

-titulní

-zadání (příp. scan str.1 a 2)

-licence (příp. scan str. 1 a 2)

ABSTRAKT

Charakteristika supertvrdých řezných materiálů. Sortiment výroby světových producentů supertvrdých řezných materiálů. Doporučené řezné podmínky pro efektivní využití supertvrdých řezných materiálů.

Klíčová slova

Supertvrde řezné materiály, polykrystalický diamant, kubický nitrid boru,

ABSTRACT

The characteristic of the super hard cutting materials. World's producers of superhard cutting materials and their assortment of produce. Recommended cutting conditions for effective use of the super hard cutting materials.

Key words

Superhard cutting materials, polycrystalline diamond, cubic boron nitride

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HEČA, Jan. *Aplikace nástroje z polykrystalického diamantu při obrábění víka kompresoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. s. 49 , příloh 2
Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně na základě uvedené literatury a pramenů, pod vedením vedoucího diplomové práce.

Dne

.....

Jan Heča

Poděkování

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

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení	4
Poděkování	5
Obsah	6
Úvod.....	8
1 CHARAKTERISTIKA SUPERTVRDÝCH ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ	9
2 DIAMANT.....	11
2.1 Fyzikálně mechanické vlastnosti diamantu.....	12
2.2 Syntetický diamant	14
2.2.1 Syntéza diamantu	15
2.2.2 Výroba diamantových povlaků metodou CVD	15
2.2.3 Krystaly syntetických diamantů.....	16
3 KUBICKÝ NITRID BÓRU.....	17
3.1 Způsoby opotřebení nástrojů	19
3.2 Řezné vlastnosti KNB z hledisek mechanických a fyzikálně chemických.....	21
3.3 Syntéza kubického nitridu boru.....	21
4 VÝROBA SUPERTVRDÝCH ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ SLINOVÁNÍM	22
5 SORTIMENTU VÝROBY NEJVÝZNAMNĚJŠÍCH VÝROBCŮ	24
5.1 Polykrystalický diamant.....	24
5.1.1 Sortiment firmy Sumitomo	24
5.1.2 Sortiment firmy General Electric	24
5.1.3 Sortiment firmy De Beers.....	25
5.2 Polykrystalický kubický nitrid boru	25
5.2.1 Sortiment firmy De Beers.....	25
5.2.2 Sortiment firmy Sumitomo	27
5.2.3 Sortiment firmy General Electric	27
5.2.4 Sortiment firmy Mitsubishi.....	28
5.2.5 Sortiment firmy Iscar.....	29
6 DOPORUČENÉ PRACOVNÍ PODMÍNKY PRO EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ SUPERTVRDÝCH ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ	30
6.1 Doporučené pracovní podmínky pro efektivní využití PKD	30
6.1.1 Firma Sumitomo	30
6.1.2 General Electric.....	30
6.1.3 De Beers	31
6.2 Doporučené pracovní podmínky pro efektivní využití KNB	32
6.2.1 De Beers	32
6.2.2 Sumitomo.....	33
6.2.3 General Electric.....	34
6.2.4 Mitsubishi	35
6.2.5 Iscar	36
7 TRVANLIVOST DESTIČKY VBD.....	37
7.1 Použitý stroj.....	37
7.2 Použitý nástroj.....	38
7.3 Součást	38
7.4 Řezné podmínky	39
7.5 Měření drsnosti.....	39

7.5.1 Použitý přístroj.....	39
7.5.2 Výsledky měření drsnosti	40
7.6 Opotřebení destičky	41
7.6.1 Měřidlo	41
7.6.2 Výsledné opotřebení.....	42
8 Technicko ekonomické zhodnocení	44
Závěr	46
Seznam použitých zdrojů	47
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	48
Seznam příloh.....	49

ÚVOD

Strojírenská technologie obrábění je průmyslovým odvětvím, které se v současné době velmi rychle rozvíjí, a to jak v oblasti obráběcích strojů, tak zejména v oblasti rezných nástrojů.

Součásti z nových konstrukčních materiálů, jejichž hlavní charakteristikou je vysoká pevnost při nízké měrné hmotnosti, umožňují snižovat hmotnost a zvyšovat přesnost, výkon i spolehlivost všech strojírenských výrobků. Pro obrábění takovýchto součástí jsou zapotřebí nové nástrojové materiály s vyšší řezivostí a trvanlivostí, které spolu s novými konstrukcemi nástrojů a správnou volbou rezných podmínek mohou přinést podstatné zvýšení produkce a zlepšení ekonomických ukazatelů výroby. Na konstrukci nástrojů, nástrojové materiály a optimální podmínky jejich použití je proto zaměřena hlavní pozornost všech významných evropských i světových výrobců rezných nástrojů.

Velký podíl na celkovém čase obrábění mají tzv. vedlejší časy, mezi které lze mimo časů pro technologickou přípravu výroby, seřizování a údržbu obráběcích strojů, manipulaci s obrobkem, kontrolu, atd. zařadit též časy potřebné na přípravu, seřizování a výměnu nástrojů. Použitím nově vyvíjených rychlovýměnných modulárních nástrojových systémů, které mají ve svém výrobním programu prakticky všichni významní výrobci nástrojů, lze potřebu těchto časů snížit až o polovinu. Mezi hlavní přednosti těchto nástrojových systémů patří univerzálnost (lze je použít pro jakoukoli operaci obrábění a pro všechny typy nástrojů), flexibilita (pomocí různých redukčních či prodlužovacích nástavců se snadno mění rozměry nástroje a poloha jeho špičky), snadná a rychlá manipulace s nástroji a snížení zásob nástrojů.

U vyměnitelných břitových destiček je hlavní pozornost konstrukčních týmů výrobců nástrojů zaměřena především na vlastní tvar destičky, tvar jejich jednotlivých částí (ostří, špička, utvařeč, upínací otvor, atd.) a velikost a způsob připojení špičky, pokud je destička vytvořena ze dvou rozdílných materiálů (např. slinutý karbid a polykrystalický diamant). Nepřehlédnutelnou technologickou úpravou je broušení čelních dosedacích ploch povlakovaných břitových destiček. Mimo nezanedbatelného vizuálního efektu zaručuje tato úprava vyšší stabilitu polohy destičky při upnutí v držáku a zlepšení odvodu tepla z destičky do držáku.

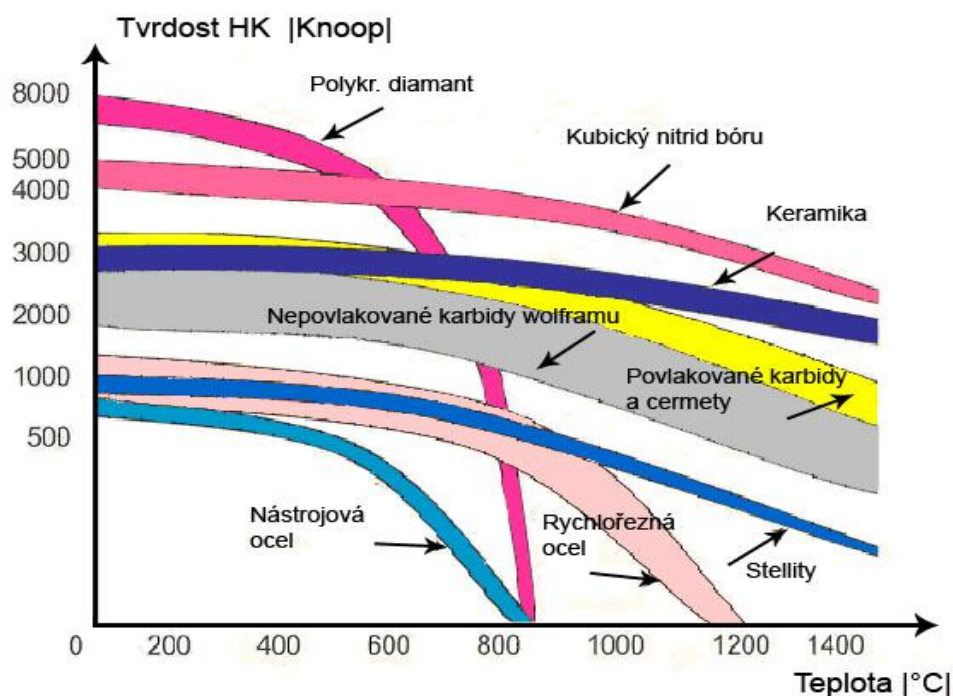
Polykrystalický diamant (PD) a polykrystalický kubický nitrid boru (PKNB) mají obzvláště vysokou tvrdost a vynikající odolnost proti opotřebení, ale vzhledem k ceně nástroje, malým možnostem změny jeho tvaru a někdy i ochotné reakci s některými obráběnými materiály jsou jejich současné aplikace omezeny pouze na speciální případy obrábění. Hlavní aplikací PD je proto vysokorychlostní obrábění neželezných slitin (zejména na bázi hliníku), obrábění keramiky a nekovových materiálů, zatímco PKNB je ideálním nástrojovým materiálem pro obrábění superslitin, kalených ocelí a litin.

1 CHARAKTERISTIKA SUPERTVRDÝCH ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ

S pojmem supertvrde materiály se setkáváme od roku 1955, kdy byl vyroben první syntetický diamant. Jsou to materiály, které se svou tvrdostí blíží tvrdosti diamantu. Význam supertvrдых materiálů rostl v řadě průmyslových odvětví. K nejtvrdějším látkám patří diamant a kubický nitrid boru, proto se za supertvrde materiály považují veškeré materiály, které obsahují některou z těchto látek.(1)

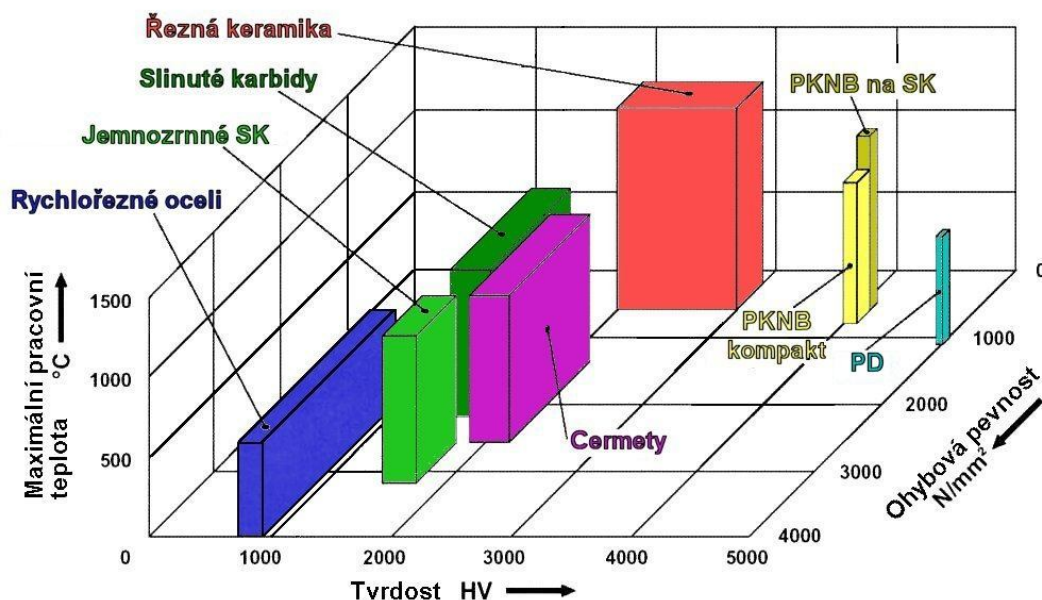
Supertvrde materiály se používají i ve strojírenské technologii. Do oblasti třískového obrábění se dostaly ve formě polykrystalických materiálů na bázi diamantu a kubického nitridu boru. Mělo to za následek zlepšení obrábění těžko obrobitelných materiálů. Další velkou výhodou bylo i zkrácení výrobní doby, neboť u nich lze používat vysokou řeznou rychlost. V porovnání s ostatními řeznými materiály vynikají především vysokou tvrdostí (blíží se jim jen keramické materiály). Jejich hlavní nevýhodou je vysoká cena, která klade mimořádné požadavky na posouzení konkrétní aplikace.

Supertvrde řezné materiály se, každý, různě chovají za vysokých teplot. Tato vlastnost je velmi důležitá, neboť část mechanické energie přeměněné na teplo může během obrábění způsobit nadměrné opotřebení nástroje a tím i pokles ekonomické efektivnosti obrábění. Nejlepší pozici má z tohoto hlediska kubický nitrid boru, jehož tepelná stálost je až 1600 °C, zatímco diamant se rozkládá při teplotách 700 °C. Pro jeho lepší využití je možné využít chladicí kapaliny. Toho se využívá zejména při obrábění vysokými rychlostmi, kdy je značný vývin tepla. Vliv teploty na řezné materiály je uveden na obr. 1.



Obr. 1 - 1 Tvrdost v závislosti na teplotě (13)

Rozsah mechanických vlastností supertvrdých materiálů je značně menší než u jiných materiálů. V porovnání s ostatními materiály mají také velmi malé hodnoty ohybové pevnosti, což má při obrábění za následek použití malého posuvu. Porovnání supertvrdých řezných materiálů s ostatními řeznými materiály je uvedeno na obr. 2.



Obr. 1 - 2 Srovnání řezných materiálů (13)

2 DIAMANT

Přírodní diamanty se používají ke klenotnickým účelům a také k účelům technickým. Pro klenotnické účely se používají diamanty číré nebo zbarvené. Pro klenotnické účely je podstatná velikost a tvar diamantu. S rostoucí velikostí roste i cena.(1)

Příčinou mimořádné tvrdosti diamantu (v Mohsově stupnici označen číslem 10) je skutečnost, že každý atom se váže se svými čtyřmi sousedními atomy čtyřmi dvojicemi valenčních elektronů. Proti korundu, který je v Mohsově stupnici na 9. místě, je diamant čtrnáctkrát tvrdší.

Technické diamanty se nepoužívají ke klenotnickým účelům. Rozdělují se do těchto skupin:

Karbonado jsou často nazývané jako černé diamanty, pro svou černou barvu. Mají vysokou tvrdost v porovnání s ostatními skupinami technických diamantů. Vyskytují se velmi vzácně.

Ballasy vytváří drobné kulovité krystalky. Jsou charakteristické svou vysokou tvrdostí a pevností v porovnání s ostatními druhy technických diamantů. Jejich výskyt je zřídka.

Bort se v průmyslu využívá na výrobu nástrojů jako jsou průvlaky, brusné koutce nebo hroty na měřidla. Do této skupiny patří číré, barevné, průsvitné i neprůsvitné krystaly. Mají tvar pravidelných mnohostěnů, ale i nedokonalé tvary s různými plochami i oblými stěnami.

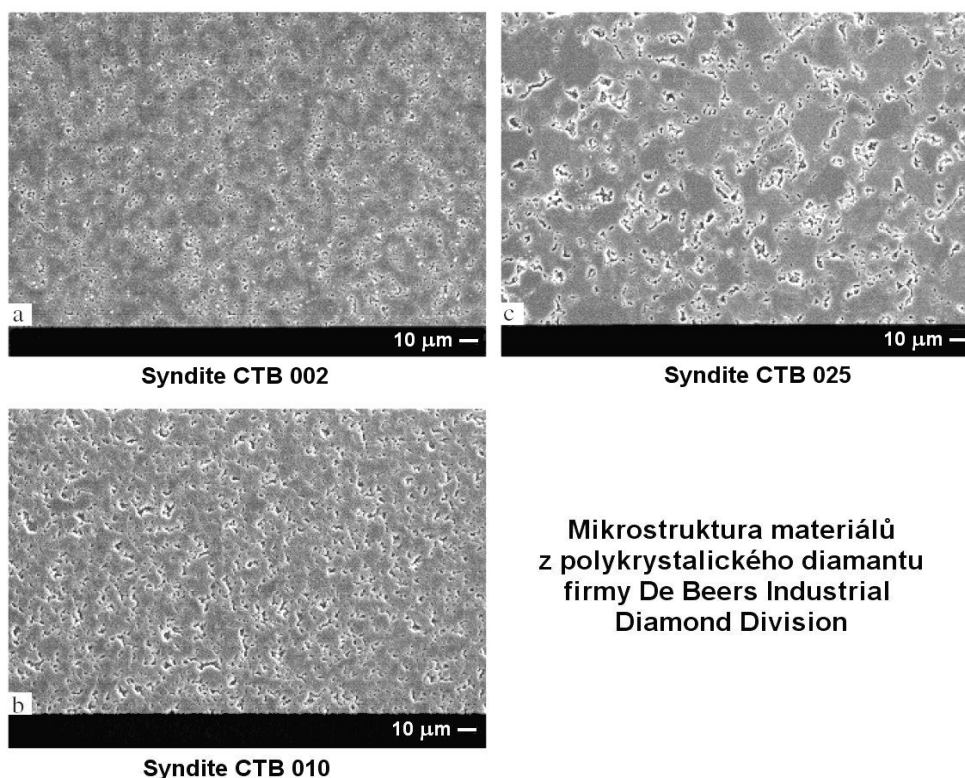
Krashing bort tvoří krystalky nepravidelných kulovitých tvarů. Jsou neprůhledné a obsahují až 20 % nečistot. Používají se nejvíce pro výrobu diamantového prachu, který se používá při broušení a leštění.

Největší rozmach technických diamantů začal v 19. století, a to společně s rozvojem průmyslu a příbuzných odvětví.

V oblasti strojírenství se technické diamanty začaly používat nejprve ve formě brusných materiálů nebo past pro broušení velmi tvrdých materiálů. Před nástupem supertvrdých řezných materiálů bylo použití diamantových brusných materiálů jedinou možností, jak obrábět tvrdé materiály.

Vzrůstající spotřeba technických diamantů vedla k prvním pokusům výroby diamantu, které vyústily v první úspěšnou syntézu diamantu. Diamantové prášky získané syntézou plně vyhovovaly požadavkům mnoha průmyslovým odvětvím. (1)

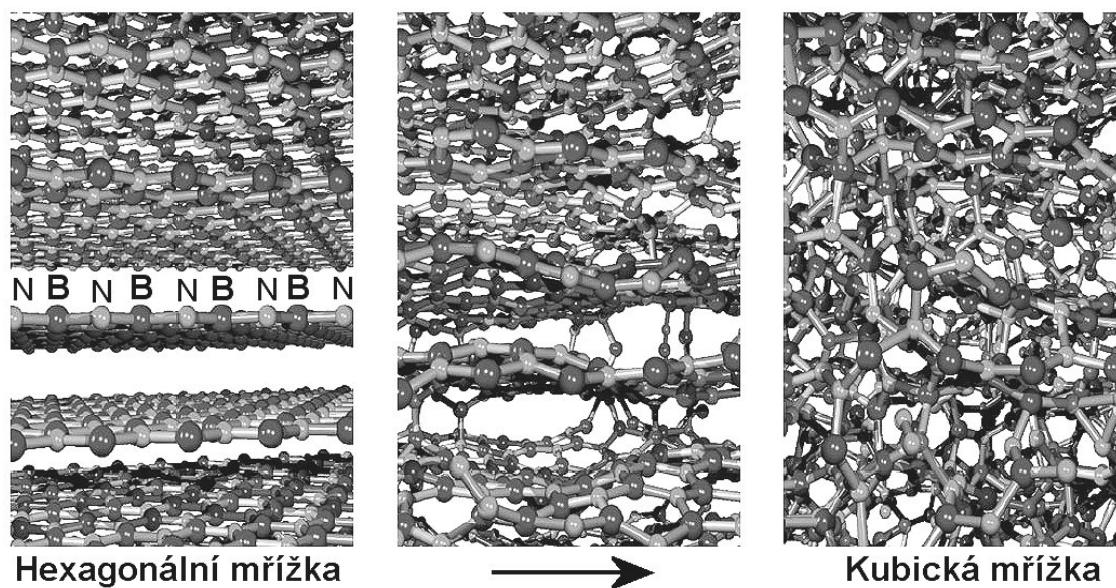
Po úspěšném zvládnutí průmyslové výroby diamantu byly prováděny první pokusy s výrobou polykrystalických materiálů na bázi diamantu. Výroba diamantů větších rozměrů byla nahrazena slinováním synteticky vyrobeného diamantového prášku spolu s pojivem. Zvládnutá výroba polykrystalických materiálů na bázi diamantu a vynikající mechanické vlastnosti polykrystalického materiálu rozšířily značně oblast používání diamantu v průmyslu. Strukturu polykrystalického diamantu můžeme vidět na obr. 3.



Obr. 2 - 3 Mikrostruktura polykrystalického diamantu (13)

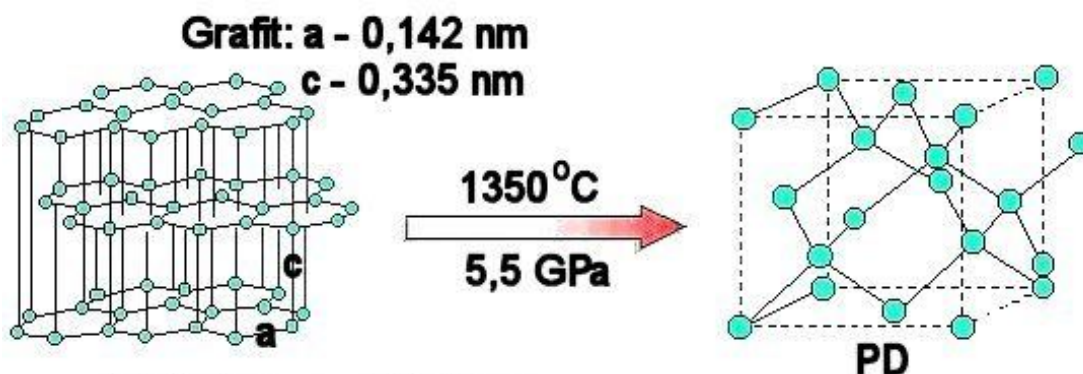
2.1 Fyzikálně mechanické vlastnosti diamantu

Diamant, jako jedna z modifikací čistého uhlíku, krystalizuje v kubické soustavě, zatím co grafit, jako polymorfní modifikace uhlíku, krystalizuje v hexagonální soustavě, ve formě desek.



Obr. 2.1 - 4 Změna mřížky (13)

Strukturu uspořádání uhlíkových atomů v elementární mřížce diamantu tvoří dvě plošně centrované kubické mřížky, které jsou proti sobě navzájem posunuty ve směru úhlopříčky tělesa o jednu čtvrtinu její délky, viz obr. 5. Strana elementární buňky má délku 0,355nm. Nejkratší vzdálenost mezi atomy je 0,142nm. Příčinou velké tvrdosti diamantu je skutečnost, že každý atom se váže se svými sousedními atomy čtyřmi dvojicemi valenčních elektronů. (1)



Obr. 2.1 – 5 Mřížka grafitu a diamantu (13)

Experimentálně je možné broušením dokázat, že tvrdost diamantu není stejná na všech plochách diamantového monokrystalu. Objevují se rozdíly při změnách krystalografického směru, kterým působíme na diamant. Jestli brousíme plochu kostky tak, aby síla broušení působila ve směru její úhlopříčky, je množství broušeného diamantu asi 150-krát menší, než při broušení ve směru hran. Podobně je to i při broušení ploch osmistěnu, kosočtverečného dvanáctistěnu. Směry, ve kterých se plochy diamantu brousí lehko, se obvykle nazývají měkké, a směry, ve kterých je opracování téměř nemožné, se nazývají obvykle tvrdými.(1)

V běžných rozpouštědlech je diamant nerozpustný. V některých roztavených kovech (železo, kobalt, nikl, platina atd.) se však rozpouští a po jejich ochlazení se z nich vylučuje jako grafit. Tím je zásadně omezeno použití diamantových nástrojů. Při opracování železných materiálů dochází ke zvýšenému opotřebení funkční části nástroje v důsledku difuze uhlíku do materiálu obrobku a současně urychlení grafitizace diamantu. Při vysokých teplotách se slučuje s křemíkem, bórem, vodíkem, sírou a jinými prvky. Vlastnosti grafitu a diamantu jsou uvedeny v tab. 1.

S rostoucí teplotou dochází u diamantu na vzduchu k oxidaci povrchu. Při teplotě 700 °C se spaluje uhlík na oxid uhličitý. Současně s tím dochází ke grafitizaci diamantu, na kterou mají značný vliv nečistoty. Při teplotách nad 850 °C dochází za přítomnosti kyslíku ke vznícení diamantu.

Tab.2.1 – 1 Porovnání vlastností grafitu a diamantu (1)

Vlastnosti	Diamant	Grafit
Krystalická mřížka	Kubická	Hexagonální
Mřížková konstanta [nm]	b = 0,356	a = 0,142 c = 0,335
Hustota [g.cm ⁻³]	3,5	2,6

Vlastnosti	Diamant	Grafit
Tepelná vodivost [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	560	80 – 250
Délková roztažnost [K ⁻¹]	0,8 x 10-6	8,8 x 10-6

Značné rozdíly se objevují při porovnání mechanických vlastností monokrystalického diamantu a polykrystalického diamantu. Tyto rozdíly jsou způsobeny přítomností pojiva v polykrystalické kompozici a také i zrnitost diamantu. Rozdílné vlastnosti monokrystalického a polykrystalického diamantu jsou uvedeny v tab. 2. Dalším významným faktorem, který má vliv na mechanické vlastnosti je kvalita spojení pojiva a diamantových zrn, což lze ovlivnit během výroby polykrystalického diamantu. Při použití vyšších teplot při slinování dochází k lepšímu natavení diamantových zrn, která pak vytvoří pevnější vazbu s pojivem. K dalším vlivům patří i doba slinování, která musí být dostatečně velká, aby se zajistilo dokonalé prohrátí v celém objemu materiálu.(1)

V porovnání s monokrystalický diamantem má polykrystalický diamant menší tvrdost, která činí asi 50 GPa (dle Knoopu). Tvrdost polykrystalického diamantu závisí především na obsahu diamantu v polykrystalické kompozici (obvykle 90 %). Tepelná vodivost je velmi závislá na druhu a obsahu pojiví fáze. Kovová pojiva zlepšují odvod tepla z polykrystalického diamantu, pojiva keramická zapříchují horší odvod tepla a tím vzrůstá nebezpečí přehřátí nad grafitizační teplotu. Modul pružnosti v tahu se liší jen nepatrně. Při použití kovových pojiv je jeho pokles značně větší a naopak pojiva keramická se podílejí na snížení modulu pružnosti v tahu jen minimálně. To je dáno nižším modulem pružnosti u kovů.

Tab. 2.1 – 2 Vlastnosti diamantu (14)

	Diamant	Polykrystalický diamant
Modul pružnosti v tahu [GPa]	964	840
Tvrdost dle Knoopu [GPa]	56-102	50
Součinitel tepelné vodivosti [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	600-2000	560
Modul pružnosti ve smyku GPa]	400	345
Poissonovo číslo [-]	0,07	0,09

2.2 Syntetický diamant

Od doby, kdy se zjistila chemická podstata diamantu, se začali vědci zabývat myšlenkou, jak vyrobit syntetické diamanty. Po řadě méně či více zdařilých pokusů se podařilo v laboratořích firmy General Electric roku 1955 vyrobit první diamantové zrno. Této úspěšné syntéze předcházela několikiletý vývoj speciálního tlakového zařízení, které bylo klíčovým prvkem pro syntézu. Po letech zkoušek bylo v roce 1954 zkonstruováno zařízení, které potřebné teploty okolo 1800 °C a tlaky okolo 6 GPa bylo schopno vytvořit a udržet je po určitou dobu konstantní. Mezitím H. Tracy Hall vypracoval teoretickou studii, ve které vypočítal potřebné tlaky a teplotu pro úspěšnou syntézu.(2)

2.2.1 Syntéza diamantu

V současné době jsou známy tři metody výroby syntetického diamantu. Jsou to následující metody:

1. Výroba v oblasti termodynamické stability diamantu působením statických tlaků minimálně 6 000 MPa a teplot min. 2 000 K na grafit v době několika sekund, bez speciálního prostředí.
2. Výroba v oblasti termodynamické stability diamantu působením vysokých dynamických tlaků, kdy přechází grafit na diamant působením rázové detonační vlny, která vytváří potřebný tlak 75 000 až 100 000 MPa, jako i potřebně vysokou teplotu. Čas působení je jen několik mikrosekund, anebo zlomků mikrosekund, proto je takto získaný diamant jemnozrnný.
3. Výroba v oblasti termodynamické stability grafitu probíhá při atmosférickém (nebo ještě nižším) tlaku a při teplotách 1400 až 1500 K epitaxiálním narůstáním diamantu v zárodcích.

Uhlík se vyskytuje ve dvou modifikacích. Jednou je i diamant. Princip syntézy spočívá v převedení hexagonální modifikace uhlíku (grafit) na modifikaci kubickou (diamant). Za atmosférické teploty a tlaku je stabilní fází grafit a nestabilní diamant. Diamant má proto snahu za normální teploty a tlaku přecházet do stabilní fáze - grafitu. Tento proces se označuje jako grafitizace a vede k postupné degradaci diamantu. Při vyšších teplotách a tlacích je však diamant fází stabilní a grafit má snahu přecházet v diamant. Rozhraní těchto dvou modifikací se ve fázovém diagramu se označuje jako Berman - Simonova křivka. Ta reprezentuje určité minimální množství energie, které je třeba látky dodat, aby přešla z jedné fáze do druhé. Toto množství energie je konstantní pro každou chemicky čistou látku. Pro jeden gram uhlíku je tato energie 2968 J.

Aby se syntéza diamantu zrychlila používají se katalyzátory. Pro přeměnu grafitu na diamant se jako katalyzátory osvědčily prvky z osmé skupiny periodické tabulky prvků (železo, kobalt, nikl a další). Pro snazší označení se tyto prvky označují značkou Me.(2)

Při syntéze se čistý grafit za zvýšené teploty a tlaku dostane do oblasti, kde je stabilní fází diamant. Z roztoku, který se vytvoří z roztaveného katalyzátoru a grafitu se s rostoucí teplotou začne vylučovat diamant ve formě krystalů. S postupujícím časem velikost krystalů diamantu narůstá a jejich velikost je pak dána prostorovým omezením. Běžně je doba syntézy několik desítek minut. Pro výrobu větších diamantů o velikosti několik milimetrů jsou syntézní časy až několik desítek hodin, což je při průmyslové výrobě neekonomické. Tento fakt vedl k vývoji polykrystalických diamantů. Po ochlazení a snížení tlaku se vzniklý diamantový prášek čistí od zbytků katalyzátorů a třídí podle velikosti.(2)

2.2.2 Výroba diamantových povlaků metodou CVD

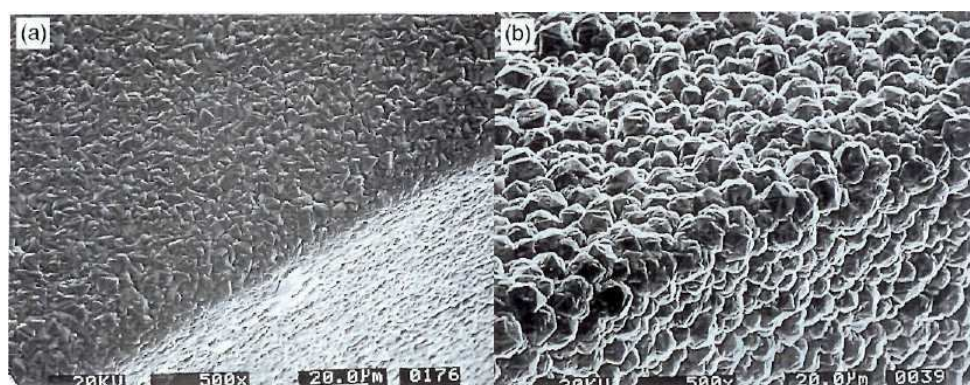
Metoda CVD (Chemical Vapour Depositions = chemické napařování z plynné fáze) je známa od padesátých let 20. století.

Princip metody spočívá ve vytváření povlaků z plynné fáze na vhodném substrátu. Jako substrát se při výrobě diamantu používá karbid wolframu nebo křemík. Substrát je ve formě destičky vložen do plynného prostředí a zahřát na teplotu 2000 °C.

Plynné prostředí se skládá z nosného plynu a aktivní plynné látky. Rozkladem aktivní plynné látky za vysokých teplot se na povrchu substrátu vylučuje vrstva diamantu.(2)

Nejpoužívanějším nosným plynem je H_2 , aktivní látka je metanol, jehož páry se za vysokých teplot rozkládají. Jedním z produktů rozkladu je i uhlík, který formou diamantu vytváří povlak na povrchu substrátu. K ohřevu plynné fáze se používá laser nebo mikrovlnné záření. Proces probíhá při tlaku 15 kPa. Podtlak zajišťují vývěvy. Regulace rychlosti napařování probíhá změnou poměru nosného a aktivního plynu.(2)

Předností takto vzniklého diamantu je jeho velmi dobrá adheze k podložce. Nevyskytují se vady struktury jako jsou póry. Narozdíl od polykrystalického diamantu získaného slinováním je diamantový povlak homogenní. Diamantový povlak je znázorněn na obr.6.



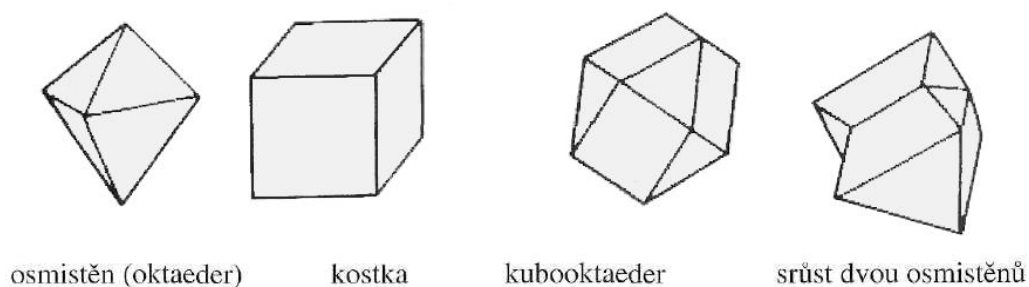
Obr. 2.2.2 – 6 Jemnozrný (a) a hrubozrný (b) diamantový povlak(14)

2.2.3 Krystaly syntetických diamantů

Základní tvary krystalů syntetických diamantů tvoří krychle, osmistěn a jejich kombinace, viz obr. 7. Tvary, jako rombododekaedr, tetraedr, trigontrioktaedr a jiné, ve kterých se vyskytují přírodní diamanty, nejsou typické pro syntetické diamanty. Osmistěny, krychle a kuboooktaedry vytvářejí jednoduché spojení, které se tvoří obvykle po ploškách. Vzhledem na praktické použití přiřazujeme jednoduché spojení k monokrystalům. Spojení může být dokonalé, nedokonalé a neúplné. Mezi tvary syntetických diamantů se vyskytují také polykrystalické agregáty a zrna nepravidelného tvaru. Jsou to vícenásobná spojení monokrystalů anebo neúplných spojení. Na rozdíl od přírodních diamantů mohou mít syntetické diamanty i tvar skeletu. (1)

Základní morfologické typy syntetických diamantů rozdělujeme na 3 skupiny:

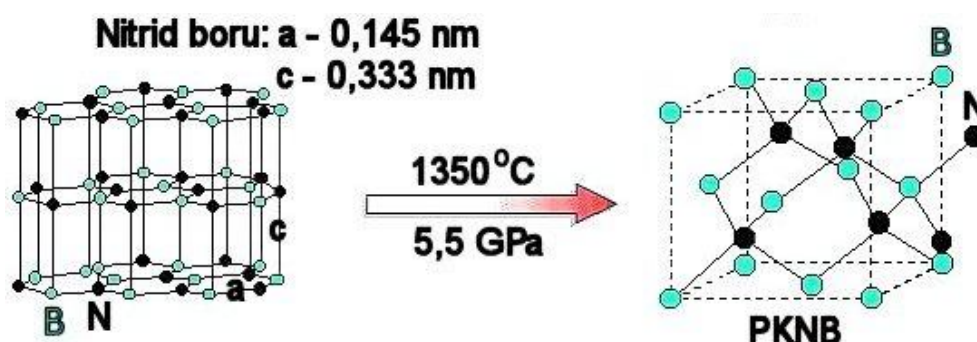
1.monokrystaly a jednoduchá spojení, 2.polykrystalické agregáty, 3.skeletové krystaly



Obr. 2.3.2 - 7 Krystaly syntetických diamantů (1)

3 KUBICKÝ NITRID BÓRU

Kubický nitrid bóru se v přírodě nenachází. Je však asi sto let známý nitrid bóru, krystalizující v hexagonální soustavě, podobně jako grafit. Nitrid bóru je chemická sloučenina, která se skládá ze 43,6 % bóru a 56,4 % dusíku. Sousední atomy v nitridu jsou vzdálené 0,145 nm (v grafitu 0,142 nm), tzn. že jsou větší než-li v grafitu. Délka strany elementární buňky nitridu bóru je 0,333 nm (v grafitu 0,335 nm), teda menší než v grafitu. V šestiúhelníku je atom vázaný se třemi atomy bóru. Šestiúhelníky v soustavě nitridu bóru jsou sestavené tak, že atomy bóru a dusíku se střídají na vertikální ose, viz obr.8.

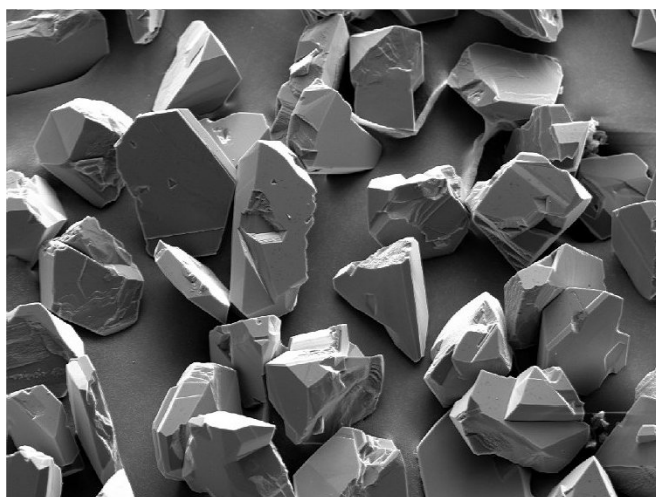


Obr. 3 - 8 Mřížka nitridu boru (14)

Nitrid bóru se vícerymi vlastnostmi podobá grafitu. Např. je měkký a kluzký. V hexagonálním nitridu bóru, stejně jako i v grafitu, jsou plochy lehkého skluzu se slabou vazbou ve směru hrany základní hexagonální soustavy a podobně jako v grafitu se tyto plochy po sobě kloužou. Vzhledem na velkou příbuznost struktur a fyzikálních vlastností grafitu a nitridu bóru se nitrid bóru pro své zbarvení často nazývá bílý grafit.(2)

Sloučeniny bóru a dusíku tvoří boridy a nitridy, které dosahují vysokou tvrdost, podobně jako karbidy, které se tvoří slučováním uhlíku s těžkovitými kovy a dosahují pět až deset krát vyšší tvrdost než základní kov.

Z podobnosti všech vlastností grafitu a nitridu bóru, a zejména jejich podobných hexagonálních krystalických mřížek a téměř stejnými parametry je možno předpokládat, že nitrid bóru může existovat i v kubické modifikaci.



Obr. 3 - 9 Krystaly KNB (8)

Kubický nitrid bóru vyrobený v roce 1960 v bývalém Sovětském Svazu, dostal název Elbor anebo Kubonit. (1)

Tab.3 - 3 Vlastnosti diamantu a KNB (1)

	Diamant	KNB
Typ mřížky	Kubická	Kubická
Délka strany mřížky [nm]	0,3567	0,3616
Hustota [g.cm ⁻³]	3,51	3,48
Tvrdost podle Knoopu	700-800	1500 -1600
Počet atomů v 1 cm ³	1,69 x 10 ²³	1,69 x 10 ²³

Výrobou kubického nitridu bóru ve speciálním zařízení při teplotách a tlacích přibližně stejných jako při syntetické výrobě diamantu se potvrdila hypotéza o možnosti vzniku kubického nitridu bóru, s vlastnostmi podobnými, jako má diamant a s parametry krystalické mřížky téměř stejnými, jako má mřížka diamantu. Strukturní mřížku tvoří atomy bóru a dusíku (zatím co mřížku diamantu pouze atomy uhlíku). Každý atom bóru se váže se čtyřmi atomy dusíku, rozloženými v prostoru na vrcholech čtyřstěnu. Takto se dokázalo, že nitrid bóru, stejně jako i uhlík, může existovat ve dvou modifikacích, a to v měkké - hexagonální a tvrdé - kubické.(1)

Po získání prvních vzorků se zjistilo, že tvrdost kubického nitridu bóru je taková, že ním lze poškodit diamant a jeho práškem je možné brousit přírodní diamant.

Hustota obou látek je prakticky stejná a souvisí s počtem atomů v jednotce objemu. Diamant má vyšší počet atomů v jednotce objemu a tím i vyšší hustotu.

Běžně vydrží kubický nitrid boru teploty 1500 až 1600 °C. Při vyšších teplotách se v přítomnosti vzdušného kyslíku rozkládá na oxidu dusíku a bor. Chemická stálost je u kubického nitridu boru značně lepší než u diamantu. Nerozpouští se v běžných rozpouštědlech ani za vyšších teplot. V roztavených kovech se také nerozpouští. Dobrá tepelná odolnost a vysoká chemická stálost značně rozšiřuje oblasti použití kubického nitridu boru.

Všemi těmito vlastnostmi, jako i např. chemickou inertností kubického nitridu boru vůči železu je kubický nitrid boru nenahraditelným materiálem na obrábění ocelí, vhodnější než diamant. Vlastnosti kubického nitridu boru jsou uvedeny v tab. 3.

Při porovnání mechanických a fyzikálních vlastností kubické a hexagonální modifikace jsou patrné značné rozdíly. Ty jsou podobné rozdílům mezi diamantem a grafitem. Velmi velký je rozdíl ve tvrdosti. Kubický nitrid boru má vyšší hustotu a větší tepelnou vodivost.

V souvislosti s tendencí zvyšovat spolehlivost a životnost mechanismů a strojů se ve strojnictví nevyhnutně začaly používat speciální vysokolegované oceli a slitiny se zvýšenými fyzikálně - mechanickými vlastnostmi, které je možné těžko obrobít i brusnými nástroji.

Tady vyniká význam kubického nitridu bóru, který se vyznačuje vysokou tepelnou stálostí v chemicky agresivních prostředích. Kromě toho je chemicky inertní ke konstrukčním kovům.

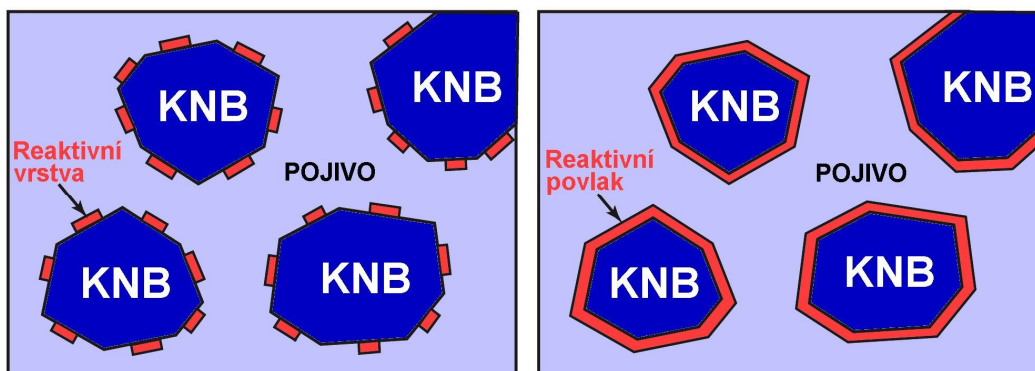
Výroba větších monolitických zrn se ukázala jako ekonomicky neefektivní a řešení se našlo podobně jako u polykrystalického diamantu v použití práškové metalurgie.

Od té doby se oblast supertvrdých řezných materiálů rozšířila o nové materiály na bázi polykrystalického kubického nitridu boru. (2)

V současnosti můžeme získat krystaly kubického nitridu boru až do průměru 6 mm. Tak je možné zabezpečit výrobu nožů, fréz a jiných nástrojů na rychlostní obrábění kalených ocelí, co naznačuje perspektivu v mnoha případech nahradit broušení běžným obráběním.

Polykrystalický kubický nitrid boru je materiál tvořený kubickým nitridem boru, který je spojen do kompaktního celku za použití pojiva. Pojiva značně ovlivňují mechanické a fyzikální vlastnosti výsledné polykrystalické kompozice. Množství pojiva se řídí předpokládanými mechanickými a fyzikálními vlastnostmi a může dosáhnout až 50 % celkového objemu. Jako pojiva se nejčastěji používají kovy, karbidy, keramika případně i další látky. Z kovů se nejčastěji používá titan nebo i nitrid titanu. Méně se používá nikl či jeho kombinace s titanem. Kovy významně ovlivňují mechanické vlastnosti jako jsou tepelná vodivost a houževnatost. Karbidy jsou nejčastěji zastoupeny karbidem wolframu a karbidem titanu. Keramické materiály zastupuje celá řada materiálů jak oxidických, tak i neoxidických. (2)

Příkladem nového postupu výroby je výroba supertvrdých materiálů firmou Mitsubishi, která propaguje slinování aktivovaných částic polykrystalického kubického nitridu boru, jako metodu pro 21. století. Při této metodě jsou eliminovány všechny nečistoty a příměsi a na povrchu zrn z PKNB se vytvoří rovnoměrná reaktivní vrstva ve formě pláště, který kompletně obalí každé zrnko. Princip metody je uveden na obr.10 (9)



Obr. 3 - 10 Princip metody Particle - activated sintering (9)

3.1 Způsoby opotřebení nástrojů

Možnosti použití nástrojů na požadované záměry je možné posuzovat z různých hledisek. V každém případě jejich podstatou by mělo být fyzikálně - mechanické působení nástroje a obrobku. Řezná část každého nástroje se může v závislosti na zatížení podrobit křehkému a plastickému narušení.

Křehké narušení řezné části nástroje nastává v tom případě, kdy maximální tahové napětí v kterémkoliv bodě dosáhne mez pevnosti. Křehkou pevnost řezného materiálu může teda charakterizovat jeho mez pevnosti v tahu. Charakter rozložení a hodnoty napětí se mohou změnit změnou parametrů procesu řezání a hloubky řezu, co může způsobit křehké porušení nástroje.(1)

Plastické narušení řezného materiálu, především brusného, vyplývá z funkční závislosti tvrdosti na teplotě. V řezném procesu se totiž změnou režimů řezání značně mění i teplota v místě dotyku nástroje s obrobkem.

Vysoká křehká a plastická pevnost nástroje je tedy nevyhnutnou podmínkou efektivnosti jeho použití. Je třeba však dodat, že není současně dostačující podmínkou. Nástroj musí být odolný i vůči opotřebení, aby trvale zabezpečoval vysokou přesnost a produktivitu obrábění.

Mimořádně složité jsou podmínky na brusných nástrojích. Je nutné počítat se skutečností, že zrna brusného nástroje v závislosti na podmínkách řezání jsou vystavena různým způsobům opotřebení: adhezně - únavovému, abrazivnímu, difúznímu, chemickému, oxidačnímu a jinému.

Adhezní opotřebení vzniká úbytkem materiálu z dotykového povrchu nástroje vlivem oddělování (vytrhávání) mikročástic vyvolaného adhezními jevy. Charakter narušení brusného materiálu při adhezním opotřebení souvisí s únavovými jevy.

Abrazivní opotřebení vzniká tehdy, kdy tvrdé částice v obráběném materiálu anebo oddělené částice brusného materiálu vnikají do stykových povrchů nástroje, poškodí je, přičemž působí jako mikroskopické nože.

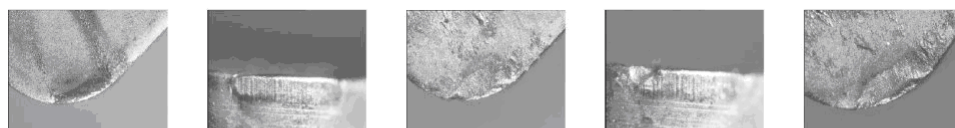
Oxidační opotřebení může vznikat při vysokých teplotách řezání, které vznikají při procesu broušení, provázeného intenzivním okysličováním brusného materiálu. Brusný materiál musí být inertní vůči prostředí.

Difúzní opotřebení vzniká tehdy, je-li mezi brusivem a brusným materiálem chemická příbuznost (afinita). Difúzní procesy v zóně styku brusiva a brusného materiálu probíhají tím intenzivněji, čím je tato příbuznost bližší. Stupeň afinity charakterizuje také intenzita adheze mezi materiálem brusiva a brusným materiálem. Na základě toho je charakterizována i intenzita adhezně - únavového opotřebení. (1)

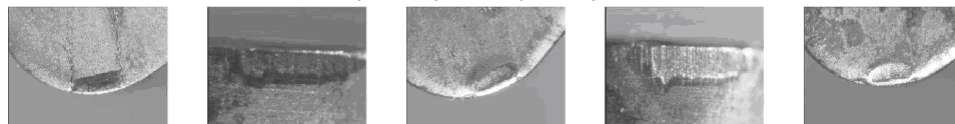
$V_c = 200 \text{ m/min}$; $d = 0,1 \text{ mm}$; $f = 0,1 \text{ mm/rev}$ HRC52



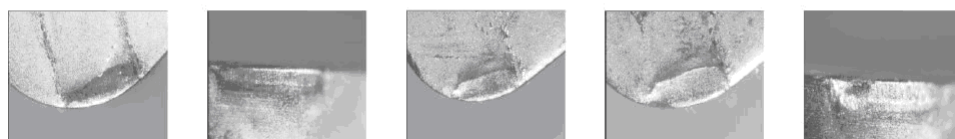
$V_c = 150 \text{ m/min}$; $d = 0,2 \text{ mm}$; $f = 0,2 \text{ mm/rev}$ HRC52



$V_c = 200 \text{ m/min}$; $d = 0,1 \text{ mm}$; $f = 0,1 \text{ mm/rev}$ HRC38



$V_c = 250 \text{ m/min}$; $d = 0,2 \text{ mm}$; $f = 0,2 \text{ mm/rev}$ HRC38



Obr. 3.1 - 11 Opotřebení břitových destiček (13)

3.2 Řezné vlastnosti KNB z hledisek mechanických a fyzikálně chemických

Základními mechanickými a fyzikálně - chemickými charakteristikami jakosti brusného materiálu je mez pevnosti při poměrném jednoosém tahu a tlaku, tepelná závislost meze tečení anebo tvrdosti, tepelná závislost poměrné síly adheze spolu s obráběným materiálem, rychlost vzájemného rozpouštění brusného a obráběného materiálu a tepelná závislost rychlosti okysličování.

Výsledky rozborů ukázaly, že diamant si uchovává plastickou pevnost dokonce i při vysokých rychlostech broušení ocelí, titanu, žáruvzdorných slitin, přesto, že se teplota v místě styku téměř rovná teplotě tavení obráběných materiálů. Z toho vyplívá, že plastické rozrušení diamantu při libovolných podmínkách řezání je v uvedených materiálech vyloučené.

Při obrábění žáruvzdorných kovů (wolfram, molybden, niob, atd.), s teplotou tavení blízkou teplotě diamantu, je plastické rozrušení diamantu možné. Z brusných materiálů se tímto vlastností diamantu nejvíce přibližuje kubický nitrid bóru. Plastickou pevnost brusného materiálu je možno charakterizovat závislostí tvrdosti na teplotě.(1)

Kubický nitrid bóru se vyznačuje také dostatečnou plastickou pevností při obrábění legovaných ocelí, titanu, titanových a žáruvzdorných slitin. Kromě toho, vzhledem na svoji vysokou tepelnou stálost a chemickou inertnost k většině obráběných materiálů, může se považovat za efektivní řezný materiál, především když se sníží jeho křehkost.

Nejméně vhodnou vlastností diamantu jako nástrojového materiálu je jeho chemická příbuznost (afinita) ke všem slitinám uhlíku a železa, niklu, kobaltu atd., což se na kubický nitrid bóru nevztahuje.

3.3 Syntéza kubického nitridu boru

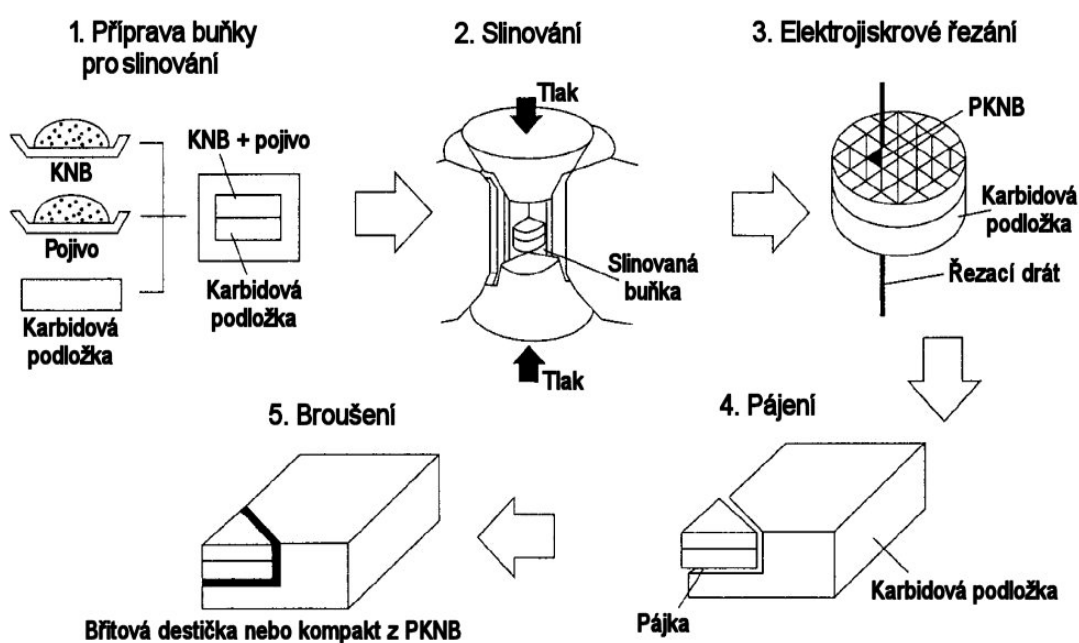
Při syntéze kubického nitridu boru se jako surovina používá hexagonální nitrid boru. Princip syntézy je stejný jako u diamantu. Odlišnosti jsou ovšem v chemických dějích, které při syntéze probíhají. Používají se jiné katalyzátory. Další odlišnosti jsou v syntetizačních teplotách. Syntéza kubického nitridu boru vyžaduje použití vyšších teplot a také vyšších tlaků. Tato skutečnost souvisí s větší hodnotou energie pro přeměnu na kubický nitrid boru. Vysoká hodnota energie pro přeměnu se projevila tím, že se kubický nitrid boru v přírodě nevyskytuje. Optimální podmínky pro syntézu kubického nitridu boru jsou při teplotách nad 1800 °C. Potřebné tlaky se pak pohybují nad hodnotou 5 GPa.(2)

V průmyslové praxi je tato syntéza realizována na speciálním vysokotlakém zařízení, které se konstrukčně velmi podobá zařízení, na kterém se provádí syntéza diamantu. Obě se podobají velmi podobají zařízení, na němž se v roce 1955 uskutečnila první syntéza diamantu.

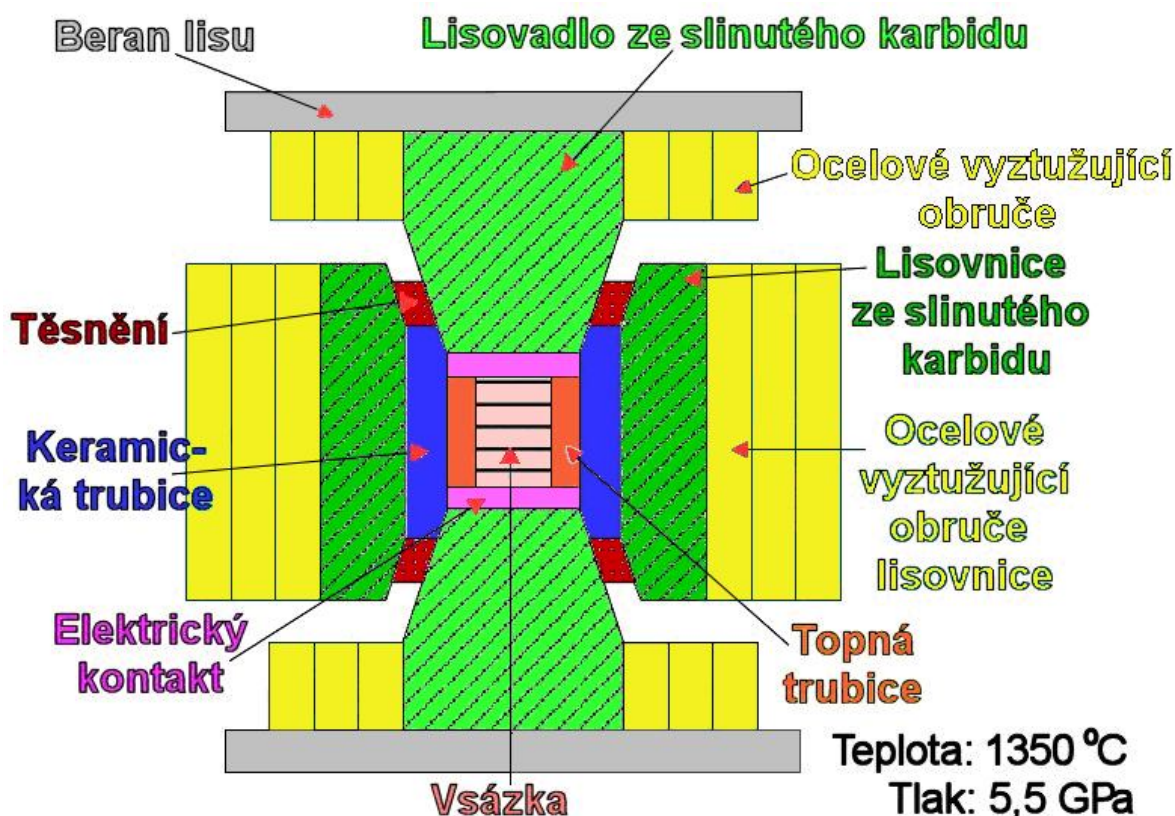
4 VÝROBA SUPERTVRDÝCH ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ SLINOVÁNÍM

Základní surovinou pro výrobu supertvrdých řezných materiálů jsou diamantové prášky nebo prášky kubického nitridu boru o určité zrnitosti. K nim se v určitém poměru přidávají pojiva, která zajišťují dokonalé spojení jednotlivých krystalů diamantu nebo kubického nitridu boru. Realizace spojení sebou nese řadu problémů. Aby se zajistila dobrá kvalita spojení je nutné natavit krystaly diamantu či kubického nitridu boru. Tím jsou ovšem kladeny značné nároky na strojní zařízení, neboť vysoké teploty a zejména extrémní tlaky vyžadují zařízení podobná těm, jenž se používají při syntéze diamantu nebo kubického nitridu boru. Zařízení pro výrobu supertvrdých řezných materiálů mají masivní konstrukci z důvodu vysokých tlaků, které musí snést. Jedním z problémů těchto zařízení jsou i deformace vznikající ohřátím zařízení na provozní teplotu. Dalším typem jsou deformace, které vznikají od vysokých tlaků a které značně převyšují konstrukční možnosti. Aby se deformace snížily na přijatelnou mez, používají se ke zhotovení nejvíce namáhaných částí materiály s velkým modulem pružnosti v tahu. (2)

Vhodné jsou slinuté karbidy, které mají dostatečně velký modul pružnosti v tahu navíc i velmi dobrou tepelnou odolnost. Potřebný tlak 5,5 GPa dodává prostřednictvím lisovale hydraulický lis. K ohřevu na potřebnou teplotu 1350°C slouží topná trubice. Celé zařízení je dokonale utěsněno speciálním těsněním. Schéma zařízení je na obr.13



Obr. 4 - 12 Schéma výroby slinutím (13)



Obr. 4 - 13 Schéma slinovacího zařízení (13)

Vlastní výroba začíná přípravou surovin, které se míchají v určitém poměru. Poměr pojiva a tvrdé složky je určen předem s ohledem na zamýšlené použití výsledného polykrystalického materiálu. Směs se musí dokonale promíchat, aby se dosáhlo v celém objemu polykrystalického materiálu stejných vlastností. Pak dojde k plnění slinovací buňky. Jako podložní destička se používají podložky ze slinutého karbidu. Následuje vlastní slinování, při němž se vytvoří spojení mezi pojivem a jednotlivými krystaly. Po snížení tlaku a ochlazení se výsledný materiál ve formě, nejčastěji kruhové destičky, řeže na jednotlivé kusy. Používá se elektrojiskrový způsob řezání, pro značnou tvrdost řezaného materiálu. Výsledná geometrie břitové destičky se získá broušením diamantovými kotouči. Celý postup výroby je uveden na obr. 12.

5 SORTIMENTU VÝROBY NEJVÝZNAMNĚJŠÍCH VÝROBCŮ

5.1 Polykrystalický diamant

5.1.1 Sortiment firmy Sumitomo

Japonská firma Sumitomo dodává na trh několik druhů materiálů na bázi polykrystalického diamantu, určené pro obrábění neželezných a nekovových materiálů. Obchodní značení těchto materiálů je Sumidia. Za obchodním označením je uveden číselný kód, který označuje konkrétní materiál. Materiály Sumidia jsou vyráběny slinováním diamantového prášku a pojiva za vysokých teplot a tlaků. Vlastnosti materiálů Sumidia jsou uvedeny v tab. 4.

Sumidia DA90 je hrubozrnný materiál s vysokou odolností proti abrazivnímu opotřebení. Materiál obsahuje diamant se zrnitostí 50 μm . Používá se k obrábění tvrdých kovů a nástrojových ocelí s obsahem kobaltu, hliníkových slitin s vysokým obsahem křemíku, keramických materiálů a uhlíkových kompozitů.

Sumidia DA150 je jemnozrnný materiál určený pro obrábění abrazivních materiálů. Obsahuje diamant o zrnitosti 5 μm . Používá se k obrábění materiálů se skelnými nebo uhlíkovými vlákny, hliníkových slitin s nízkým obsahem křemíku, měděných slitin a tvrdých kovů.

Sumidia DA200 je velmi jemnozrnný materiál. Zrnitost diamantu je 0,5 μm . Pro tuto zrnitost se používá k obrábění materiálů na čisto. Používá se pro obrábění měděných slitin, plastů a hliníkových slitin s nízkým obsahem křemíku.

Tab. 5.1.1 – 4 Vlastnosti materiálů Sumidia (4)

Označení	Zrnitost [μm]	Tvrдость dle Vickerse
Sumidia DA90	50	10000-12000 HV
Sumidia DA150	5	10000-12000 HV
Sumidia DA200	0,5	8000-10000 HV

5.1.2 Sortiment firmy General Electric

Firma General Electric dodává na trh několik materiálů na bázi polykrystalického diamantu, které jsou určeny pro obrábění neželezných materiálů. Na trh se tyto materiály dostávají pod obchodním označením Compax. Za obchodním označením je uveden číselný kód, který jednoznačně označuje konkrétní materiál. Materiály Compax jsou vyráběny slinováním diamantového prášku a pojiva. Vlastnosti materiálů jsou uvedeny v tab. 5.

Compax 1300 je materiál se střední velikostí diamantových částic. Velikost těchto částic je asi 5 μm a jejich podíl v materiálu je 92%. Používají se zejména k obrábění hliníkových slitin s nízkým až středním obsahem křemíku, uhlíkových kompozitů, měděných slitin, přírodní keramiky a kovových slitin.

Compax 1500 je hrubozrnný materiál používaný k obrábění hliníkových slitin. Zrnitost diamantu je 25 μm a materiál obsahuje 94% diamantu. Jeho hrubozrnná struktura poskytuje dobrou odolnost proti rázům. Proto se používá při hrubování, a kdy je nástroj namáhán rázem. Hlavní použití je pro obrábění hliníkových slitin s obsahem kře-

míku vyšším než 16%, méně často se používá k obrábění slinuté keramiky a tvrdých kovů.

Compax 1600 je jemnozrný materiál používaný k obrábění drahých kovů, slitin mědi a plastů. Jeho zrnitost je 4 μm a obsahuje 90% diamantu. Používá se u obrobků, u kterých se vyžaduje dobrá kvalita povrchu.

Tab. 5.1.2 - 5 Vlastnosti materiálů Compax (5)

Označení	Zrnitost [μm]	Objem diamantu [%]
Compax 1300	5	92
Compax 1500	25	94
Compax 1600	4	90

5.1.3 Sortiment firmy De Beers

Firma dodává na trh několik skupin výrobků na bázi diamantu pod obchodním značením Syndite, Monodite a Cvdite. Materiály Syndite jsou vyráběny slinováním za vysokých tlaků a teplot. Za tímto označením následuje kombinace čísel, která současně označuje zrnitost daného materiálu. Jsou vhodné k hrubování i k obrábění na čisto. Monolite je tvořen monolitickým diamantem vyráběným katalyzovanou syntézou grafitu. Používá se k obrábění na čisto. Materiál Cvdite se vyrábí metodou chemického naparování z plynné fáze (CVD). Hlavní užití nachází při obrábění na čisto a hrubování velmi abrazivních materiálů.

Syndite 010 je hrubozrný materiál se zrnitostí 10 μm . Jako pojivo se používá karbid wolframu. Používá se při obrábění hliníkových slitin s vysokým obsahem křemíku, plastů plněných abrazivními plnidly, tvrdých kovů a kompozitních materiálů s uhlíkovými vlákny.

Syndite 025 je velmi hrubozrný materiál se zrnitostí 25 μm . Jako pojivo je použit karbid wolframu. Používá se pro obrábění velmi abrazivních materiálů, jako jsou materiály se skelnými vlákny, uhlíkové kompozity a keramické materiály.

Monodite je monokrystalický diamant získaný syntézou z grafitu. Je využíván pro obrábění na čisto, kde je nutná velmi dobrá kvalita obrobené plochy. Jeho tvrdost je větší než tvrdost polykrystalického diamantu. Má však velmi vysokou cenu v porovnání s polykrystalickými materiály.

Cvdite CDM je materiál vyráběný metodou CVD. Tloušťka naparované vrstvy je 0,2 - 0,5 mm. Plátky diamantového povlaku mají tvar trojúhelníkový nebo obdélníkový.

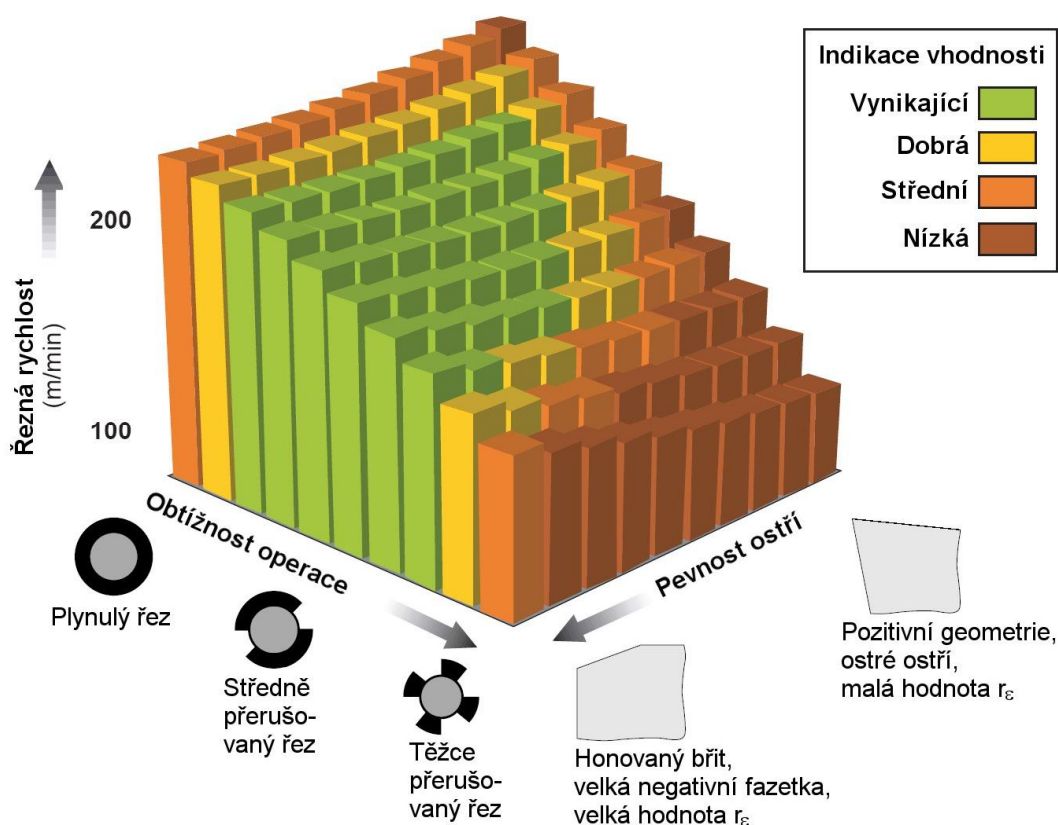
5.2 Polykrystalický kubický nitrid boru

5.2.1 Sortiment firmy De Beers

Materiály na bázi kubického nitridu boru dodává firma De Beers pod obchodním označením Amborite. Vlastnosti materiálů Amborite jsou uvedeny v tab. 6.

Amborite DCN450 je materiál s nízkým obsahem KNB se sub - mikronovou zrnitostí a nitridem titanu jako pojivem na wolfram karbidové podložce. Je to nejvhodnější materiál pro souvislé nebo středně přerušované obrábění kalených ocelí s tvrdostí nad 65 HRC a nástrojových ocelí. Materiál umožňuje zvýšený výkon a řeznou rychlost nad 200 m/min. Na obr. 14 můžeme vidět podmínky správného výběru geometrie ostří pro dané obrábění.

Amborite AMB90 je materiál, který má zrnitost 8 μm a obsahuje 90 % kubického nitridu boru. Jako pojivo se používá keramika na bázi oxidu hlinitého. Používá se zejména při obrábění šedých litin a kalených ocelí.



Obr.5.2.1-14 Volba geometrie břitu pro efektivní využití DCN450 (12)

Amborite DBA80 je materiál, který má zrnitost 6 μm a obsah kubického nitridu boru je 80 %. Jako pojivo se používá titan v kombinaci s oxidem hlinitým. Slouží k obrábění šedých litin a kalených ocelí s tvrdostí nad 45 HRC.

Amborite DBC50 má zrnitost 2 μm a obsahuje 50 % kubického nitridu boru. Jako pojivo se používá karbid titanu. Aplikuje se hlavně v dokončovacím obrábění šedých slitin a slinutých ocelí na bázi železa.

Amborite DBN45 má zrnitost nejvýše 1 μm a obsah kubického nitridu boru je 45 %. Jeho zrnitost ho předurčuje k dokončovacímu obrábění. Jako pojivo je používán nitrid titanu. Používá se k obrábění šedých litin s tvrdostí 200 - 280 HB, slinutých kalených ocelí legovaných niklem a kobaltem, kalených ocelí s tvrdostí nad 45 HRC a slinutých kalených nízkolegovaných ocelí.

Tab. 5.2.1 – 6 Vlastnosti materiálů Amborite (8)

	AMB90	DBA80	DBC50	DBN45
Hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	3,37	3,73	4,17	4,37
Modul pružnosti v tahu	648	681	595	582
Tvrdość dle Knoop	30,8	29,1	27,5	24,2
Součinitel tepelné vodivosti	4,9	4,6	5,2	5,4

5.2.2 Sortiment firmy Sumitomo

Firma Sumitomo dodává na trh materiály kubického nitridu boru pod obchodním označením BN, za kterým následuje číselný kód, který určuje konkrétní typ materiálu. Vlastnosti materiálů BN jsou uvedeny v tab. 7.

BN100 je materiál se zrnitostí 3 μm a obsahem 85 % kubického nitridu boru. Jako pojivo je použit nitrid titanu. Používá se k obrábění šedé litiny.

BN250 má zrnitost 1 μm a obsahuje 60 % kubického nitridu boru. Jako pojivo je použit nitrid titanu. Používá se pro dokončovací obrábění kalených ocelí.

BN300 je materiál s obsahem 60 % kubického nitridu boru a zrnitostí 0,5 μm . Jako pojivo se používá nitrid titanu. Používá se pro obrábění kalených ocelí, kde dochází k přerušení řezu.

BN500 je materiál, který má obsah 65 % kubického nitridu boru. Jeho zrnitost je 4 μm . Jako pojivo je použit karbid titanu. Používá se k obrábění tvárných a šedých litin a legovaných ocelí.

BN600 je materiál s obsahem 90 % kubického nitridu boru o zrnitosti 2 μm . Jako pojivo se používá kobalt s hliníkem. Používá se k obrábění slinutých ocelí, šedých litin, superslitin s kobaltem a niklem.

BNX20 obsahuje 60 % kubického nitridu boru o zrnitosti 3 μm . Jako pojivo se používá nitrid titanu. Používá se k obrábění šedých litin a slinutých kovů.

Tab. 5.2.2 – 7 Vlastnosti materiálů Sumitomo (6)

	BN100	BN250	BN300	BN500	BN600	BNX20
KNB [%]	85	60	60	65	90	60
Zrnitost [μm]	3	1	0,5	4	2	3
Pojivo	TiN	TiN	TiN	TiC	Co-Al	TiN
Tvrdość dle Vickerse	3900-4200	3200-3400	3300-3500	3500-3800	3900-4200	3200-3400

5.2.3 Sortiment firmy General Electric

Materiály na bázi kubického nitridu boru dodává General Electric na trh pod obchodním značením BZN. Vlastnosti materiálů jsou uvedeny v tab. 8.

BZN HTC 2000 je materiál s obsahem 50 % kubického nitridu boru se zrnitostí 2 μm . Jako pojivo je použita keramika na bázi titanu. Materiál je určen pro dokončovací obrábění ocelí o tvrdosti větší než 45 HRC a nástrojových ocelí, kde nedochází k přerušení řezu. Materiál je elektricky vodivý.

BZN 6000 má obsah kubického nitridu boru 90 %. Jeho zrnitost je 2 μm . Jeho pojivem je kobalt. Používá se k obrábění perlitických slitin, nástrojových ocelí, rychlořezných ocelí a slinutých vysokolegovaných ocelí. Materiál je elektricky vodivý.

BZN 7000S je materiál s obsahem 82 % kubického nitridu boru, jehož zrnitost je 15 μm . Jako pojivo je použit keramický materiál. Používá se pro obrábění šedých litin s tvrdostí nad 45 HRC, perlitických litin, tvrdých slitin a slinutých kovových prášků. Materiál je elektricky vodivý.

BZN 8100 má obsah kubického nitridu boru 65 - 70 %. Jeho zrnitost je 2 - 4 μm . Jako pojivo se používá nitrid titanu. Používá se pro obrábění kalených legovaných ocelí. Materiál je elektricky vodivý.

BZN 8200 je materiál s obsahem 65 % kubického nitridu boru o zrnitosti 2 μm . Jako pojivo se používá nitrid titanu. Jeho hlavní aplikací je dokončovací obrábění kalených legovaných ocelí a nástrojových ocelí s tvrdostí větší jak 45 HRC. Materiál je elektricky vodivý.

Tab. 5.2.3 – 8 Vlastnosti materiálů BZN (3)

Označení	Objem KNB [%]	Matrice	ρ [g.cm ⁻³]	Zrnitost [μm]	Tvrdost [HV]
BZN HTC 2000	50	keramika na bázi Ti	4,4	2	2800
BZN 6000	90-92	Co	4,4	2-4	28 GPa (Knoop)
BZN 7000S	82	keramika	4,4	15	
BZN 8100	65-70	TiN	4,4	2-4	25 GPa (Knoop)
BZN 8200	65	TiN	4,4	2	

5.2.4 Sortiment firmy Mitsubishi

Japonská firma Mitsubishi dodává materiály na bázi kubického nitridu boru na trh pod obchodním značením MB. Za tímto označením je uvedený číselný kód konkrétního materiálu.

MB 710 je materiál, který obsahuje pojivo tvořené karbidem titanu a oxidem hlinitým. Používá se pro dokončovací obrábění ocelí a šedých litin.

MB 810 je materiál, který je tvořen pojivem, jež se stává z karbidu titanu a oxidu hlinitého. Používá se pro vysokorychlostní obrábění tepelně zpracovaných ocelí.

MB 825 je materiál s pojivem tvořeným karbidem titanu a oxidem hliníku. Používá se pro obrábění s přerušovaným řezem vlivem tvaru obrobku.

MB 835 je materiál s pojivem složeným z nitridu titanu a oxidu hlinitého. Nachází uplatnění při obrábění tepelně zpracovaných ocelí, kde při obrábění nastává přerušovaný řez.

5.2.5 Sortiment firmy Iscar

Firma Iscar dodává materiály na bázi kubického nitridu boru na trh pod obchodním značením IB, za kterým je číselný kód specifikující konkrétní materiál.

IB50 je materiál, který má obsah kubického nitridu boru 50 %. Používá se pro dokončovací obrábění kalených ocelí a tvárných litin, kde nedochází k přerušení řezu.

IB55 je materiálem, který má obsah kubického nitridu boru 60 %. Používá se na dokončovací obrábění méně přesných ploch. Je vhodný k obrábění kalených ocelí a tvárných litin, kde dochází k přerušení řezu.

IB85 obsahuje 86 % kubického nitridu boru. Je vhodný pro obrábění šedých litin, superslitin, slinutých ocelí a kalených ocelí s tvrdostí nad 45 HRC.

IB90 je materiál s obsahem 90 % kubického nitridu boru. Používá se k vysokorychlostnímu obrábění superslitin, slinutých ocelí a šedých litin.

6 DOPORUČENÉ PRACOVNÍ PODMÍNKY PRO EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ SUPERTVRDÝCH ŘEZNÝCH MATERIÁLŮ

6.1 Doporučené pracovní podmínky pro efektivní využití PKD

6.1.1 Firma Sumitomo

Hrubozrný Sumidia DA90 se používá pro obrábění keramických materiálů, kevlaru a kompozitu. Je vhodný i pro obrábění slitin hliníku s vysokým obsahem křemíku. Sumidia DA200 nachází využití při obrábění plastů s abrazivními plnidly. Dále se používá při obrábění hliníkových slitin s nižším obsahem křemíku a pro obrábění keramických materiálů a kompozitu. Dosahuje se lepší kvality obrobeného povrchu, pro jeho menší zrnitost. DA200 se používá k obrábění méně abrazivních materiálů, jako jsou plasty s různými plnivými pryže. Vhodný je i na vysokorychlostní obrábění hliníku. Nej-univerzálnějším materiálem je Sumidia DA150, který doplňuje v obrábění velmi abrazivních materiálů hrubozrný Sumidia DA90. Doporučené pracovní podmínky jsou uvedeny v tab. 9.

Tab. 6.1.1 – 9 Doporučené podmínky materiálů Sumidia (4)

Materiál	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	DA90	DA150	DA200
Uhlíkové kompozity Kevlar, Keramika	20-30	0,05-0,2	0,1 -3	X	X	
Hliníkové slitiny Si > 15%	300 - 800	0,5-3	0,1 -0,4	X		
Hliníkové slitiny Si < 15%	1000-3000	0,5-3	0,1 -0,4		X	
Čistý hliník	1000 - 3500	0,1 -3	0,1 -3			X
Plasty s plnivem	80 - 1000	0,1 -1,5	0,1 -0,4		X	X

6.1.2 General Electric

Materiály Compax jsou určeny obrábění tvrdých a velmi tvrdých kovových ne-železných materiálů a nekovových materiálů, které mohou způsobovat vysoké abrazivní opotřebení nástroje. Použití materiálů Compax je uvedeno v tab. 10.

Pro obrábění keramických materiálů, kompozitů vyztužených skelnými vlákny se používá materiál Compax 1500, který je velmi hrubozrný a proto, že má velký obsah diamantu odolává dobře abrazivnímu opotřebení. Diamantový nástroj je jediným možným pro efektivní obrábění těchto materiálů. Řezné rychlosti jsou hrubování a soustružení načisto velmi malé.

Pro obrábění hliníkových slitin s křemíkem lze efektivně využít materiál Compax 1500. Ten díky své velké zrnitosti a vysokému obsahu diamantu dobře odolává abrazivnímu účinku. Obsah křemíku je u hliníkových slitin limitujícím faktorem. Je možné využívat vysokou řeznou rychlost, která zaručuje dobrou produktivitu práce. Pro obrábění na čisto se používá materiál Compax 1300, jež má jemnozrnou strukturu, která má pozitivní vliv na kvalitu obrobené plochy. Compax 1300 lze dobře použít i při hrubovacích operacích a to díky svému vysokému obsahu diamantu. Při obrábění čistého hliníku a hliníkových slitin bez křemíku lze pro dokončovací operace použít materiál Compax 1600 o malé zrnitosti. Pro obrábění hliníkových materiálů se běžně používají

chladicí kapaliny, neboť dochází k značnému vývinu tepla a hrozí degradace diamantového nástroje grafitizací.

Pro obrábění měděných slitin a bronzů lze pro hrubování použít všechny tři výše uvedené materiály. Pro soustružení načisto není vhodný materiál Compax 1600 pro svou hrubozrnnou strukturu. Řezná rychlost při soustružení načisto se může zvýšit až o 20 %, což má příznivý vliv na efektivnost obrábění. Pro frézování měděných slitin lze použít jen materiál Compax 1500.

Pro obrábění plastů si můžeme všimnout značného rozsahu řezných rychlostí. Vysoké řezné rychlosti se používají při obrábění čistých plastů. Je nutné chlazení při obrábění těchto materiálů, aby nedošlo k jejich tepelnému poškození. Používají se běžné chladicí kapaliny. Nízké řezné rychlosti se používají pro obrábění plastů s abrazivními plnidly, jako jsou křemičité prášky apod.

Tab. 6.1.2 – 10 Doporučené pracovní podmínky pro materiály Compax (3)

Materiál	Druh obrábění	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	Compax		
					1300	1500	1600
Slitiny Al Al čistý	Soustr. - hrubování	1000-3000	0,1 -3,0	0,1 -0,4	X	X	
	Soustr. - načisto	1000 - 3000	0,05- 0,80	0,03-0,20	X	X	X
	Frézování	1500 - 3500	0,1 -2,5	0,05-0,30	X	X	
Al slitiny s Si	Soustr. - hrubování	200 - 700	0,1 -2,5	0,1 -0,4	X	X	
	Soustr. - načisto	200 - 700	0,05 - 0,80	0,03-0,20	X	X	
	Frézování	400 - 900	0,1 -2,0	0,05 - 0,30	X	X	
Slitiny Cu, bronz	Soustr. - hrubování	600-1000	0,5-2,0	0,1 -0,4	X	X	X
	Soustr. - načisto	700 - 1200	0,05-2,50	0,05-0,40	X	X	
	Frézování	700-1200	0,1 -2,5	0,1 -0,3	X		
Keramika kompozity	Soustr. - hrubování	20-25	0,1 -0,5	0,1 -0,3		X	
	Soustr. - načisto	20-30	0,05-0,20	0,05 - 0,20		X	
PVC, PA, Pryž	Soustr. - hrubování	80 - 1000	1,0-2,0	0,1 -0,4		X	
	Soustr. - načisto	80-1500	0,1 -2,0	0,05-0,30	X	X	
	Frézování	200 -1000	0,1 -2,0	0,1 -0,3	X	X	

6.1.3 De Beers

Na obrábění hliníkových slitin s obsahem křemíku nad 12 % je určen Syndite 010. Pro obrábění přesných ploch obrobků z hliníkových slitin s obsahem křemíku do 12 % lze vhodně využít jemnozrnný Syndite 002, Z toho vyplývá, že pro obrábění hliníkových slitin lze dobře využít oba tyto materiály. Pro obrábění měděných slitin lze použít Syndite 002. Keramické materiály a kompozity s uhlíkovými či aramidovými vlákny lze obrábět hrubováním materiálem Syndite020 a dokončovací operace provádět pomocí Syndite 010 Pro obrábění plastů je možno použít Syndite 002, Syndite 010 i Syndite 020. Syndite 002 se používá pro obrábění čistých plastů nebo plastů s obsahem abrazivních pojiv. Používá se zejména pro dokončovací obrábění pro svou jemnozrnnost. Syndite 010 se používá pro hrubování a Syndite 020 pak na obrábění plastů s velmi abrazivními pojivy. Pracovní podmínky pro materiály Syndite jsou uvedeny v tab. 11.

Materiál Monodite se používá pro dokončovací obrábění velmi přesných ploch, kde je s ním možno nahradit broušení. Největší nevýhodou je jeho vysoká cena. Cvdite je vyráběn CVD procesem a v porovnání s polykrystalickým diamantem má vyšší tvr-

dost. To ho předurčuje k obrábění materiálů, kde dochází k velkému abrazivnímu opotřebení nástroje.

Tab. 6.1.3 – 11 Doporučené řezné podmínky pro materiály Syndite (8)

Materiál	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	Syndite 002	Syndite 010	Syndite 020
Keramika Kompozity	20 - 25	0,05 - 0,20	0,1 – 3,0		X	X
Plasty, pryž	80 - 1000	0,5 – 3,0	0,1 - 0,4	X	X	X
Slitiny Al (> 12%)	1000 - 3000	0,5 – 2,0	0,1 - 0,4		X	
Hliník a jeho slitiny (< 12% Si)	1000 - 3500	0,1 – 3,0	0,1 – 3,0	X		
Slitiny Cu	80 - 1000	0,1 -1,5	0,1 - 0,4	X		

6.2 Doporučené pracovní podmínky pro efektivní využití KNB

6.2.1 De Beers

Sortiment firmy De Beers je možno rozdělit do dvou skupin. Jednu skupinu tvoří materiály hrubozrné (Amborite AMB90, Amborite DBA80). Druhá skupina je tvořena materiály pro dokončování (DBC50, DBN 45).

Amborite AMB90 a Amborite DBA80 se používá pro soustružení - hrubování kalených ocelí s tvrdostí HRC a frézování. Amborite AMB90 má lepší odolnost vůči abrazivnímu opotřebení díky větší zrnitosti. Amborite DBA80 se právě pro svou menší zrnitost používá pro obrábění povrchu, který vyžaduje větší kvalitu obrobené plochy. Oba tyto materiály se používají pro obrábění šedých litin a dají se jimi hrubovat i kalené litiny. Produktivita práce s Amborite AMB90 je velmi vysoká, ale nedosahuje se jím takové jakosti povrchu jako při obrábění s Amborite DBA80. Doporučené řezné podmínky obou materiálů jsou uvedeny v tab. 12.

Tab. 6.2.1 – 12 Doporučené řezné podmínky materiálů Amborite AMB90 a DBA80 (8)

Materiál	Operace	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	Amborite
Kalené oceli (> 45 HRC)	Soustružení- hrubování	60 - 200	0,5 – 3,0	0,10 - 0,25	AMB90
	Soustružení- hrubování	60 - 150	0,5 – 3,0	0,10 - 0,30	DBA80
	Frézování	180 - 380	0,5 – 3,0	0,05 - 0,15	AMB90
	Frézování	150 - 250	0,5 – 3,0	0,05 - 0,20	DBA80
Šedá litina	Soustružení- hrubování	350 -1200	0,5 – 3,0	0,10 - 0,60	AMB90
	Soustružení- hrubování	350 - 800	0,5 – 3,0	0,10 - 0,60	DBA80
Kalené litiny	Soustružení - hrubování	50 - 140	1 - 6	0,10 - 0,80	AMB90
	Soustružení - hrubování	50 - 120	1 - 6	0,10 - 1,20	DBA80

Materiály Amborite DBC50 a Amborite DBN45 se používají pro soustružení načisto a pro frézování kalených ocelí s tvrdostí nad 45 HRC. Amborite DBN45 má menší zrnitost než Amborite DBC50, proto jim dosahujeme lepší jakosti obrobené plochy. Amborite DBC50 používáme pro soustružení šedé litiny načisto. Pro frézování lze použít oba tyto materiály, stejně tak i pro soustružení nízkolegovaných nebo vysokolegovaných slinutých ocelí. Doporučené řezné podmínky materiálů Amborite DBN45 a Amborite DBC50 jsou uvedeny v tab. 13.

Tab. 6.2.1 – 13 Doporučené řezné podmínky materiálů Amborite DBC50 a DBN45 (8)

Materiál	Operace	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	Amborite
Kalené oceli (> 45 HRC)	Soustružení - načisto	100 - 200	< 0,5	0,05 - 0,15	DBC50
	Soustružení - načisto	80 - 180	< 0,5	0,05 - 0,20	DBN45
	Frézování	300 - 800	< 0,5	0,10 - 0,20	DBC50
	Frézování	180 - 750	< 0,5	0,10 - 0,17	DBN45
Šedé litiny	Soustružení - načisto	50 - 350	< 0,5	0,10 - 0,40	DBC50
Kalené slinuté oceli	Soustružení - načisto	90 - 300	< 0,5	0,05 - 0,20	DBC50
	Soustružení - načisto	90 - 250	< 0,5	0,10 - 0,30	DBN45

6.2.2 Sumitomo

Firma Sumitomo vyrábí především materiály pro dokončovací obrábění železných materiálů. Materiály BN250, BN300 a BNX20 slouží pro obrábění kalených legovaných ocelí. Jsou to všechno jemnozrnné materiály, proto se jimi dosahuje dobré kvality povrchu obrobené plochy. BN300 má z nich nejmenší zrnitost, to znamená, že se jím dosahuje nejlepší kvality povrchu. Jeho zrnitost je 0,5 μm . Tyto materiály lze použít i při obrábění nerezavějících ocelí, jen obrábíme za jiných řezných podmínek. BN250, BN500 a BN600 jsou jemnozrnné materiály sloužící k obrábění šedých litin.

Materiály BZN500 a BZN600 se používají pro frézování šedých litin. BZN500 zaručuje lepší kvalitu obrobené plochy díky své malé zrnitosti. BZN250 a BZN300 lze použít pro frézování kalených ocelí. Řezné podmínky jsou uvedeny v tab. 14.

Tab. 6.2.2 – 14 Doporučené podmínky pro frézování materiálů Sumitomo (6)

Materiál	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	Sumitomo
Šedé litiny	100 - 800	< 0,50	0,1 - 0,3	BN500
	100 - 750	< 0,50	0,1 - 0,4	BN600
Kalené oceli	70 - 240	< 0,75	0,05 - 0,25	BN250
	70 - 200	< 0,75	0,05 - 0,25	BN300

Materiály BN500 a BN600 jsou používány pro obrábění tvárných litin. BN500 se dosáhne kvalitnější obrobené plochy díky jeho menší zrnitosti. Doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tab. 15.

Tab. 6.2.2 – 15 Doporučené řezné podmínky pro soustružení materiálů Sumitomo (6)

Materiál	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	Sumitomo
Kalené oceli (45 – 63 HRC)	70 - 200	< 0,5	0,05 - 0,20	BNX20
	70 - 200	< 0,5	0,05 - 0,20	BN250
	70 - 180	< 0,5	0,05 - 0,20	BN300
Nerezavějící oceli (45–58 HRC)	140 - 220	< 0,5	0,05 - 0,20	BNX20
	100 - 200	< 0,5	0,05 - 0,25	BN250
	80 - 180	< 0,5	0,05 - 0,20	BN300

Materiál	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	Sumitomo
Šedé litiny	100 - 750	< 1,0	0,1 - 0,3	BN250
	100 - 750	< 1,0	0,1 - 0,3	BN500
	600 - 1000	1,0 - 1,5	0,1 - 0,4	BN600
Tvárné litiny	110 - 320	< 0,5	0,05 - 0,15	BN500
	80 - 320	< 0,5	0,05 - 0,20	BN600

6.2.3 General Electric

Podle druhu obráběného materiálu je možné materiály firmy General Electric rozdělit do tří skupin. Druhy BZN 2000 a BZN 2100 jsou určeny pro obrábění nástrojových a legovaných ocelí. Materiály BZN 6000 a BZN 7000S se používají k obrábění širokého spektra kalených ocelí a litin. Poslední skupinu tvoří druhy BZN 8200, BZN 9000 a BZN 9100. Tyto materiály slouží k obrábění kalených ocelí, především nástrojových a kalených.

Materiál BZN HTC 2000 slouží pro dokončovací obrábění legovaných ocelí. Lze jím dobře obrábět součásti, u kterých dochází k přerušení řezu. BZN 2100 se používá pro dokončovací obrábění nástrojových ocelí, kde nedochází k přerušení řezu. Doporučené podmínky pro použití obou materiálů jsou uvedeny v tab. 16.

Tab. 6.2.3 – 16 Doporučené řezné podmínky BZN HTC 2000 a BZN 2100 (5)

Materiál	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	BZN	
				2000	2100
Legované oceli	140 - 250	0,05 - 0,20	0,10 - 0,25	X	
Nástrojové oceli	80 - 120	0,1 - 0,2	0,1 - 0,5		X

Materiály BZN 6000 a BZN 7000S slouží k obrábění kalených ocelí o tvrdosti od 45 do 68 HRC. Pro hrubování kalených ocelí se používá BZN 7000S a k dokončovací obrábění slouží BZN 6000. Oba tyto materiály se dají použít při frézování kalených ocelí. BZN 7000S se dá současně dobře využít pro hrubování perlitických litin a pro obrábění na čisto lze použít BZN 6000. Oba materiály lze využít i obrábění slitin s obsahem abrazivního kobaltu a slitinových ocelí. Tvrzené litiny lze hrubovat materiálem BZN 7000S a dokončovací obrábění provádět druhem BZN 6000. Doporučené řezné podmínky obou materiálů jsou uvedeny v tab. 17.

Tab. 6.2.3 – 17 Řezné podmínky pro materiál BZN 6000 a BZN 7000S (5)

Materiál	Operace	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	BZN	
					6000	7000S
Kalené oceli	Soustružení- hrubo-	80-130	1,0-2,5	0,1 - 0,5		X
	Soustružení - načisto	80 - 180	0,1 - 1,0	0,03-0,20	X	
	Frézování	70 - 200	0,1 - 1,0	0,05-0,30	X	X
Perlitické litiny	Soustružení- hrubo-	600-1000	0,5-3,0	0,3-0,6		X
	Soustružení - načisto	600-1200	0,05-0,50	0,05-0,50	X	
	Frézování	60 - 600	0,5-3,0	0,1 - 0,3	X	X
Kalené litiny	Soustružení - hrubo-	40 - 100	1,0-4,0	0,1 - 0,5		X
	Soustružení - načisto	100 - 200	0,1 - 1,0	0,1 - 0,3	X	
	Frézování	70-150	0,1 - 2,5	0,1 - 0,2	X	X

Materiál	Operace	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	BZN	
					6000	7000S
Tvrde slitiny s Co	Soustruž. - hrubování	20-25	0,2-1,0	0,1 -0,4		X
	Soustružení - načisto	20-25	0,1 -0,5	0,1 -0,3	X	
	Frézování	20-25	0,1 -0,6	0,1 -0,3	X	X
Kalené slinuté oceli	Soustružení - načisto	80-150	0,05 - 0,50	0,03 - 0,20	X	
	Frézování	100 - 200	0,1 -1,5	0,05-0,30	X	X

Materiálem BZN 8200 lze obrábět kalené legované oceli, nástrojové oceli a slinované oceli. BZN 9000 slouží pro obrábění slinutých ocelí používaných na tepelně velmi namáhané součásti, jako jsou výfukové ventily spalovacích motorů. BZN 9100 je vhodný pro obrábění kalené nástrojové oceli a šedé litiny. Doporučené řezné podmínky jsou zachyceny v tab. 18.

Tab.6.2.3 – 18 Řezné podmínky materiálů BZN 8200, BZN 9000 a BZN 9100 (5)

Materiál	v_c [m/min]	a [mm]	f [mm]	BZN		
				8200	9000	9100
Kalené legované litiny	100-150	0,1 -0,2	0,1 - 0,5	X		
Nástrojové oceli	90-110	0,1 -0,2	0,1 - 0,5	X		
Kalené slinuté oceli	60-200	0,10 - 0,25	0,1 - 1,3		X	
Šedá litina	600-1200	0,15 -0,50	0,1 - 2,5			X
Kalené nástrojové oceli	90-120	0,1 -0,2	0,1 - 1,0			X

6.2.4 Mitsubishi

Firma Mitsubishi vyrábí celkem čtyři druhy materiálů, které lze použít pro obrábění kalených ocelí. Pro vysokorychlostní obrábění se využívá Mitsubishi MB810. Mitsubishi MB820 slouží k obrábění, u kterého dochází k mírnému přerušení řezu. K obrábění, kde hrozí přerušení řezu se používá Mitsubishi MB 835. Pro nepřerušovaný řez je určen Mitsubishi MB825. Doporučené řezné podmínky pro tyto materiály jsou uvedeny v tab. 19.

Tab.6.2.4 – 19 Řezné podmínky materiálů Mitsubishi (9)

Materiál	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	Mitsubishi
Kalené oceli	200 - 400	< 0,15	0,15	MB 810
	70-150	< 0,30	0,50	MB 820
	70 - 150	< 0,50	< 0,30	MB 825
	50-120	< 0,50	< 0,30	MB 835

Mitsubishi MB710 a Mitsubishi MB730 lze použít pro soustružení i frézování šedých litin. Mitsubishi MB710 je univerzální materiál sloužící pro všeobecné použití. Stejně se volí materiál i pro obrábění tvárných litin. Pro vysokorychlostní obrábění se používá Mitsubishi MB730. Pro obrábění žáropevných materiálů používaných na výfukové ventily spalovacích motorů lze použít Mitsubishi MB730. Pro obrábění kovaných

součástí a materiálů odolných proti opotřebení je vhodný Mitsubishi MB820. Použití jednotlivých materiálů je uvedeno v tab. 20.

Tab.6.2.4 - 20 Doporučené pracovní podmínky materiálů Mitsubishi (9)

Materiál	Operace	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	Mitsubishi
Šedé litiny	Soustružení	500-1000	< 1,0	< 0,5	MB710
	Soustružení	1000 - 1400	< 0,5	< 0,4	MB730
	Frézování	250-1000	< 0,5	< 0,3	MB710
	Frézování	500-1400	< 0,5	< 0,3	MB730
Tvárné litiny	Soustružení	200 - 1000	< 0,5	< 0,4	MB710
	Soustružení	500-1250	< 0,5	< 0,4	MB730
Slinuté oceli	Soustružení	200 - 300	< 0,15	< 0,1	MB710
	Soustružení	150-250	< 0,15	< 0,1	MB820
	Soustružení	100 - 200	< 0,3	< 0,1	MB730
	Soustružení	100-150	< 0,15	< 0,1	MB820

6.2.5 Iscar

Materiály Iscar lze podle obrábění rozdělit na dvě skupiny podle materiálů, které jimi obrábíme. První skupinou materiálů obrábíme litiny, slinuté kovy a superslitiny. Hlavním členem této skupiny je Iscar IB90. Druhá skupina je zastoupena materiály IB50 a IB55, které slouží pro obrábění kalených ocelí. Materiál Iscar IB85 lze použít k obrábění materiálů, které jsou obráběny první i druhou skupinou materiálů. Doporučené řezné podmínky jsou uvedeny v tab. 21.

Tab. 6.2.5 - 21 Doporučené řezné podmínky materiálů Iscar (11)

Materiál	Operace	v_c [m/min]	a_p [mm]	f [mm]	Iscar
Šedé litiny	Soustružení	400-1500	0,25 - 0,60	0,12 – 3,00	IB85, IB90
Kalené litiny	Soustružení	50 - 150	0,15 - 0,40	0,12 – 2,00	IB85, IB90
Kalené oceli (>45 HRC)	Soustruž. - hrubování	60 - 140	0,15 - 0,40	0,7 - 2,5	IB85, IB55
	Soustružení - načisto	100 - 140	0,1 - 0,2	0,12 – 7,00	IB50, IB55
Superslitiny	Soustružení	50 - 200	0,05 - 0,25	0,1 – 3,0	IB85, IB90
Slinuté kovy	Soustružení	90 - 180	0,05 - 0,20	0,1 – 1,0	IB85, IB90

7 TRVANLIVOST DESTIČKY VBD

Sledování průběhu a vyhodnocení opotřebení břitové destičky VBD bylo uskutečněno v podniku Zálesí ZL a.s. v Luhačovicích. Celý projekt byl proveden při výrobě víka kompresoru klimatizační jednotky, za běžného provozu.

7.1 Použitý stroj

K obrobení součásti bylo použito CNC soustružnické centrum Scherer-Feinbau VDZ 200, patřící do řady univerzálních strojů pro výkonné soustružení.



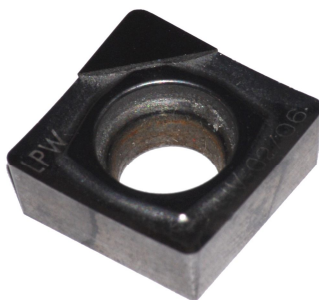
Obr.7.1.- 15 Soustružnické centrum Scherer-Feinbau VDZ 200

Tab. 7.1 – 22 Základní parametry stroje

Scherer-Feinbau VDZ 200	L	B	H	G
	2420 mm	2100 mm	2720 mm	7000 kg
Oběžný průměr		235 mm		
Pojezdy				
Svislá osa Z			240 mm	
Příčná osa X			820 mm	
Výška obrobku včetně upínacího přípravku			275 mm	
Průměr vřetene v předním ložisku			90 mm	
Zakončení vřetene s kuzelem DIN 55026			A5	
Přímo poháněné motorové vřeteno				
Jmenovitý výkon 100% ED			29,3 kW	
Jmenovitý Mk			200 Nm	
Jmenovité otáčky			1400 ot./min	
Maximální otáčky			6500 ot./min	
Rychloposuvy				
X - osa			60 m/min.	
Z - osa			30 m/min	

7.2 Použitý nástroj

Při obrábění součásti je použito břitové destičky firmy Pramet. Tato diamantová destička typového označení LPW SPMH 120408 F-AI se používá především pro obrábění hliníku a jeho slitin.



Obr. 7.2 -16 Břitová destička LPW SPMH 120408 F-AI

7.3 Součást

Obráběná součást slouží jako víko kompresoru klimatizační jednotky. Víko je vyrobeno z materiálu ADC 12. Přesné chemické složení materiálu je uvedeno v tabulce 7.3 – 24



Obr. 7.3 – 24 Víko kompresoru

Tab. 7.3 - 24 Chemické složení materiálu ADC 12

Chemické složení	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr
Wt (%)	9,6-12,0	1,3 max	2,0-3,5	0,5 max	0,1-0,3	-
Chemické složení	Ni	Zn	Pb	Sn	Ti	Al
Wt (%)	0,5 max	1,0 max	0,2 max	0,3 max	-	rovnováha

7.4 Řezné podmínky

Řezné podmínky odpovídají doporučení výrobce břitové destičky, přičemž hloubka záběru je na jeho spodní hranici (výrobce doporučeno 0,8 až 7,0 mm).

Tab. 7.4 – 25 Řezné podmínky při obrábění

Posuv	$f = 0,36 \text{ mm}$
Otáčky	$n = 3500 \text{ min}^{-1}$
Šířka záběru	$a_p = \text{konst.} = 0,8 \text{ mm}$

7.5 Měření drsnosti

7.5.1 Použitý přístroj

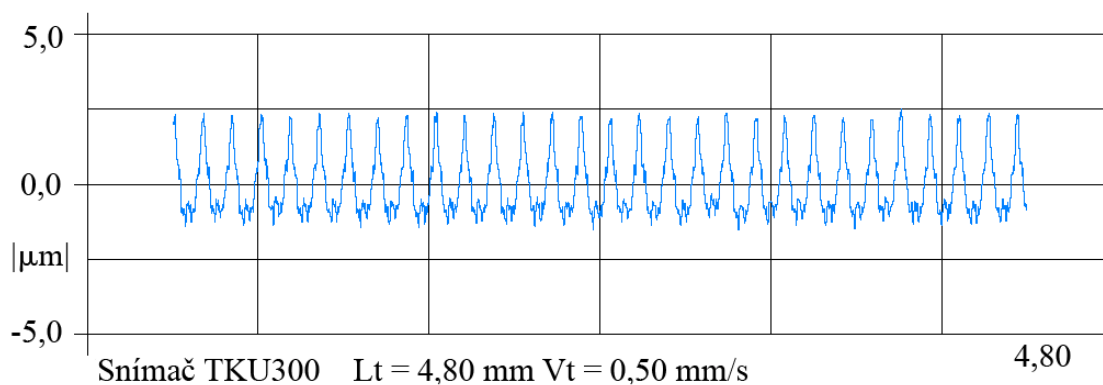
Pro měření drsnosti povrchu je používán přístroj Hommel Tester T8000. Jedná se o přístroj v modulární koncepci zaměřený na vysokou přesnost, množství parametrů a mnohostranné analýzy, pro použití v laboratoři i výrobní lince. Má standardní rozhraní pro statistické zpracování dat (SPC).

Tab. 7.5.1 – 26 Základní parametry přístroje

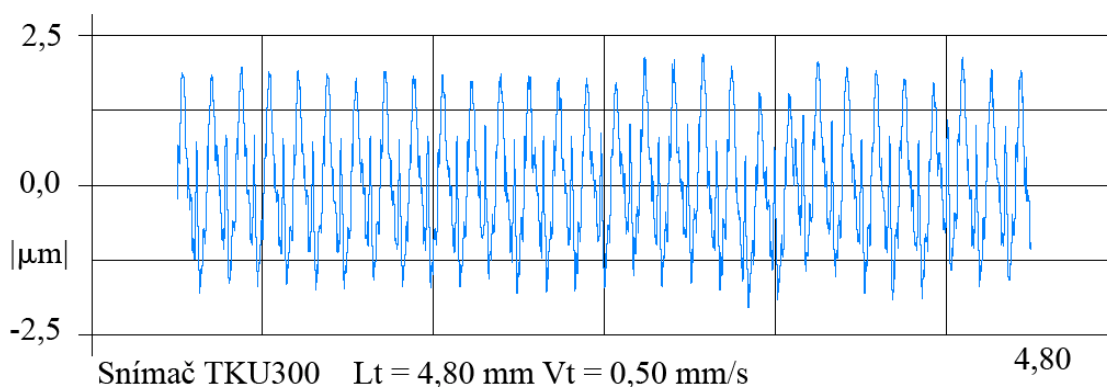
Max. měřicí rozsah horizontálně (Z)	20 mm, 60 mm, 120 mm, 200 mm (podle posunové jednotky)
Max. měřicí rozsah vertikálně (X)	TK 100/200 μm TKU 300/600 600/1200 μm Surfscan 6000 μm
Normované délky (cut off)	0,025/0,08/0,25/0,8/2,5/8 mm, variabilně od 0,001 mm, krok 0,001 mm
Délky měř. úseku (l_t)	
Jednotlivé měř. dráhy (l_r)	
Rychlosti posuvu (v_t)	
Měřicí rozsah/rozlišení (X) Pro snímače TK $\pm$	$\pm 8 \mu\text{m}/1 \text{ nm} \pm 80 \mu\text{m}/10 \text{ nm}$ $\pm 800 \mu\text{m}/100 \text{ nm} \pm 8000 \mu\text{m}/1000 \text{ nm}$
Snímač Surfscan	6000 $\mu\text{m}/0,006 \mu\text{m}$
Měřicí rozsah/rozlišení (Z) Rozlišení pro měř. rozsah	16000 kroků (14 bitů) podle měřené délky horizontálně 0,06 μm při $l_t = 0,48 \text{ mm}$ 0,6 mm při $l_t = 4,8 \text{ mm}$
Vyrovnání	Jemné, hrubé, parciální
Naklápění posuvu	hrubě $\pm 45^\circ$ jemně $\pm 5^\circ$
Statistika	ano
Qs-STAT interface	ano
Přenos dat	1 paralelní, 2 sériová rozhraní, USB

7.5.2 Výsledky měření drsnosti

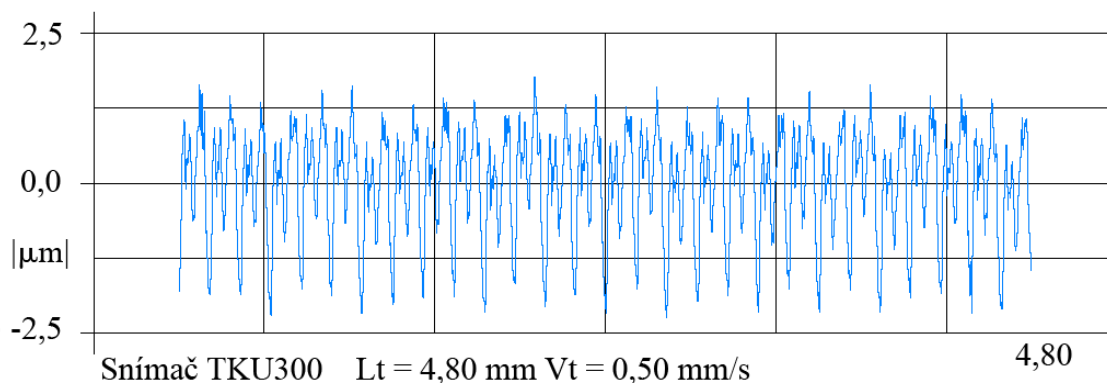
Měření drsnosti bylo prováděno v pravidelných časových intervalech projektu. Získané hodnoty v průběhu trvanlivosti nástroje znázorňují vybrané obrázky grafů drsnosti. V tomto případě je hodnota drsnosti obrobeneé plochy předepsána na max. $R_z = 6,3 \mu\text{m}$.



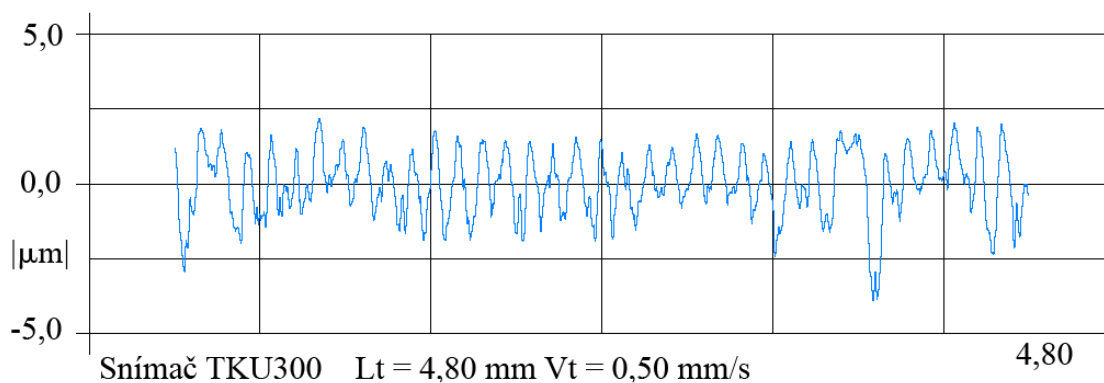
Obr 7.5.2 – 25 Nová destička, 10 kusů, 23.2.2007



Obr. 7.5.2 – 26 Obrobena 20 000 kusů, 6.3.2007



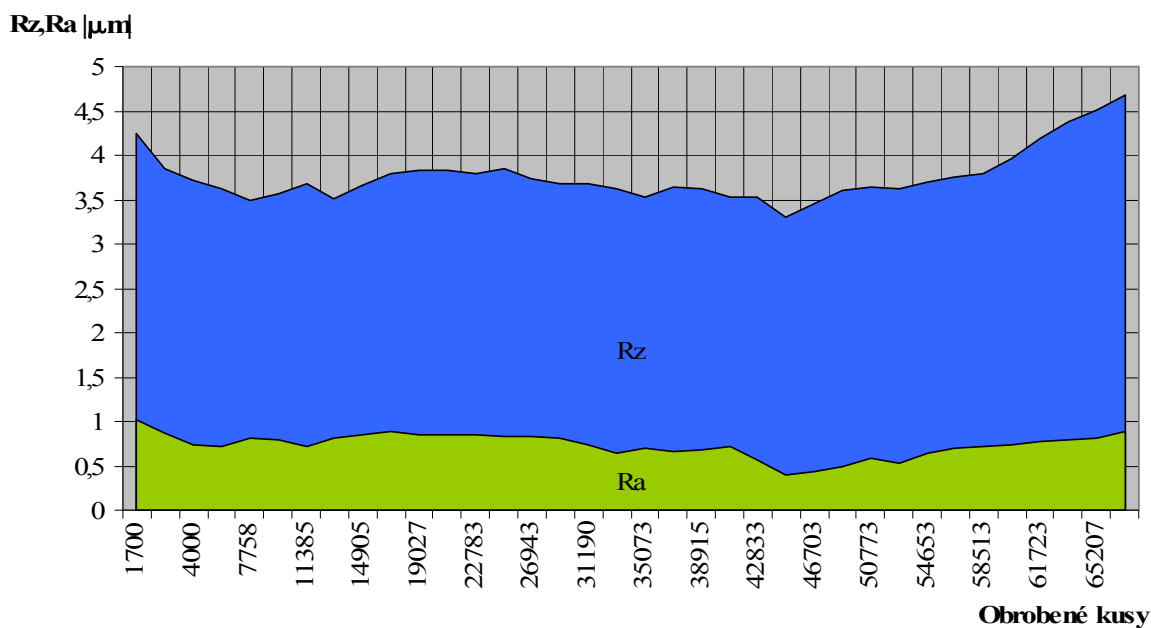
Obr. 7.5.2 – 27 Obrobena 40 000 kusů, 16.3.2007



Obr. 7.5.2 – 28 Konec trvanlivosti nástroje, 66067 kusů, 30.3.2007

Naměřené hodnoty drsnosti ploch vík po celou dobu trvanlivost nástroje v závislosti na obrobených kusech, je uveden v grafu 7.5.2 – 1

Graf 7.5.2 – 1 Drsnost obrobené plochy v průběhu trvanlivosti destičky



7.6 Opotřebení destičky

Trvanlivost břitové destičky závisí na schopnosti nástroje dodržet předepsanou drsnost povrchu vyráběné součásti. Opotřebení destičky má za následek zhoršenou a po čase nevyhovující drsnost povrchu a tím i nutnost výměny nástroje. Po výměně je nástroj dále využíván k hrubování.

7.6.1 Měřidlo

Pro zjištění velikosti opotřebení byl použit přístroj DeMeet 400 Video. DeMeet-400 Video je vybavený soustřednou optikou umožňující velmi přesné měření v každém bodě zobrazeného objektu.



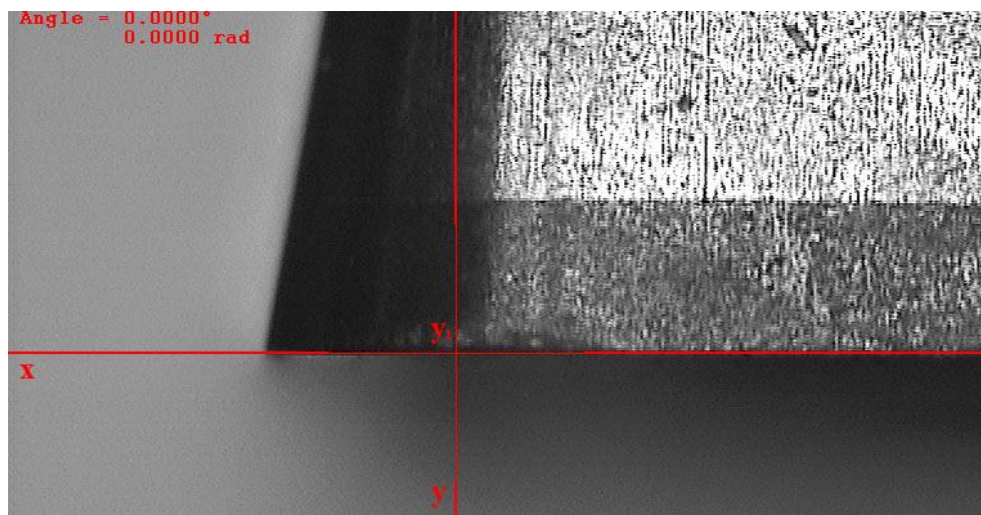
Obr. 7.6.1 – 29 DeMeet 400

Tab. 7.6.1 – 27 Technická specifikace DeMeet 400

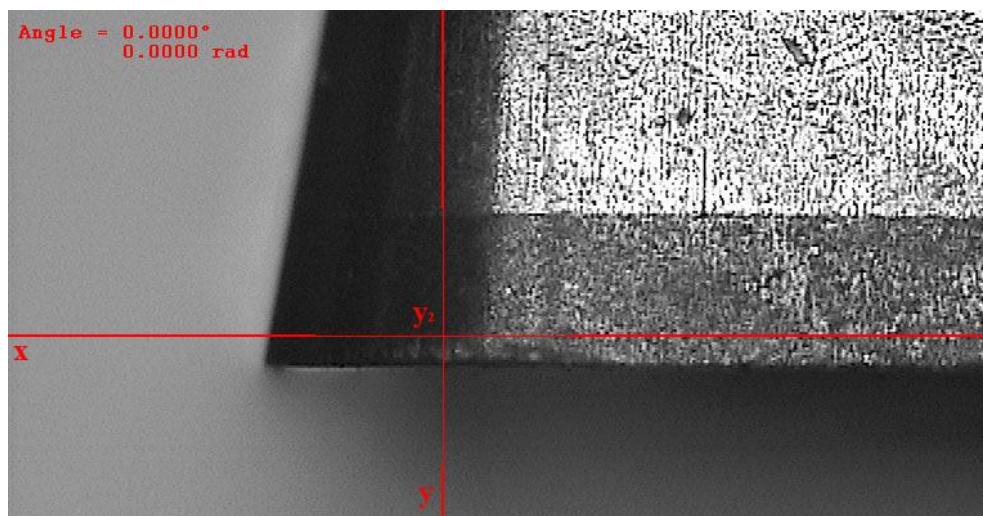
Měřicí rozsah (X-Y-Z)	400x250x200 mm
Rozměry stolu	560x372 mm
Hmotnost dílce	50 kg
Maximální měřicí rychlost	X, Y=250 m/s, Z=50 m/s
Rozměry stroje (ŠxHxV)	835x880x1590 mm
Hmotnost stroje	480 kg

7.6.2 Výsledné opotřebení

Od počátku do výměny břitové destičky bylo obrobena celkem 66077 kusů vík pro kompresory. Za tuto dobu činilo opotřebení nástroje 0,1138 mm, což je rozdíl výšky břitu na počátku a konci životnosti břitové destičky. Hodnoty měření jsou uvedeny v tabulce 7.6.2 – 28



Obr. 7.6.2 – 30 Ustavení destičky



Obr. 7.6.2 – 31 Opotřebení destičky

Celkové opotřebení nástroje po jeho vyřazení z programu obrábění vík vyznačuje posun v ose y. Rozdíl naměřených hodnot:

$$y_1 - y_2 = 0,0083 - (-0,1055) = 0,1138 \text{ mm}$$

8 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Jednu z mnoha skupin nástrojových materiálů tvoří supertvrdé řezné materiály, které vynikají zejména svou vysokou tvrdostí a velkou odolností proti abrazivnímu opotřebení. Supertvrdé materiály lze rozdělit na dvě skupiny materiálů. Materiály na bázi polykrystalického diamantu a materiály na bázi kubického nitridu boru.

Supertvrdé materiály na bázi polykrystalického diamantu jsou specifické svými vlastnostmi. Zejména schopností diamantu reagovat s železnými materiály. Při tomto způsobu obrábění dochází ke grafítizaci diamantu a jeho difúzi do materiálu obrobku. Měřením se zjistilo, že míra tohoto opotřebení několikrát převyšuje abrazivní opotřebení. Z tohoto důvodu se řezné materiály s diamantem nepoužívají k obrábění železných materiálů. Proto se snažíme využívat pozitivní vlastnosti těchto materiálů (vysoká tvrdost a odolnost proti abrazivnímu opotřebení).

Tyto řezné materiály se používají především k obrábění hliníku a hliníkových slitin. V této oblasti se dosahuje vysoké produktivity práce, neboť je možno tyto materiály obrábět vysokými řeznými rychlostmi a to vede ke zkracování výrobní doby. Omezujícím faktorem při obrábění hliníkových slitin je obsah křemíku. Čím vyšší je obsah křemíku ve slitině, tím větší je abrazivní účinek na nástroj. Pro hliníkové slitiny s vysokým obsahem křemíku se používají řezné materiály, které mají velkou zrnitost a tím lépe odolávají abrazivnímu opotřebení.

Pro obrábění plastů se polykrystalické diamanty využívají v širokém rozsahu řezných rychlostí. Vysoké řezné rychlosti je možné použít pro obrábění čistých plastů. Omezení vysokých řezných rychlostí představuje množství a druh použitého plniva a jeho abrazivní účinek na nástroj.

Polykrystalickým diamantem lze obrábět i keramické materiály. Tyto materiály jde obrábět běžnými řeznými materiály jen velmi těžší. Jediným možným opracováním je broušení, které však není efektivní.

Kompozitní materiály jsou taky jedním typem materiálů, které jsou obráběny polykrystalickým diamantem. Kompozitní materiály v posledních letech jsou značně používanými materiály v řadě odvětví (letectví, kosmická technika) pro své vynikající vlastnosti. Materiály na bázi polykrystalického diamantu vyhovují zvýšeným nárokům na obrábění kompozitních materiálů, jako jsou uhlíkové kompozity, kompozity se skelnými či aramidovými vlákny. Výrobci doporučují použití stejných řezných materiálů, jaké jsou použity u keramických materiálů.

Negativním faktorem diamantu je i jeho nízká tepelná odolnost. Diamant na vzduchu při teplotě 800 °C může hořet. To ovlivňuje jeho použití zejména při vysokorychlostním obrábění. Řešením je pak použití chladicích kapalin.

Druhá skupina supertvrdých řezných materiálů je tvořena materiály na bázi kubického nitridu boru. Tyto materiály lze dobře využívat k obrábění železných materiálů. Hlavní nasazení těchto materiálů při obrábění je směřováno k vysokorychlostnímu obrábění a obrábění velmi tvrdých materiálů.

Kalené litiny bylo dříve možné jen brousit, což bylo dosti neekonomické. Dneska se používá obrábění nástroji z kubického nitridu boru. Rychlost obrábění kalených litin se pohybují v rozmezí 50-150 m/s. Nejširší sortiment těchto nástrojů nabízí firmy Sumitomo a Iscar.

Materiály na bázi polykrystalického nitridu boru lze běžně použít pro obrábění kalených ocelí s tvrdostí nad 45 HRC. Používají se nejvíce k dokončovacím operacím. Nejširší sortiment materiálů pro obrábění kalených ocelí má firma De Beers.

Šedé litiny lze obrábět kubickým nitridem boru vysokými řeznými rychlostmi až do 1500 m/s. Materiály s největšími řeznými rychlostmi pocházejí od firmy Iscar. U ostatních výrobců je řezná rychlost o něco nižší.

ZÁVĚR

Vývoj nových nástrojových materiálů s vyšší odolností proti opotřebení, trvanlivostí a řezivostí (a s těmito vlastnostmi souvisejícím vysokým úběrem obráběného materiálu) je problém, jehož řešení nebude patrně nikdy ukončeno. Nejdůležitější vlastností kvalitního materiálu pro řezné nástroje je vysoká tvrdost, a to i za zvýšených teplot, spojená s vysokou houževnatostí. Protože u všech technických materiálů na bázi kovů s narůstající tvrdostí obvykle klesá houževnatost, je zřejmé, že takovýmto požadavkům nemůže vyhovět žádný soudobý běžný materiál. Přestože výzkumné týmy výrobců nástrojů na celém světě velmi intenzivně na tomto problému pracují, je málo pravděpodobné, že v dohledné době bude objevena zcela nová tvrdá látka, jejíž fyzikální a mechanické vlastnosti naplní uvedené protichůdné požadavky a umožní tak její úspěšnou aplikaci v oblasti řezných nástrojů.

Supertvrdé řezné materiály, jsou řezné materiály, které vynikají zejména svou vysokou tvrdostí a velkou odolností proti abrazivnímu opotřebení. Polykrystalický diamant je omezován reakcí se železnými materiály. Použití obou skupin supertvrdých materiálů (PKD a PKNB) omezuje především vysoká cena, která je důsledkem energeticky a technicky náročné výroby. Jsou to materiály, které mají do budoucna široké uplatnění v oblastech vysokorychlostního obrábění. Jistou překážkou jsou i poměrně vysoké nároky na obráběcí stroj, který je při tomto způsobu značně dynamicky namáhán.

Supertvrdé řezné materiály lze efektivně používat, pokud jsou dodržovány pravidla, které jsou určeny výrobcem. Slitiny hliníku lze polykrystalickým diamantem obrábět rychlostmi až 3000 m/min, a to při hrubování i obrábění načisto. Díky tak vysoké rychlosti se stává tento proces obrábění efektivním. PKD je také vhodným materiálem pro obrábění plastů s plnidly se skelnými či aramidovými vlákny. Výhodou obrábění těchto materiálů polykrystalickým diamantem je jeho odolnost proti abrazivnímu opotřebení i použití vyšších řezných rychlostí.

Na obrábění kalených ocelí lze dobře využít polykrystalický kubický nitrid boru. Dříve bylo možné v některých případech kalené oceli obrábět jen broušením diamantovými kotouči. Dneska se diamantové kotouče používají jen pro dokončovací operace na výrobcích s požadavkem na vysokou přesnost plochy. Výborně se PKNB hodí k obrábění perlitických litin, které lze obrábět velmi vysokými rychlostmi (až 1400 m/min). Tím došlo k výraznému zlepšení efektivnosti obrábění perlitických litin.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ŠVARAL, L. *Obrábanie nástrojmi z diamantu a kubického nitridu bóru*. Bratislava: ALFA, Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1977, 230s.
2. NESTUPA, Z. *Supertvrdé materiály*. Ostrava: ČVTS, 1989, 145s.
3. BSW GmbH. *PCD und PCBN*. [online] Dostupné na World Wide Web: <http://www.bsw-grnbh.de>.
4. Sumitomo, Japan. *Sumidia*. [online] Dostupné na World Wide Web: <http://sumitomodiamond.com/diamond.html>.
5. Diamond Innovatons. Worthington, USA. *BZN Compacts*. [online] Dostupné na World Wide Web: <http://abrasivesnet.com>.
6. Sumitomo, Japan. *Sumiboron*. [online] Dostupné na World Wide Web: <http://sumitomodiamond.com/mmcsuiboron.html>.
7. Mitsubishi. *PCD (polycrystalline diamond)*. [online] Dostupné na World Wide Web: <http://mitsubishicarbide.com/mmc/product>.
8. DE BEERS INDUSTRIAL DIAMONDS, Inc. *PCBN Cutting Tool Materials*. [online]. Dostupné na World Wide Web: <http://debid.ie>.
9. Mitsubishi. CBN (kubic boron nitride). [online] Dostupné na World Wide Web: <http://mitsubishicarbide.com/mmc/product>.
10. Sandvik - Coromant. *Cutting tool materials*. [online] Dostupné na World Wide Web: <http://www.coromant.sandvik.com/>.
11. De Beers Industrial Diamonds, Inc. *PCBN Cutting Tool Materials*. [online] Dostupné na World Wide Web: <http://www.e6.com/e6/page.jsp?>>.
12. ROSSNAGEL, S. *Handbook of Hard Coatings*. New York, 1996, 555 p. [online] Dostupné na World Wide Web: <http://books.google.com/books?id=daamnz8el2sC&pg=PA488&ots=m87otvYn6n&dq=free+Handbook+of+Hard+Coatings&sig=ryA-lg1mK0TP7W6saarYccmXxVo>.
13. MALLIKA, A. *Diamond coatings on cemented tungsten carbide tools by low - pressure microwave CVD*. Wear. 1999.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a_p	[mm]	šířka záběru ostří
f	[mm]	posuv
n	[min ⁻¹]	otáčky obrobku
v_c	[m min ⁻¹]	řezná rychlost
PKD		polykrystalický diamant
KNB		kubický nitrid bóru
PKNB		polykrystalický kubický nitrid bóru

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres obráběné součásti
Příloha 2 Tabulka počtu vyrobených kusů a naměřených hodnot drsnosti