povrchu.

Secomax CBN160C (H12 – H28) – pro silně přerušované řezy kalených ocelí. S povlakováním TiN, SiN je určen pro vysokorychlostní obrábění.

Secomax CBN200 (K10 – K30, případně H10 – H30) – pro středně hrubé obrábění kalených ocelí, pro obrábění načisto a hrubování perlitických, tvrzených a bílých litin a pro obrábění slinutých materiálů načisto.

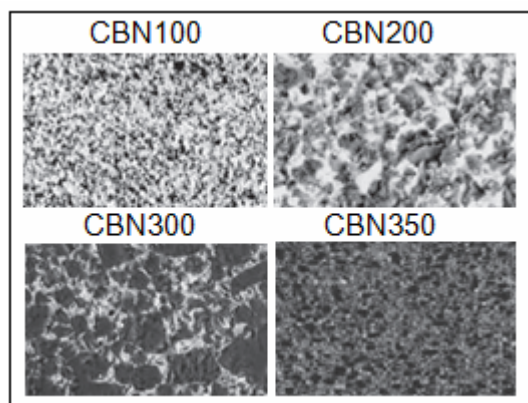
Secomax CBN300 (K05 – K35, případně H08 – H32) – pro hrubování kalených ocelí, manganových ocelí, pro obrábění načisto a hrubování perlitických, tvrzených a bílých litin. Maximální hloubka řezu je doporučována o velikosti $a_p < 0,5$ mm nebo 30 % délky řezné špičky.

Secomax CBN300P (K05 – K35, případně H08 – H32) – materiál zaručuje stejnou nebo lepší trvanlivost nástroje jako CBN300 a díky povlaku snadné rozpoznání opotřebení nástroje. Používají se stejné řezné podmínky jako u nepovlakovaných destiček.

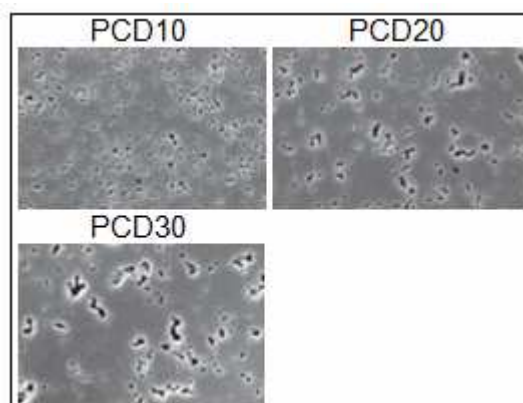
Secomax CBN350 (K28 – K42, případně H25 – H35) – jedná se o materiál s vyšší pevností než CBN300, má menší tendence k vylamování a odlupování řezné špičky při použití v agresivních materiálech. Je vhodný pro hrubování kalených ocelí a perlitických, tvrzených a bílých litin.

Secomax CBN400C (K05 – K35, případně H08 – H32) – jedná se o jemnozrnný materiál s vysokým obsahem KNB, je vhodný pro obrábění perlitických a šedých litin dokončovacíím způsobem.

Doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 4.23, mikrostruktura vybraných materiálů z polykrystalického kubického nitridu boru firmy Seco je znázorněna na obrázku 4.4.



Obr. 4.4 Mikrostruktura materiálů z PKNB³⁸



Obr. 4.5 Mikrostruktura materiálů z PKD³⁸

5.5.2 Materiály se syntetickým diamantem

Secomax PCD05 (N10 – N40, S10 – S40) – jde o nestandardní materiál, který se vyrábí na zakázku, má průměrnou velikost zrna 1 μm a homogenní strukturu. Je vhodný pro frézování a hrubování slitin se středním obsahem Si, Al a titanových litin a pro obrábění s požadavky na vysokou jakost povrchu.

Secomax PCD10 (N10 – N20) – jde o nestandardní materiál, který se vyrábí na zakázku, s průměrnou velikostí zrna 2 μm . Je vhodný pro obrábění, kde se vyžaduje vysoká kvalita povrchu např. jemné vystružování a vyvrtávání.

Secomax PCD20 (N20 – N40) – materiál s velikostí zrna 10 μm , vhodný pro všeobecné obrábění.

Secomax PCD30 (N30 – N40) – velikost zrna 25 μm , materiál je vhodný pro obrábění materiálů, které působí extrémně abrazně a pro přerušovaný řez.

Secomax PC30M (N30 – N40) – má jedinečnou kombinaci zrn o velikosti 2 až 30 μm , nabízí tepelnou stabilitu při obrábění kombinovaných materiálů, jako jsou hliníkové slitiny a šedé litiny.

Doporučené řezné podmínky pro soustružení syntetickým diamantem jsou uvedeny v tabulce 4.24, mikrostruktura vybraných materiálů z polykrystalického diamantu firmy Seco je znázorněna na obrázku 4.5.

Tab. 4.23 Doporučené řezné podmínky pro soustružení³⁸

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	f [mm]	Secomax CBN
Povrchově kalené oceli				
Dokončování	100 – 200	< 0,5	0 – 0,2	10, 100
	150 – 250	< 0,5	0 – 0,25	50C
	60 – 170	< 0,5	0 – 0,25	150
	140 – 220	< 0,5	0 – 0,25	160C
Kalené oceli				
Hrubování	50 – 130	0,5 – 3,0	0,05 – 0,2	200
	50 – 150	0,5 – 3,0	0,1 – 0,3	300
Dokončování	100 – 180	< 0,5	0 – 0,15	10, 100
	140 – 240	< 0,5	0 – 0,18	50C
	50 – 150	< 0,5	0 – 0,2	150
	140 – 180	< 0,5	0 – 0,2	160C
Manganové oceli				
Hrubování	100 – 180	0,5 – 3,0	0,2 – 0,6	300, 350
Dokončování	80 – 220	< 0,5	0,1 – 0,6	300, 350
Perlitické litiny				
Hrubování	500 – 1000	0,5 – 3,0	0,2 – 0,8	200, 300
	500 – 1000	0,5 – 3,0	0,2 – 0,46	300
Dokončování	50 – 250	< 0,5	0,1 – 0,4	10, 100
	300 – 1000	< 0,5	0,1 – 0,5	200
	500 – 2000	< 0,5	0,1 – 0,6	300, 400C
Tvrzené litiny				
Hrubování	50 – 80	0,5 – 3,0	0,2 – 1,0	200
	50 – 125	0,5 – 3,0	0,2 – 1,0	300, 350
Dokončování	50 – 80	< 0,5	0,15 – 0,4	200
	50 – 125	< 0,5	0,12 – 0,4	300, 350
Slinuté karbidy				
Hrubování	20 – 40	0,5 – 1,5	0,05 – 0,25	300, 350
Dokončování	10 – 40	< 0,5	0,05 – 1,5	300
Slinuté kovy				
Dokončování	100 – 300	< 0,5	0,8 – 0,16	10,100
	100 – 300	< 0,5	0,4 – 0,18	200
Speciální slitiny				
Cr-báze hrubování	50 – 100	0,5 – 3,0	0,1 – 0,3	200, 300
Cr-báze dokončování	50 – 100	< 0,5	0 – 0,15	10,100
Co-báze hrubování	200 – 250	0,5 – 3,0	0,1 – 0,3	200, 300
Co-báze dokončování	100 – 250	< 0,5	0 – 0,1	10,100
Ni-báze hrubování	100 – 150	0,5 – 3,0	0,1 – 0,2	200, 300
Ni-báze dokončování	100 – 150	< 0,5	0 – 0,2	10,100
Fe-báze hrubování	50 – 100	0,5 – 3,0	0,1 – 0,3	200, 300
Fe-báze dokončování	50 – 100	< 0,5	0 – 0,15	10,100

Tab. 4.24 Doporučené řezné podmínky pro soustružení³⁸

Obráběný materiál	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	f [mm]	Secomax PCD
Slitiny hliníku < 15 % Si	500 - 3500	0,2 – 5,0	0,1 – 0,4	20
Slitiny hliníku >15 % Si	300 - 1000	0,2 – 3,0	0,1 – 0,4	30, 05
Měď, mosaz, bronz	600 - 1200	0,2 – 3,0	0,1 – 0,5	20
Uhlíkové kompozity	400 - 800	0,2 – 3,0	0,1 – 0,2	20
Grafit	100 - 1500	0,2 – 3,0	0,1 – 0,2	20
Titanové slitiny	50 – 300	0,2 – 0,5	0,1 – 0,2	20, 05
Slinuté karbidy	10 - 40	0,2 – 0,5	0,1 – 0,5	30, 30M
Žárovzdorná keramika	30 - 100	0,1 – 2,0	0,1 – 0,2	30, 30M
Plastové materiály měkké	100 - 1500	0,2 – 3,0	0,1 – 0,4	20
Plastové kompozity zpevněné	100 - 1000	0,2 – 2,0	0,1 – 0,3	20, 05

5.6 De Beers

Amborite představuje sortiment produktů kubického nitridu boru, je vyráběn v pěti standardních materiálech AMB90, DBW85, DBA80, DBC50 a DBN45. Čísla popisují obsah kubického nitridu boru vyjádřené v procentech. Minimální doporučená tvrdost obráběného materiálu je 45 HRC. Nedoporučuje se obrábět měkké materiály, nástroj je vzhledem k vysoké ceně neekonomický.^{42,45}

Syndite představuje sortiment produktů polykrystalického diamantu, který je vyráběn v šesti třídách (materiálech) CTB002, CTC002, CTB010, CTB025, CTH025 a CTM302. Čísla popisují rozměry průměrů v mikrometrech, CTB znamená standardní produkt z polykrystalického diamantu, zatímco CTC, CTH a CTM znamenají modifikaci materiálů.⁴²

5.6.1 Materiály s kubickým nitridem boru

Amborite AMB90 - materiál s relativně hrubozrnnou strukturou (10 μ m) má vysokou tepelnou vodivost a je obzvláště efektivní v obrábění tvrdých kalených materiálů. Materiál se provádí jako celistvý, pojivem je hliník. Je vhodný pro hrubování kalených ocelí a obrábění litin.

Amborite DBW85 – zrno má velikost 2 μ m, jedná se o materiál s PKNB vrstvou připájenou na základní materiál - karbid wolframu. Pojivem je Co-W-Al. Jde o univerzální materiál vhodný pro všechny typy obráběcích operací.

Amborite DBA80 - je středně zrnitý (6 μ m) materiál obsahující zhruba 80% KNB. Pojivo je na titanové nebo hliníkové bázi. Doporučuje se používat pro hrubovací a polodokončovací operace kalených ocelí a pro obrábění litin.

Amborite DBC50 – jde o jemnozrnný materiál s velikostí zrna 2 μ m. Pojivo je na bázi karbidu titanu. Při obrábění tvrdých kovových materiálů má vysokou stabilitu špičky nástroje, nástroji zajišťuje dlouhou trvanlivost a obrobku vysokou kvalitu. Je vhodný pro plynulé a lehce přerušované řezy.

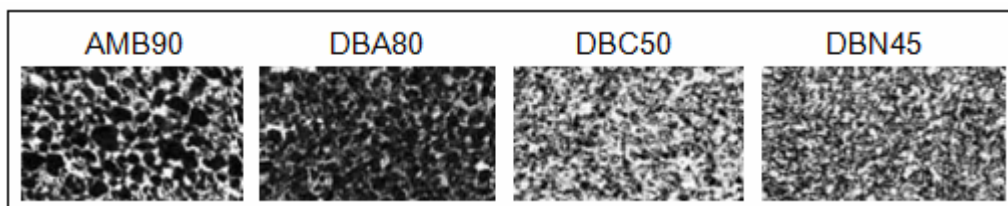
Amborite DBN45 - velikost zrna je menší než 1 μ m. Jedná se o PKNB vrstvu připájenou na substrát karbidu wolframu. Pojivem je nitrid titanu. Má ex-

trémně tvrdou strukturu a je vhodný pro obrábění s přerušovanými řezy. Díky zrnitosti je možné při dokončování dosáhnout extrémně jemného povrchu.

Doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 4.25, mikrostruktura vybraných materiálů z polykrystalického nitridu boru firmy De Beers znázorňuje obrázek 4.6.

Tab. 4.25 Doporučené řezné podmínky^{42,45}

Materiál obrobku	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	f [mm]	Amborite
Kalené oceli				
Hrubování	60 – 200	< 3,0	0,1 - 0,3	90, 85, 80
Dokončování	90 – 200	< 0,5	< 0,2	50, 45
Šedé litiny				
Hrubování	400 – 2500	< 3,0	0,1 - 0,8	90, 85, 80
Dokončování	400 – 2000	< 1,0	0,1 - 0,6	90, 85, 80, 50
Speciální slitiny				
Hrubování	50 – 200	< 3,0	0,2 - 0,4	90, 85, 80
Dokončování	50 – 200	< 0,5	< 0,2	50, 45
Slinuté kovy	100 - 300	< 1,0	< 1,0	80, 50



Obr. 4.6 Mikrostruktura materiálů z PKNB^{42,45}

5.6.2 Materiály se syntetickým diamantem

Syndite CTC002 – materiál s velikostí zrna o průměru 2 μm , má modifikovanou strukturu, díky které nedochází k odštěpení řezné špičky. Materiál je vhodný pro obrábění plastů a dřevěných kompozitů.

Syndite CTB002 – materiál s velikostí zrna o průměru 2 μm . Díky své jemné zrnitosti je vhodný pro výrobu nástrojů, kterými lze získat vysokou kvalitu povrchu. Břitové destičky jsou k dostání buď jako celistvé nebo s připájenou diamantovou vrstvou.

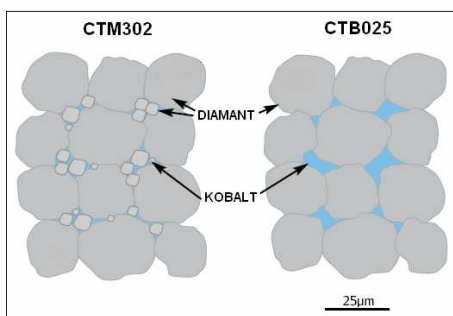
Syndite CTB010 – materiál s průměrnou velikostí zrna 2 μm .

Syndite CTB025 – průměr zrna je 25 μm . Tento hrubozrný materiál má vysokou odolnost proti opotřebení a je obzvláště vhodný pro obrábění materiálů, které působí abrazně, kde trvanlivost nástroje hraje důležitou roli. Je vhodný pro vysokorychlostní obrábění a obrábění za sucha.

Syndite CTH025 - průměr zrna je 25 μm . Vyšší velikostí zrna získává materiál optimální odolnost proti opotřebení a odolnost proti abrazi.

Syndite CTM302 - materiál je výjimečný pro svou jedinečnou kombinaci vlastností, kterými jsou odolnost proti opotřebení, odolnost proti abrazi, pevnost hrany a kvalita špičky. Zrnitost nabývá hodnot 2 - 30 μm .

Strukturu zrnitosti vybraných materiálů znázorňuje obrázek 4.7, doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 4.26.



Obr. 4.7 Struktura zrnitosti materiálů CTM302 a CTB025⁴²

Tab. 4.26 Doporučené řezné podmínky⁴²

Materiál obrobku	v_c [m.min ⁻¹]	a_p [mm]	f [mm]
Soustružení a vrtání			
Hliník, měď a jejich slitiny	300 - 1000	< 10	0,05 - 0,5
Slinuté karbidy	10 - 30	< 2	0,1 - 0,2
Sklo	100 - 600	< 5	0,1 - 0,5
Zelená keramika	100 - 600	< 2	> 0,2
Vláknové kompozity	50 - 150	< 3	0,1 - 0,5
Frézování a řezání			
Hliníkové slitiny	500 - 3000	< 5	0,1 - 0,5
Plasty a dřevěné kompozity	2000 - 3000	< 15	0,1 - 0,5

Firma De Beers nabízí kromě polykrystalických supertvrdých materiálů také syntetické monokrystaly diamantů. V porovnání se supertvrdými materiály se vyznačují vyšší tepelnou stabilitou (až 1000 °C). Jedná se o syntetické monokrystaly diamantů s obchodním názvem Monodite, které jsou vhodné pro dokončovací obrábění, leštící nástroje a pro osazení funkčních částí průvlaků na tažení drátu. Dále se jedná o syntetické monokrystaly diamantu s obchodním názvem Monodress, které se používají do různých typů orovnávačů.^{27,42}

5.7 Porovnání materiálů světových výrobců

Porovnání supertvrdých řezných materiálů v sortimentu výroby nejvýznamnějších světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů je vztaženo k typu obráběného materiálu, jak uvádí tabulky 4.27 a 4.28. Rozhodujícím prvkem pro porovnání je řezná rychlost, kterou jednotliví výrobci doporučují pro efektivní obrábění supertvrdými řeznými materiály.

Doporučované řezné rychlosti jsou pro některé obráběné materiály různé se značně rozdílnými hodnotami (např. v tab. 4.27 obrábění šedých litin) a pro některé materiály jsou řezné rychlosti přibližně stejné (např. v tab. 4.28 obrábění slinutých karbidů).

Tab. 4.27 Doporučené řezné rychlosti pro soustružení nástrojem z PKNB

Obráběný materiál	v_c [m.mm ⁻¹]	Výrobce - materiál
Šedé litiny	400 – 1000	Iscar – IB80, IB90
	400 – 2000	De Beers – AMB90, DBW85, DBA80
	600 – 1500	CeramTec – WBN100, WBN101, WBN105
	800 – 1200	CeramTec – WBN735, WBN750
	1000 – 3500	Kennametal – KB9640
	1200 – 1700	Sandvik Coromant AB – CB50, CB7050
Tvrzené litiny	50 – 80	Seco Tools AB – CBN200 ,
	70 – 150	CeramTec – WBN100, WBN101, Iscar – IB90, IB80
	120 – 180	Sandvik Coromant AB – CB50, CB7050
Superslitiny	50 – 100	Seco Tools AB – CBN10, CBN100, CBN200, CBN300
	50 – 200	De Beers – AMB90, DBW85, DBA80, DBC50, DBN45
	100 – 240	Iscar – IB80, IB90, Seco Tools AB – CBN10, CBN100
Kalené oceli	45 – 180	Kennametal – KD5625, KB9640
	60 – 140	Iscar – IB80, IB90, IB90A, Seco Tools AB – CBN150, CBN200
	60 – 200	De Beers – AMB90, DBW85, DBA80
	100 – 140	Iscar – IB50, IB65
	140 – 240	CeramTec – WBN570, WBN575 Seco Tools AB – CBN50C, Kennametal – KB9610
Slinuté kovy	90 – 180	Iscar – IB80, IB90
	100 – 300	De Beers – AMB80, DBC50
	250 – 400	CeramTec – WBN555, WBN560, WBN570, WBN750
Slinuté karbidy	10 – 20	Seco Tools AB – CBN300
	20 – 40	Seco Tools AB – CBN300, CBN350

Tab. 4.28 Doporučené řezné rychlosti pro soustružení nástrojem z PKD

Obráběný materiál	v_c [m.mm ⁻¹]	Výrobce - materiál
Slitiny Al (nízký obsah Si)	800 – 2500	Iscar – ID5
	500 – 3000	Kennametal – KD100
	500 – 3500	Seco Tools AB – PCD20
Slitiny Al (vysoký obsah Si)	95 – 960	Sandvik Coromant AB – CD10, CD1810
	300 – 600	Iscar – ID6
	300 – 900	Kennametal – KD100
	300 – 1000	Seco Tools AB – PCD05, PCD30, De Beers - Syndite
Slinuté karbidy	10 – 30	De Beers - Syndite
	10 – 40	Seco Tools AB – PCD30 a PCD 30M
	20 – 40	Iscar – ID6
Měď a její slitiny	65 – 630	Sandvik Coromant AB – CD10, CD1810
	300 – 1000	De Beers – Syndite, Kennametal – KD100, KD1405
	600 – 1000	Iscar – ID5, Seco – PCD20
Plasty a plastové kompozity	150 – 750	Kennametal – KD100, KD1405
	100 – 1000	Seco Tools AB – PCD20, PCD05
	300 – 1000	Iscar – ID5
Dřevo	100 – 2500	Iscar – ID4
Uhlík a uhlíkové kompozity	400 – 800	Seco Tool AB – PCD20
	550 – 1200	Kennametal – KD100, KD1405

Další porovnání supertvrdých materiálů lze provést dle značení normy ČSN ISO 513. Tato norma je českou verzí mezinárodní normy ISO 513:2004. Ta stanovuje klasifikaci tvrdých řezných materiálů, která je založena na jejich použitelnosti a na způsobu značení⁴⁹, pro skupiny a podskupiny použití, které tvoří tuto klasifikaci. Obráběné materiály jsou rozděleny do šesti skupin odlišených jak písmenem, tak identifikační barvou. Zařazení jednotlivých materiálů vybraných výrobců dle značení ČSN ISO 513 je uvedeno v tabulce 4.29.

Tab. 4.29 Doporučovaná oblast použití STM dle značení ISO^{29,32,35,37,38,40,47,49}

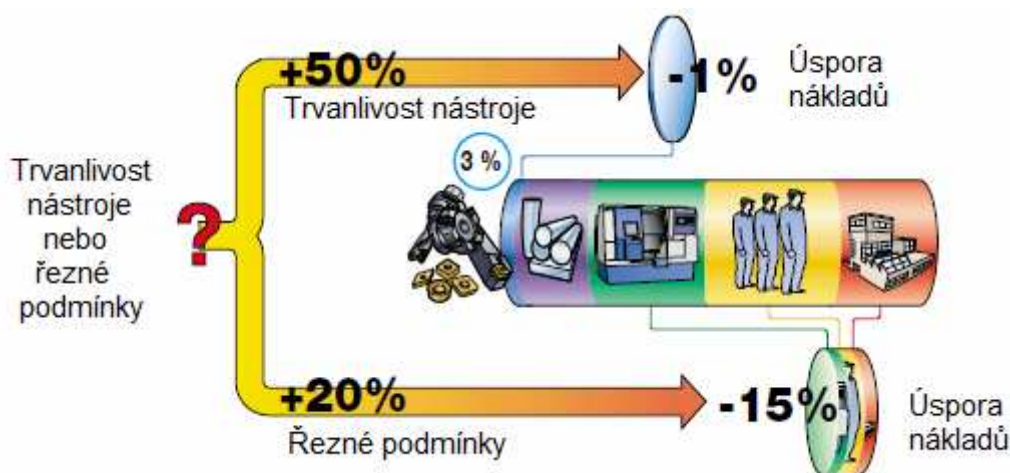
Materiál	Oblast použití dle ISO	Materiál	Oblast použití dle ISO
CeramTec		Seco Tools AB	
WBN735	K20 (S20, H20)	CBN10	H01 – H20 (S15 – S20)
WBN750	K20 (S20)	CBN100	H01 – H20 (S15 – S20)
WBN100	K25 (S25, H25)	CBN150	H15 – H25
WBN101	K25 (S25, H25)	CBN200	K10 – K30 (H10 – H30)
WBN105	K25 (S25)	CBN300	K05 – K35 (H08 – H32)
WBN555	H25 (S25)	CBN350	K28 – K42 (H25 – H35)
WBN560	H15 (S15)	CBN050C	H02 – H20
WBN570	H10 (S10)	CBN160C	H12 – H28
WBN575	H05 (S05)	CBN300P	K05 – K35 (H08 – H32)
Iscar		CBN400C	K05 – K35 (H08 – H32)
IB50	P01 – P10	PCD05	N10 – N40, S10 – S40
IB80	K01 – K15	PCD10	N10 – N20
IB90	K01 – K10	PCD20	N20 – N40
IB90A	K01 – K10	PCD30	N30 – N40
ID5	K01 – K10	PCD30M	N30 – N40
ID6	K01 – K10	Sandvik Coromant AB	
Kennametal		CB50	K01 – K10, H05 – H15
KB5625	H20 – H35	CB7050	K01 – K10, H05 – H15
KB9610	K01 – K05, H01 – H15	CB7015	H01 – H25
KB9640	K05 – K35, H30 – H40	CB7025	H10 – H25
KD050	P01 – P10	CB20	H01 – H10
KD081	P05 – P15	CB7020	H01 – H10
KD120	K01 – K20, H20 – H30	CD10	N01 – N10
KD100	N01 – N10	CD1810	N01 – N15
KD1405	N01 – N05		

Pozn.: hodnoty uvedené v závorkách představují druhou volbu.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Řezné nástroje jsou důležitým prostředkem procesu obrábění a významně přispívají ke splnění hlavního požadavku na metody obrábění. Prostřednictvím nových a kvalitních řezných nástrojů a materiálů a uplatněním vyšších řezných rychlostí a posuvů, lze dosáhnout zvýšení produktivity až o 20 %, požadované jakosti obrobeneho povrchu a současně snížení doby obrábění i celkové výrobní ceny.^{16,26}

Produktivita je v obrábění definována jako poměr vstupů a výstupů. Vstupy představují zdroje nebo prostředky, kterými je zajištěna výroba, např. pracovní síla, strojní zařízení, vybavení, obráběný materiál a zásoby. Na produktivitu mají z hlediska obrábění značný vliv řezné podmínky a trvanlivost nástroje. Parametry, jako jsou řezná rychlost v_c , posuv f , šířka záběru ostří a_p , můžou při optimálním nastavení zvyšovat produktivitu, přičemž největší vliv má řezná rychlost a posuv. Pokud jsou použity v optimálních hodnotách, mohou až několikanásobně prodloužit trvanlivost nástrojů.⁴⁸



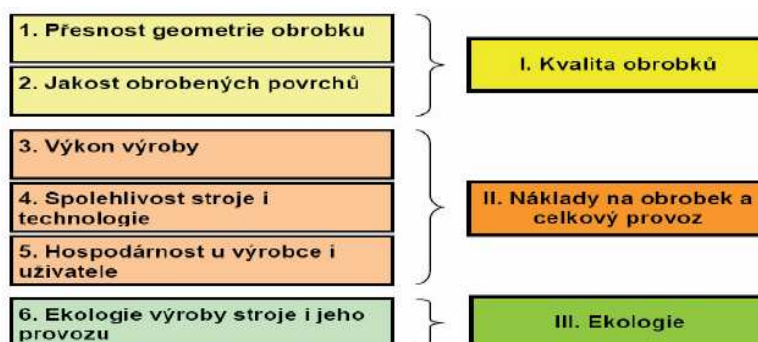
Obr. 6.1 Úspora nákladů na výrobek⁴⁸

Při zvýšení trvanlivosti nástroje o 50 %, lze snížit náklady na nástroje o 1 %. Při zvýšení řezných podmínek o 20 % lze snížit náklady na strojní zařízení, lidské zdroje a vybavení potřebné pro výrobu až o 15 %. Je zřejmé, že větší úsporu nákladů lze získat zvýšením řezných podmínek.

V procesu obrábění jsou hlavními ukazateli velký výrobní výkon, vysoká přesnost práce, udržení kvality obrobků a také hospodárnost i ekologičnost u výrobce i uživatele. Na tyto ukazatele má významný vliv mimo jiné výrobní technologie, která úzce souvisí s řeznými nástroji a optimalizací řezných podmínek pro vyšší výrobní produktivitu nebo nižší výrobní náklady, viz obr. 6.2.⁵⁰

Prvky ochrany životního prostředí a obsluhy jsou zaměřeny na řešení, která vedou ke snižování energické náročnosti obráběcích strojů, ke snižování znečištění okolí průsaky, odpařováním a exhalacemi z pracovního prostoru i z konstrukce stroje a ke snižování akustických emisí stroje. Snahou je dokonalé izolování mazacích okruhů a hydrauliky od řezných kapalin a také odsávání par z pracovního prostoru a hygiena práce.⁵⁰

Tabulka 6.1 hodnotí dva faktory pro dosažení užitečných vlastností a jejich dopad na jednotlivé cíle. Hodnota 0 značí, že dopad je velmi malý.



Obr. 6.2 Hlavní technicko-ekonomické ukazatelé procesu obrábění⁵⁰

Tab.6.1 Faktory ovlivňující užité vlastnosti⁵⁰

Hlavní užité vlastnosti	Cíle	Řezné nástroje	Optimalizované řezné podmínky
I. Kvalita obrobků	Přesnost obrobku	++ přesnost obrobku je určována tuhostí nástroje, jeho geometrickou přesností a odolností proti opotřebení	++ optimalizované řezné podmínky s nižším silovým zatížením nástroje mají pozitivní vliv na dosahovanou přesnost
	Jakost povrchů	++ geometrie nástroje, počet břitů, typ materiálu a odolnost proti opotřebení	+++ optimalizované řezné podmínky a nové technologie mohou zásadně ovlivnit jakost povrchů
II. Náklady na obrobek a celkový provoz	Výkon	+++ geometrie nástroje, počet břitů, typ materiálu	++ řezné podmínky zásadně ovlivňují výrobní časy a tím výrobní výkon
	Spolehlivost	+ vhodně volené nástroje mají vliv na spolehlivost řezného procesu, poškození nástroje a tím na spolehlivost procesu obrábění	0
	Hospodárnost	+ vhodně volené nástroje mají vliv na hospodárnost procesu	++ řezné podmínky zásadně ovlivňují výrobní časy a tím také náklady na výrobu
III. Ekologie	Ekologie provozu stroje	+ použití technologií s malým množstvím maziva či bez mazání významně redukuje problémy s řeznými kapalinami	++ optimalizované řezné podmínky mohou být šetrnější ke svému okolí jednak emisemi a jednak výkonem potřebným na odebrání materiálu

Zvýšení produktivity obrábění je doporučováno spojovat nejen s novou kvalitou řezného materiálu, ale i s uplatněním nových metod, jako je např. technologie s hladicím efektem Wiper a obrábění za sucha. Obě metody znamenají do značné části úsporu výrobních nákladů. Dnešní moderní nástroje jsou vhodné i pro obrábění za vysokých řezných teplot, protože si dokážou zachovat svou tvrdost a odolnost proti opotřebení. Navíc dobře snášejí tepelné a dynamické namáhání i při velkých provozních rychlostech a posuvech. Při obrábění za sucha jsou eliminovány náklady na procesní kapalinu (nákup, údržba, likvidace). Obrábění vyššími řeznými rychlostmi s relativně vysokou tr-

vanlivostí nástroje zajišťují břitové destičky konstruované s technologií Wiper, které zajišťují podstatné zvýšení tuhosti a trvanlivost destiček. Tím lze zvýšit řeznou rychlost zhruba o 25 %. Použitím této technologie, zvláště při polodokončování a dokončování soustružnickým způsobem, se sníží pracovní čas na polovinu a zároveň lze dosáhnout lepší kvality povrchu. Tam, kde nelze obrábět za sucha je výhodné použít metodu minimálního množství procesní kapaliny MQL. Pokud je přístroj pro MQL optimálně seřízen, je spotřebováno méně než 50 ml kapaliny na hodinu obrábění. Jedná se o metodu, při které nástroje, obrobky i třísky zůstávají prakticky suché. Tím jsou odstraněny případné technologické úpravy, jako je odstranění procesních kapalin z třísek nebo z obrobků.^{22,48,51}

Také kvalita VBD do značné míry ovlivňuje funkční vlastnosti řezných nástrojů. Vlastnosti a chování substrátu (základního materiálu) a případně i otěruvzdorný povlak destiček ovlivňují řezivost a trvanlivost nástroje a také přesnost a kvalitu obrobené plochy.²²

ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá supertvrdými řeznými materiály a jejich efektivním využitím. Jejich charakteristika byla popsána rozbořem jejich fyzikálních a mechanických vlastností a jejich výrobou. Tyto materiály jsou využívány v široké oblasti průmyslu, např. v geologii, hornictví, optice, elektronice a zejména ve strojírenském průmyslu. V oblasti obrábění jsou využívány v podobě řezných materiálů respektive nástrojů, brusiv, prášků a různých past. Pro soustružnické a frézovací operace se aplikují jako nástroje s VBD. Supertvrdé řezné materiály se vyznačují vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebení. Proto je PKNB aplikován pro obrábění tvrdých abrazivních materiálů a PKD pro obrábění neželezných kovů a jejich slitin. PKD se nejvíce využívá v automobilovém a leteckém průmyslu především pro obrábění hliníkových dílů. Nástroje ze supertvrdých řezných materiálů nacházejí stále širší uplatnění nejen u aplikací s plynulým, ale i s přerušovaným řezem.

PKD a PKNB tvoří malé procento celkové produkce na trhu řezných materiálů. V širokém sortimentu nástrojů vybraných světových producentů, byla zhodnocena vybraná oblast aplikace těchto materiálů, prostřednictvím empiricky doporučených řezných podmínek.

Cílem této práce bylo zhodnocení nabídky současného stavu řezných nástrojů z PKD a PKNB dle optimálních řezných podmínek a sestavení klíče pro výběr vhodného řezného materiálu pro soustružnické aplikace ISO. V rámci analýzy se prokázalo, že dané materiály dosahují efektivních výkonů pouze při optimálním nastavení všech řezných podmínek (v_c , a_p , f).

Z technicko-ekonomického hlediska je pro jejich rozvoj nevýhodou vyšší cena a úzká oblast použití, ale i přesto se do budoucna očekává narůstající uplatnění těchto materiálů. Dosažení efektivitu a hospodárnosti obráběcího procesu lze zajistit již ve fázi projektování výroby, kde by měla proběhnout spolupráce mezi výrobcem stroje, nástroje a uživatelem. Neboť každé řezné prostředí je specifické a zajistit efektivitu a hospodárnost procesu posléze by bylo velice nákladné.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HUMÁR, A., *Materiály pro řezné nástroje*. 1.vyd. Praha: MM Publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
2. HUMÁR, Anton. *Technologie I – Technologie obrábění 1. část* [online]. [cit. 11. června 2008]. Studijní opory. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 138s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/technologie_obrabeni_1.pdf>.
3. FOREJT, M., HUMÁR, A., PÍŠKA, M., JANÍČEK, L., *Experimentální metody* [online]. [cit. 20. října 2009]. Studijní opory pro podporu samostudia v oboru „Strojírenská technologie-obrábění-tváření, svařování-management“ MS. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, 83 s. Dostupné na World Wide Web: <http://www.fme.vutbr.cz/opory/pdf/exp_metody.pdf>.
4. KOCMAN, K. a PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
5. WIKIPEDIE. Otevřená encyklopedie. [online]. [cit. 14. února 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Diamant>>.
6. ZOUZALÍK, M., Umělý diamant: vítězství nad přírodou?. 21. *STOLETÍ revue objevů, vědy, techniky a lidí*. Červenec/2004. ISSN 1214-1097.
7. STANČEKOVÁ, D., ŠTEKLÁČ, D., Brúsenie ložiskových ocelí kubickým nitridom bóru. *Strojírenství*. Leden/2002, s. 28. ISSN 1335-2938.
8. BURDOVÁ, P., Diamanty stále vábí. *Vesmír*. Únor/2002. ISSN 1214-4029.
9. DIAMONDS. [online]. [cit. 14. února 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.diamonds.cz/Gemologie.html>>.
10. WIKIPEDIE. Otevřená encyklopedie. [online]. [cit. 24. února 2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Mohsova_stupnice>.
11. NAVAJO. Otevřená encyklopedie. [online]. [cit. 12. února 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://diamant.navajo.cz/>>.
12. DIAMANTOVÝ WEB. [online]. [cit. 23. dubna 2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.diamantovyweb.cz/index_soubory/Page339.html>.
13. Řezná keramika a kubický nitrid boru. *MM průmyslové spektrum*. Září/2003, s. 42. ISSN 1212-2572.
14. NOVÁK, S., Nové nástroje pro frézování. *MM průmyslové spektrum*. Září/2004, s. 44. ISSN 1212-2572.
15. PODĚBRADSKÝ, J., HOREŠOVSKÝ, K., Moderní obrábění tvrdých a pevných materiálů. *MM průmyslové spektrum*. Leden/2002, s. 49. ISSN 1212-2572.
16. NOVÁK, Z., Řezné materiály a nástroje pro výkonné obrábění. *MM průmyslové spektrum*. Duben/2004, s. 14. ISSN 1212-2572.
17. NOVÁK, Z., Současná technická úroveň řezných nástrojů. *MM průmyslové spektrum*. Duben/2003, s. 15. ISSN 1212-2572.
18. ČEP, R., Výkonné řezné materiály. *MM průmyslové spektrum*. Duben/2003, s. 20. ISSN 1212-2572.
19. NOVÁK, Z., Brousicí kotouče ze supertvrdých řezných materiálů. *MM průmyslové spektrum*. Červenec/2001, s. 40. ISSN 1212-2572.

20. KLEČATSKÝ, Z., Nástroje pro obrábění v automobilovém průmyslu. *MM průmyslové spektrum*. Květen/2008, s. 34. ISSN 1212-2572.
21. MAZURA, M., Kompozitní povlak nikl – diamant. *MM průmyslové spektrum*. Říjen/2004, s. 27. ISSN 1212-2572.
22. NOVÁK, Z., Nové řezné nástroje do výroby. *MM průmyslové spektrum*. Červen/2006, s. 20. ISSN 1212-2572.
23. HOFMANN, P., Obrábění za sucha – ano či ne? (2. část). *MM průmyslové spektrum*. Prosinec/2001, s. 8. ISSN 1212-2572.
24. NOVÁK, Z., Řezné nástroje na IMTS 2006 Chicago. *MM průmyslové spektrum*. Prosinec/2006, s. 40. ISSN 1212-2572.
25. NOVÁK, Z., Pokrokové řezné nástroje. *MM průmyslové spektrum*. Duben/2005, s. 18. ISSN 1212-2572.
26. NOVÁK, Z., Řezné nástroje současnosti. *MM průmyslové spektrum*. Duben/2002, s. 54. ISSN 1212-2572.
27. Kouřil, M., Supertvrdé materiály a jejich uplatnění u řezných nástrojů. *MM průmyslové spektrum*. Duben/1998, s. 16. ISSN 1212-2572.
28. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. *MM Průmyslové spektrum – Speciální vydání*. Září 2004, s. 84–96. ISSN 1212-2572.
29. CERAMTEC. [online]. [cit. 22. února 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ceramtec.com/00945,0124,0390,0700.php#wurbon>>.
30. CERAMTEC, Princeton, USA. *SPK-WURBON inserts (CBN)*. [online]. [cit. 22. února 2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ceramtec.com/pdf/spk_tools_catalog/04_2005_wurbon_wsp.pdf>.
31. CERAMTEC, Princeton, USA. *Hard part turning*. [online]. [cit. 22. února 2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ceramtec.com/pdf/catalog_04_hard_part_turning.pdf>.
32. ISCAR, Tefen, Izrael. *ISO Turn soustružení ISO nástroji*. [online]. [cit. 22. srpna 2002]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.iscar.cz>>.
33. ISCAR, Tefen, Izrael. *MATERIÁLOVÉ SKUPINY ISCAR*. [online]. [cit. 23. února 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.iscarex.cz/sortiment.php?znacka=iscarm>>.
34. ISCAR. [online]. [cit. 23. února 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.iscar.cz/ProductUpdate/ProductUpdateSubDetails.asp/CountryID/6/ProductUpdateDetailID/559>>.
35. Kennametal, Latrobe, Pennsylvania, USA. *Lathe tooling catalog 4010*. [online]. [cit. 27. února 2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.kennametal.com/en/pdf_library/pdf_library_section.jhtml?botnav=lathe&group=Metalworking&groupLink=/en/support/mssg_support.jhtml&useNav=mssg&expand=download§ion=support&showBy=pdfByAppLinks>.
36. Kennametal, Latrobe, Pennsylvania, USA. *Lathe tooling catalog 4010*. [online]. [cit. 10. listopadu 2005]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.kennametal.com>>.
37. Kennametal, Latrobe, Pennsylvania, USA. *A08-01324_PCD a PCBN inserts*. [online]. [cit. 27. února 2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.kennametal.com/en/pdf_library/pdf_library_section.jhtml?botnav=lathe&group=Metalworking&groupLink=/en/support/mssg_support.jhtml>.

- l&useNav=mssg&expand=download§ion=support&showBy=pdfByApp Links>.
38. SECO TOOLS AB, Fagersta, Sweden. *Turning 2009*. [online]. [cit. 14. března 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://legacy.secotools.com/template/start.asp?id=9392>>.
 39. SECO TOOLS AB, Fagersta, Sweden. *SECO SELECTION 2006*. [online]. [cit. 12. března 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://pdf.directindustry.com/pdf/seco-tools/seco-tools-catalog-seco-selection-2006/5699-26232.html>>.
 40. SANDVIK COROMANT AB, Sandviken, Sweden. *Main catalogue 2009 Czech*. [online]. [cit. 2. března 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.coromant.sandvik.com/cz>>.
 41. SANDVIK COROMANT AB, Sandviken, Sweden. *Technical information – PMKNISH*. [online]. [cit. 2. března 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.coromant.sandvik.com/cz>>.
 42. DE BEERS, Johannesburg, Jihoafrická republika. *Cutting tool material*. [online]. [cit. 17. března 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.e6.com/en/resources/literature/Introduction%20to%20Cutting%20Tool%20Materials.pdf>>.
 43. DE BEERS. [online]. [cit. 17. března 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.e6.com/e6/page.jsp?pageid=4004030>>.
 44. DE BEERS. [online]. [cit. 17. března 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.idrmag.com>>.
 45. DE BEERS, Johannesburg, Jihoafrická republika. *Amborite*. [online]. [cit. 17. března 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://search.e6.com/query.html?qt=ambories&charset=iso-8859-1&style=e6&col=e6>>.
 46. LEICHTFRIED, G., SAUTHOFF, G., SPRIGGS, G.E., *Refractory, Hard and Intermetallic Materials*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2002. 267 p. ISBN 3-540-42961-1.
 47. ATEAM, ZCU, ČR. *Tenké vrstvy*. [online]. [cit. 25. července 2008]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ateam.zcu.cz/tenké_vrstvy_sma.pdf>.
 48. SANDVIK COROMANT AB, Sandviken, Sweden. *Turning 2009_CZ*. [online]. [cit. 11. dubna 2009]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.coromant.sandvik.com/cz>>.
 49. ČSN ISO 513. *Klasifikace a použití tvrdých řezných materiálů k obrábění kovů určeným ostřím – Označování skupin a podskupin použití*. Český normalizační institut. Praha. Březen/2006.
 50. SVAZ STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE. [online]. [cit. 11. května 2009]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.sst.cz/download/pdf/svet_stroj_tech200803_complete.pdf>.
 51. HOFMANN, P., *Obrábění za sucha – ano či ne?. MM průmyslové spektrum*. Listopad/2001, s. 58. ISSN 1212-2572.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
CVD	[-]	Chemical Vapour Deposition (chemická metoda nanášení povlaku)
DLC	[-]	Diamond-Like Carbon (uhlík, který má vlastnosti podobné diamantu)
HPHT	[-]	High Pressure High Temperature (metoda za vysokých tlaků a teplot)
HRC	[MPa]	Tvrdost podle Rockvella
HV	[MPa]	Tvrdost podle Vickerse
KNB	[-]	Kubický nitrid boru
KT	[mm]	Hloubka výmolu na čele
KV _y	[mm]	Radiální opotřebení špičky (změna rozměru plochy)
MQL	[-]	Minimal Quantities of Lubricant (minimální množství procesní kapaliny)
PKD	[-]	Polykrystalický diamant
PKNB	[-]	Polykrystalický kubický nitrid boru
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition (fyzikální metoda nanášení povlaku)
SK	[-]	Slinutý karbid
STM	[-]	Supertvrde řezné materiály
VB	[-]	Šířka fazetky opotřebení na hřbetě
VBD	[mm]	Vyměnitelná břitová destička
K _{IC}	[MN.m ^{3/2}]	Lomová houževnatost
v _c	[m.min ⁻¹]	Řezná rychlost
a _p	[mm]	Šířka záběru ostří
f	[mm]	Posuv na otáčku
f _z	[mm]	Posuv na zub
T	[min]	Trvanlivost
C _v	[-]	Konstanta v T-v _c závislosti
C _T	[-]	Konstanta v T-v _c závislosti
m	[-]	Konstanta v T-v _c závislosti
v _{CT}	[m.min ⁻¹]	Exponent v T-v _c závislosti
C _{vT}	[-]	Řezná rychlost při konstantní trvanlivosti
C _{1T}	[-]	Konstanta v T-v _c závislosti
x _v	[-]	Konstanta v T-v _c závislosti
y _v	[-]	Exponent vyjadřující vliv hloubky řezu
α	[°]	Exponent vyjadřující vliv posuvu na otáčku
		Úhel