



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ŘEZNÁ KERAMIKA
CUTTING CERAMICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ANETA KASALOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. ANTON HUMÁR, CSC.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Aneta Kasalová

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

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

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

Řezná keramika

v anglickém jazyce:

Cutting ceramics

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce je zaměřena na řeznou keramiku z hlediska rozdělení, označování, vlastností, užití a současných trendů vývoje a výroby u renomovaných špičkových producentů nástrojů a nástrojových materiálů.

Cíle bakalářské práce:

1. Základní dělení materiálů pro řezné nástroje
2. Charakteristika řezné keramiky (druhy, výroba, značení, fyzikálně mechanické vlastnosti)
3. Řezná keramika v sortimentu výroby nejvýznamnějších světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů

Seznam odborné literatury:

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. HUMÁR, A. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing s. r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
3. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Září 2004. ISSN 1212-2572., s. 84-96.
4. Odborné časopisy: Ceramics International (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02728842>), CIRP Annals - Manufacturing Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00078506>), International Journal of Machine Tools and Manufacture (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/08906955>), International Journal of Refractory Metals & Hard Materials (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02634368>), Journal of Materials Processing Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09240136>), Journal of the European Ceramic Society (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09552219>), Materials Science and Engineering: A (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09215093>), Surface and Coatings Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02578972>), Thin Solid Films (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00406090>), Wear (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431648>).
5. Technické materiály a prospekty firem Ceramtec, Ceratizit, Iscar, Kennametal, Mitsubishi, Saint Gobain Advanced Ceramics, Sandvik Coromant, Seco, Walter, Widia.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 30.10.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá tématem řezné keramiky. V první části práce jsou obecně popsány materiály určené pro výrobu řezných nástrojů a jejich charakteristika. Druhá část je zaměřena na samotnou řeznou keramiku, její historii, rozdělení, výrobu, strukturu a vlastnosti. Ve třetí části je popsán sortiment firem CeramTec, Kennametal a Sandvik Coromant.

KLÍČOVÁ SLOVA

nástrojové materiály, řezná keramika, výroba řezné keramiky, řezné podmínky, výrobci

ABSTRAKT

This bachelor's thesis deals with cutting ceramics. The first part generally describes the materials intended for production of cutting tools and their characteristics. Second part of this thesis is focused on the cutting ceramics, its history, distribution, production, structure and properties. In the last part the assortment of the companies CeramTec, Kennametal and Sandvik Coromant is described.

KEY WORDS

tool materials, cutting ceramics, production cutting ceramics, cutting conditions, producers

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KASALOVÁ, A. Řezná keramika. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 43 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma řezná keramika vypracovala samostatně na základě doporučené literatury, připomínek vedoucího bakalářské práce a další odborné literatury uvedené v seznamu použité literatury na konci této práce.

Datum:

.....
Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Tuto stránku bych chtěla věnovat poděkování vedoucímu práce panu doc. Ing. Antonu Humárovi, CSc. za jeho cenné připomínky a rady, které mi byly nápomocny při vypracování této práce.

OBSAH

ABSTRAKT.....	5
KLÍČOVÁ SLOVA.....	5
ABSTRAKT.....	5
KEY WORDS	5
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE.....	6
PROHLÁŠENÍ.....	8
PODĚKOVÁNÍ.....	9
Obsah.....	10
Úvod.....	12
1 Základní dělení materiálů pro řezné nástroje	13
1.1 Nástrojové oceli	13
1.1.1 Nelegované oceli	13
1.1.2 Legované oceli	14
1.1.3 Rychlořezné oceli	14
1.2 Slinuté karbidy.....	14
1.2.1 Nepovlakované slinuté karbidy	15
1.2.2 Povlakované slinuté karbidy	15
1.3 Cermety	17
1.4 Supertvrdé řezné materiály	17
1.4.1 Syntetický diamant (PKD)	17
1.4.2 Polykrystalický kubický nitrid boru (CBN)	18
2 Řezná keramika	19
2.1 Historie	19
2.2 Rozdělení řezné keramiky	20
2.3 Výroba řezné keramiky	21
2.3.1 Oxidová keramika	21
2.3.2 Nitridová keramika.....	21
2.3.3 Sialon.....	23
2.3.4 Keramika vyztužená vlákny whiskerů	23
2.4 Struktura a vlastnosti	24
3 Řezná keramika v sortimentu výroby nejvýznamnějších světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů	26
3.1 CeramTec.....	26
3.1.1 Oxidová keramika	26
3.1.2 Směsná oxidová keramika.....	26

3.1.3	Nitridová keramika	27
3.2	Kennametal	30
3.2.1	Oxidová keramika	30
3.2.2	Nitridová keramika	30
3.2.3	Sialonová keramika.....	30
3.2.4	Whiskerová keramika	31
3.3	Sandvik Coromant.....	33
3.3.1	Oxidová keramika	33
3.3.2	Směsná oxidová keramika	33
3.3.3	Nitridová keramika	33
3.3.4	Sialonová keramika.....	33
3.3.5	Whiskerová keramika	34
3.4	Srovnání sortimentu vybraných nejvýznamnějších producentů řezných nástrojů z řezné keramiky	37
	Závěr	39
	Seznam použitých zdrojů.....	40
	Seznam obrázků a tabulek	42
	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	43

Úvod

Obrábění v současné době zůstává i nadále nejčastějším způsobem výroby součástí. Mezi další způsoby výroby součástí patří například odlévání, které je také zvlášť v poslední době velmi často využívané při výrobě, ale po odlévání následuje vždy obrábění, proto si obrábění udržuje své prvenství, dalším způsobem může být tažení, protlačování nebo protahování. Obrábění je proces, při kterém dochází k opracování polotovaru řezným nástrojem tak, aby výsledná součást měla své předepsané rozměry, tvar a kvalitu obrobené plochy. Přebytný materiál je odváděn ve formě třísky. Nástroj je vyroben z řezného materiálu, který má své specifické vlastnosti.

Vlastnosti materiálu se rozlišují z hlediska mechanického, chemického, fyzikálního a tepelného. Mezi mechanické vlastnosti patří například tvrdost, pevnost a houževnatost, chemickými vlastnostmi jsou inertnost a stálost, fyzikální vlastnosti jsou měrná hmotnost a velikost zrna a mezi tepelné vlastnosti patří tepelná vodivost a délková roztažnost. Řezný materiál musí být vhodnou kombinací těchto vlastností tak, aby nástroj odolával vysokým požadavkům na obrábění a měl pokud možno co nejvyšší trvanlivost. Mezi řezné materiály patří nástrojové oceli, slinuté karbidy, cermety, řezná keramika a supertvrdé materiály.

Řezná keramika se z hlediska řezného nástroje vyznačuje svou vysokou tvrdostí a nízkou tepelnou vodivostí, mezi její nevýhody patří nízká houževnatost. V minulosti se obtížně hledalo její uplatnění, protože její celkové vlastnosti nebyli příliš příznivé, to se změnilo díky intenzivnímu výzkumu a vývoji před několika lety, což mělo za následek zlepšení jejich vlastností a rozšíření oblasti použití.

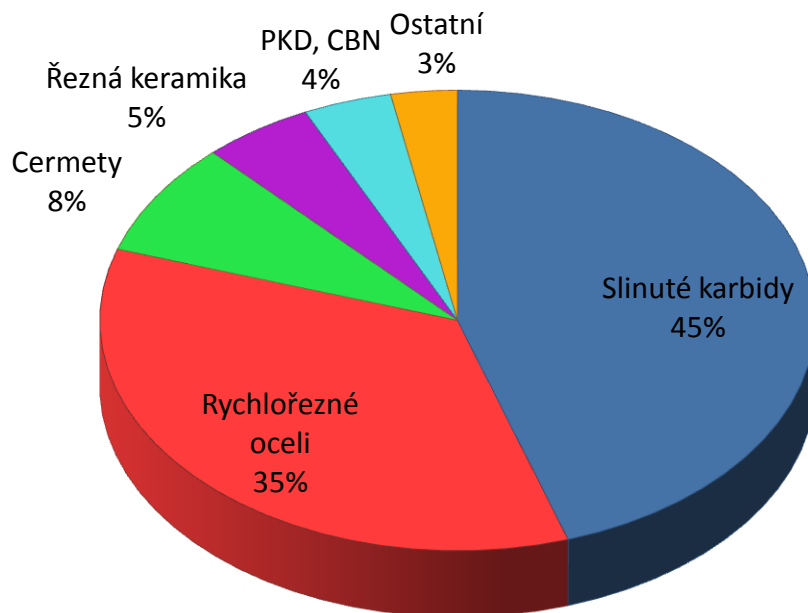
V současnosti nabízejí výrobci ve svém sortimentu široké zastoupení všech řezných materiálů včetně povlakovaných i nepovlakovaných.

1 ZÁKLADNÍ DĚLENÍ MATERIÁLŮ PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE

Řezné materiály ovlivňují kvalitu výroby, produktivitu a výrobní náklady. Na tyto materiály jsou kladeny určité požadavky, jako je například pevnost a tvrdost, odolnost proti opotřebení, chemická stálost, houževnatost a pevnost v ohybu. Materiály pro řezné nástroje se dělí do několika skupin: [17]

- Nástrojové oceli
- Slinuté karbidy
- Cermety
- Supertvrde řezné materiály
- Řezná keramika

Světová produkce materiálů pro řezné nástroje je zobrazena na obrázku 1.1.



Obr. 1.1 Světová produkce řezných materiálů [21]

1.1 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli se svým chemickým složením řadí mezi oceli ušlechtilé a dělí se na oceli uhlíkové (nelegované), slitinové (legované) a rychlořezné. Dle normy ČSN 42 0002:1976 se nástrojové oceli označují třídou 19. Značení ocelí třídy 19 je uvedeno v tabulce 1.1. [22]

1.1.1 Nelegované oceli

Nelegované oceli obsahují převážně uhlík (0,5 až 1,35 %) a případně malé procento manganu (Mn). Výsledná tvrdost nelegovaných ocelí závisí na obsahu uhlíku. V současné době se tyto oceli nepoužívají na výrobu řezných nástrojů určených ke strojnímu obrábění. Důvodem je jejich nižší tvrdost a ztráta vlastností za zvýšených

teplot, už okolo 200 °C. Proto se tyto oceli používají k výrobě ručních nástrojů, jako jsou například pilníky, závitníky, vrtáky a nástroje na dřevo. [22]

1.1.2 Legované oceli

Legované oceli obsahují 0,8 až 1,2 % uhlíku a další legující prvky jako je nikl, mangan, molybden, křemík, wolfram a chrom v obsahu okolo 1 %. Tvrdost těchto ocelí je vyšší než u nelegovaných ocelí, také jejich odolnost proti opotřebení a prokalitelnost je lepší. Své vlastnosti si udrží až za dvojnásobných teplot než nelegované oceli, mají vyšší houževnatost a jemnější strukturu. Používají se na závitové nástroje, tvrdé pilníky a řezné nástroje s malými břity. [22]

1.1.3 Rychlořezné oceli

Rychlořezné oceli jsou v podstatě slitinové oceli s vysokým obsahem legujících prvků jako je wolfram, molybden, kobalt, chrom a vanad. Tyto oceli mohou mít vysokou tvrdost po zakalení 62 až 68 HRC. Svoji tvrdost si zachovávají do teplot 600 až 650 °C. Rychlořezné oceli se, podle obsahu jednotlivých legujících prvků, rozdělují do tří skupin – rychlořezné oceli vysoce výkonné, rychlořezné oceli výkonné a rychlořezné oceli pro běžné výkony. Rychlořezné oceli jsou nejpoužívanější oceli pro výrobu řezných nástrojů, jsou vhodné pro obrábění při vyšších výkonech. Používají se na závitorezné nástroje, vrtáky, frézy a výstružníky. [22]

Tab. 1.1 Dělení nástrojových ocelí dle normy ČSN 42 0002:1976 [11]

Základní značení	Význam třetí číslice v základní značce oceli	
19 0xx	Nelegované oceli	Dvojcísli 3. a 4. číslice v základní značce vyjadřuje obsah uhlíku.
19 1xx		
19 2xx		
19 3xx	Legované oceli	Oceli manganové, křemíkové, vanadové
19 4xx		Oceli chromové
19 5xx		Oceli chrommolybdenové
19 6xx		Oceli niklové
19 7xx		Oceli wolframové
19 8xx		Oceli rychlořezné

1.2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy jsou vyráběny práškovou metalurgií a jejich struktura je tvořena dvěma základními strukturními složkami a to karbidy vysoce tavitelných kovů, jako je wolfram, titan a dále kovovým pojivem, kterým je nejčastěji kobalt. Pro zlepšení vlastností se používají přísadové karbidy a to karbid tantalu a niobu. Podstata výroby spočívá v promísení prášku karbidů a prášku pojivého kovu, následuje důkladné promísení směsi, tak aby karbidy byly v pojivém kovu rozmístěny homogenně. Samotné spojení směsi se provádí pomocí procesu slinování. Slinování je proces, při kterém je rozhodujícím faktorem teplota a čas. Při tomto procesu dochází ke spojení strukturních složek pomocí difúze. Slinuté karbidy mají vysokou tvrdost (88 až 95 HRA), kterou si zachovávají do teplot 700 až 1000 °C, mezi jejich další vlastnosti patří malá tepelná roztažnost a vysoká odolnost proti opotřebení. [6][22]

1.2.1 Nepovlakované slinuté karbidy

Nepovlakované slinuté karbidy jsou v dnešní době často nahrazovány povlakovanými, jejich výroba tvoří jen malou část celkové výroby slinutých karbidů. Podle použití je můžeme rozdělit do šesti skupin: [17]

- | | |
|------------------|---|
| <u>Skupina P</u> | <ul style="list-style-type: none">• je označována modrou barvou• je určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku (uhlíkové oceli, slitinové oceli a feritické korozivzdorné oceli) |
| <u>Skupina M</u> | <ul style="list-style-type: none">• převládají vysoké řezné síly a značné opotřebení na čele• je označována žlutou barvou• má univerzální použití a je určena pro materiály, které tvoří dlouho a střední třísku (lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny)• řezné síly dosahují středních až vysokých hodnot, dochází k vydrolování ostří |
| <u>Skupina K</u> | <ul style="list-style-type: none">• je označována červenou barvou• je určena pro obrábění materiálů, které vytvářejí krátkou, drobi-vou třísku (šedé litiny, nezelezné slitiny a nekovové materiály)• převládá abrazní a adhezní opotřebení |
| <u>Skupina N</u> | <ul style="list-style-type: none">• je označována zelenou barvou• je určena k obrábění materiálů z nezelezných kovů, zejména hliníku a dalších nezelezných kovů, jejich slitin a dalších nekovových materiálů |
| <u>Skupina S</u> | <ul style="list-style-type: none">• je označována hnědou barvou• používá se na obrábění tepelně odolných slitin na bázi železa, niklu, kobaltu, titanu a jeho slitin |
| <u>Skupina H</u> | <ul style="list-style-type: none">• je označována tmavě šedou barvou• je vhodná na obrábění kalených a vysoce tvrdých ocelí, tvrzených a kalených litin |

1.2.2 Povlakované slinuté karbidy

Povlakované slinuté karbidy tvoří slinutý karbid (který slouží jako podkladový materiál), na který se nanáší tenká vrstva vysoce odolného materiálu. Povlak je tvořen karbidy, nitridy a popřípadě oxidy nebo boridy, jako jsou například karbid titanu (TiC), nitrid titanu (TiN), karbonitrid titanu (TiCN) a oxid hlinitý (Al₂O₃). Tyto materiály mají vysokou tvrdost, velmi dobrou odolnost proti opotřebení, odolnost proti difúznímu a adheznímu opotřebení. Nanáší se jako jednovrstvé nebo vícevrstvé povlaky. Hlavním důvodem používání povlakovaných materiálů je zvýšení trvanlivosti nástroje a zvýšení produktivity výroby vlivem zvýšení řezných rychlostí. [6][22]

V současné době existuje několik druhů metod nanášení povlaků, mezi nejzákladnější patří metoda PVD (Physical Vapour Deposition) a CVD (Chemical Vapour Deposition), od nich se potom odvíjejí další metody, jako je metoda MTCVD (Medium Temperature Chemical Vapour Deposition) a PACVD (Plasma Chemical Vapour Deposition). [6]

1.2.2.1 Metoda PVD

Povlaky typu PVD jsou vytvářeny pomocí fyzikálních metod, jako je napařování, napařování nebo iontová implantace. Princip metody spočívá v nanášení částic povlakovacího materiálu na podkladový materiál (slinutý karbid, cermet a další). Částice jsou uvolňovány ze zdroje a ionizovány inertním a reaktivním plynem (Ar a N₂), který tvoří atmosféru komory. Částice nanesené na podkladový materiál vytvářejí tenkou vrstvu homogenního povlaku. [6]

Mezi nevýhody nanášení povlaků metodou PVD patří složitý vakuový systém a nutnost pohybovat povlakovaným předmětem, tak aby bylo zaručeno rovnoměrné nanášení povlaku po celém povrchu předmětu. Výhody spočívají v možnosti povlakovat ostré hrany. [6] Princip povlakování metodou PVD je na obrázku 1.2.

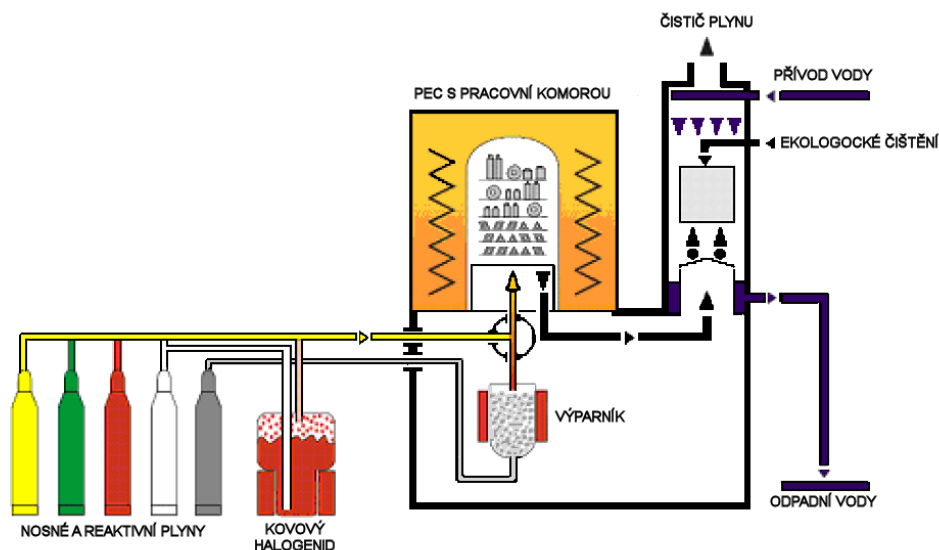


Obr. 1.2 Schéma povlakovacího zařízení metodou PVD [19]

1.2.2.2 Metoda CVD

Povlaky typu CVD jsou vytvářeny pomocí chemických reakcí. Povlak je nanášen na podkladový materiál pomocí chemické reakce mezi podkladovým materiálem a plynné chemické sloučeniny v plazmě, která vyplňuje prostor povlakovací komory. [6]

Mezi nevýhody metody CVD patří vysoké pracovní teploty (Mohou mít nepříznivý vliv na vlastnosti a strukturu povlakovaného předmětu i povlaku), nelze povlakovat ostré hrany, dlouhá doba povlakování a vznik tahových napětí uvnitř povlaku. Hlavní výhody jsou vynikající adheze k podkladovému materiálu, rovnoměrná tloušťka vrstvy povlaku, vysoká teplotní stabilita a možnost povlakovat i složité tvary předmětů. [6] Princip povlakování metodou CVD a schéma zařízení lze vidět na obrázku 1.3.



Obr. 1.3 Schéma povlakovacího zařízení metodou CVD [19]

1.3 Cermety

Cermety jsou stejně jako slinuté karbidy vyráběny práškovou metalurgií a jsou tvořeny tvrdou fází karbidů (TiC, WC), nitridů (TiN) popřípadě karbonitridů (TiCN) a kovovým pojivem, kterým může být kobal (Co) nebo nikl (Ni). Hlavní výhodou cermetů je jejich cenová dostupnost, protože obsahují velmi malé nebo žádné množství WC, který je drahým prvkem. Stejně jako u slinutých karbidů mohou být cermety povlakovány. Mezi hlavní výhody cermetů patří vysoká tvrdost vlivem obsahu tvrdé fáze, vysoká odolnost proti opotřebení, dobrá chemická stabilita a menší difúzní opotřebení proti slinutým karbidům. [22]

1.4 Supertvrdé řezné materiály

Tyto materiály se vyznačují především svou vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebení. Prakticky se do této skupiny řadí pouze dva dosud známé řezné materiály, kterými jsou synteticky vyráběný kubický nitrid boru (CBN) a polykrystalický diamant (PKD). V důsledku vynikajících mechanických vlastností a vysoké ceny se tyto materiály používají pouze pro speciální a opodstatněné aplikace. [6][17]

1.4.1 Syntetický diamant (PKD)

Jedná se o dosud známý nejtvrdší řezný materiál. Syntetický diamant je vyráběn průmyslově za působení vysokých tlaků a teplot. Svou tvrdostí (9000 HV) se syntetický diamant přibližuje tvrdosti přírodního diamantu (10000 HV). Diamant má nízkou teplotní stálost, pokud pracovní teplota v průběhu obrábění překročí teplotu 650 °C, pak dochází k přeměně diamantu na grafit. Další nevýhodou je neumožnění obrábění oceli a litin na bázi železa, kdy dochází k difuzi mezi obráběným materiálem a nástrojem. Naopak širokou oblast použití nalézá diamant při obrábění hliníkových slitin, slitin mědi (bronz, mosaz) a titanu, keramiky a grafitu. [6][17]

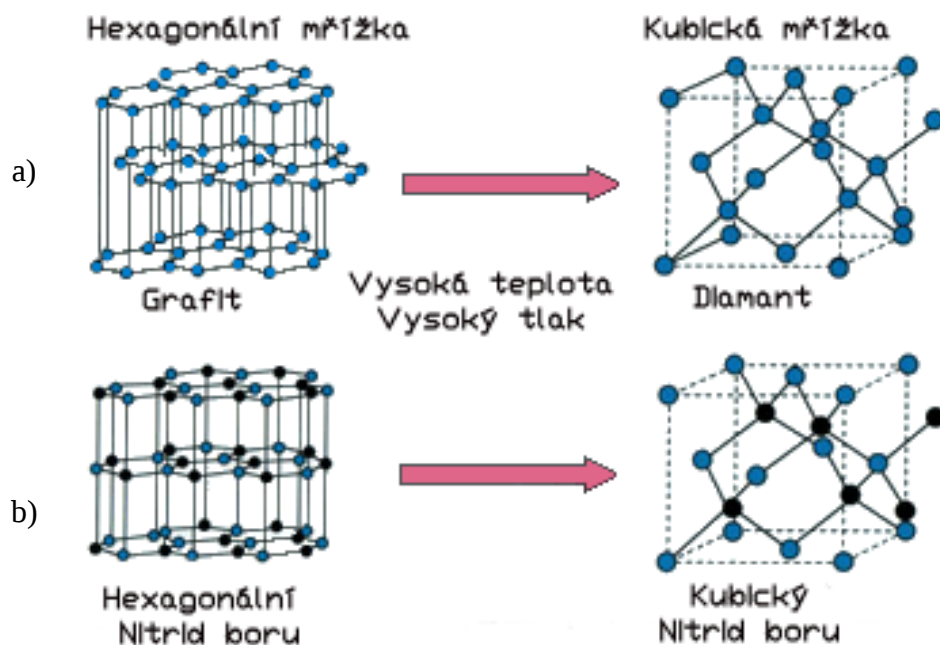
Princip výroby syntetického diamantu: Vyrábí se z grafitu a princip výroby spočívá v přeměně hexagonální mřížky grafitu na kubickou mřížku diamantu (Obr. 1.4). Tato krystalizace probíhá za vysokých teplot a tlaků a také za malého množství katalyzátorů, které umožňují krystalizaci uhlíku ve formě diamantu a rozpouštějí grafitický uhlík. Mezi katalyzátory se řadí přechodové kovy (Cr, Mn, Fe, Co, Ni) nebo jejich slití-

ny (Fe-Ni, Mn-Ni), případně sloučeniny (Fe_3N). Mimo kovové katalyzátory se také přidávají nekovové sloučeniny (uhličitany, sulfáty a hydroxidy). [6]

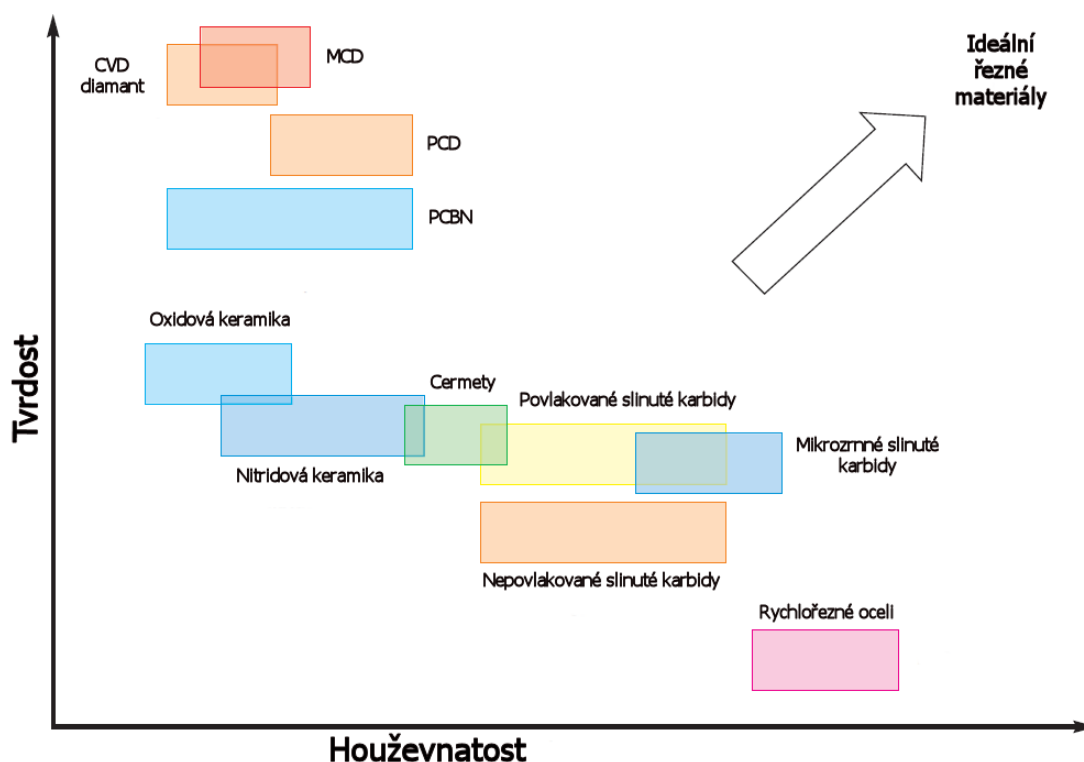
1.4.2 Polykrystalický kubický nitrid boru (CBN)

Kubický nitrid boru se skládá ze dvou základních prvků, kterým je bor (B) a dusík (N). Atomy těchto prvků jsou společně vázány kovalentní vazbou. Tvrdost je nižší než u syntetického diamantu, dále má mnohem nižší tepelnou vodivost a vyšší součinitel délkové roztažnosti. Teplotní stálost je výrazně vyšší než u diamantu (okolo $1400\text{ }^\circ\text{C}$), díky tomu umožňuje obrábění ocelí a litin. [17]

Princip výroby polykrystalického kubického nitridu boru: Nitrid boru se svými vlastnostmi podobá grafitu. Jeho hexagonální struktura způsobuje, že je měkkým materiálem (vhodný jako mazací materiál). Kubický nitrid boru je vyráběn krystalizací hexagonální struktury nitridu boru na strukturu kubickou za přítomnosti vysokých teplot a tlaků (Obr. 1.4). [6]



Obr. 1.4 Přeměna hexagonální mřížky na kubickou a) grafitu na syntetický diamant b) nitridu boru na polykrystalický kubický nitrid boru [5]



Obr. 1.5 Srovnání mechanických vlastností řezných materiálů [9]

2 ŘEZNÁ KERAMIKA

Keramika jako řezný materiál se používá již dlouhá staletí, v případě řezné keramiky se jedná o krystalický materiál, který se skládá ze sloučenin anorganického původu, které nemají kovový charakter. Mezi keramické materiály se zahrnují tradiční keramiky (porcelán, keramika, cihly), dále brousící materiály a mnoho jiných keramických látek a sloučenin. Podle typu prvku, který se váže na keramickou sloučeninu. Rozeznáváme několik druhů řezných keramik, jako jsou oxidové keramiky (Al_2O_3 , ZrO_2 , MgO), ve kterých je důležitým prvkem oxid, dále jsou to nitridové keramiky, ve kterých je důležitým prvkem nitrid. Dalšími druhy řezné keramiky jsou ferity, nitridy (na bázi Si, B, Al), karbidy (na bázi Si a B) a boridy (na bázi Ti). [6]

Důležitou součástí výroby řezné keramiky je použití vysoce čistých výchozích surovin a také chemikálií, jako je syntetická keramika. Atomy keramických řezných materiálů mezi sebou navazují kovalentní a iontové vazby. Tyto vazby jsou důležitou součástí vzniku kubické nebo hexagonální mřížky, která je důležitá pro vlastnosti řezných keramik. [6]

2.1 Historie

Historie použití keramiky sahá až do doby kamenné, kde se používali převážně keramické materiály pro broušení a ostření v té době jednoduchých nožů, břitův a dalších řezných nástrojů. V této době neexistovala žádná složitá technologie výroby, proto se používal pískovec, který obsahoval mikroskopické břity SiO_2 . Tyto břity sloužili v materiálu jako tvrdá fáze. Následovala dlouhá doba poznávání a vývoje tohoto materiálu. První oxidová keramika, použitelná pro výrobu řezných nástrojů, v podobě jako je známa dnes byla poprvé předmětem diskutování v roce 1905 v Německu. Teprve v průběhu

2. světové války se v průmyslovém odvětví začala používat oxidová keramika (Al_2O_3), kterou vyvinula německá firma Degussa. Roku 1960 byla uvedena na trh sériová výroba keramických vyměnitelných břitových destiček, které byly určeny pro obrábění litin, firmou Feldmühle AG (v dnešní době známá pod názvem CeramTec AG). [6]

V průběhu dalších let se vývoj keramických řezných materiálů rozdělil na dva světové kontinenty a to konkrétně do USA a bývalého Sovětského svazu. V USA došlo k umístění keramických řezných materiálů na trh o něco později než v Evropě a to v roce 1954. Mezi jednoho z prvních výrobců řezné keramiky v USA se řadí automobilka Ford, která v té době nezaměřovala svou výrobu pouze na automobily. [6]

Česká republika nezůstala oproti jiným státům ve výrobě a vývoji keramických materiálů pozadu. Mezi ústavy, které se věnovaly vývoji keramických materiálů, se zařadily Výzkumný ústav minerálů v Turnově a Výzkumný ústav elektrotechnické keramiky v Hradci Králové. Výzkumným ústavem v Turnově byly v roce 1954 vyrobeny první břitové destičky z keramického materiálu na území České republiky. V 70. letech 20. století se na výzkumu aplikací keramických řezných materiálů podílel Výzkumný ústav elektrotechnické keramiky v Hradci Králové a DIAS Turnov. Výsledkem spolupráce těchto dvou pracovišť bylo zahájení výroby vyměnitelných břitových destiček z oxidové keramiky (Al_2O_3). [6] Historický vývoj keramických materiálů na bázi Al_2O_3 je uveden v tabulce 2.1.

Tab. 2.1 Historický vývoj keramických materiálů na bázi Al_2O_3 [6]

Charakteristika	Rok	Pevnost v ohybu [MPa]
Al_2O_3 pro formy a nástroje	1912 až 1913	150 až 250
Slinutý Al_2O_3	1930 až 1931	200 až 350
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3$	1937 až 1938	300 až 400
Vysokoteplotně lisovaný Al_2O_3	1944 až 1945	500 až 700
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (0,5 až 1 %)	1948 až 1951	300 až 500
$\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Mo}_2\text{C} - (\text{Mo})$	1951 až 1959	350 až 450
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ti}, \text{TiC}, \text{TiC}/\text{WC}$	1955 až 1958	300 až 350
Submikrometrový Al_2O_3	1968 až 1970	700 až 900
Vysokoteplotně lisovaný $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}/\text{Ni}$		800 až 1000
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	1970 až 1980	
Vysokoteplotně lisovaný $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiCw}$ (20 až 30 obj. %)	1980	

2.2 Rozdělení řezné keramiky

V současné době pro řeznou keramiku neexistuje žádná platná norma, která by jasně udávala systém značení a dělení řezné keramiky podle druhu použitého materiálu. Všeobecně je přijímáno dělení do čtyř základních skupin podle typu keramiky. [6] Systém dělení a značení řezné keramiky je uveden v tabulce 2.2.

Tab. 2.2 Systém dělení a značení řezné keramiky [6]

Symbol	Typ keramiky		Složení
CA		• Čistá	Čistý Al_2O_3
		• Polosměsná	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$
			$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$
CM	Oxidová keramika	• Směsná	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$
			$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ti}(\text{C},\text{N})$
			$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$
			$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{TiN}$

Tab. 2.2 Systém dělení a značení řezné keramiky - pokračování [6]

Symbol	Typ keramiky	Složení
CN	Nitridová keramika	Si_3N_4
		$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$
		$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN}$
		Sialony
CC	Keramika vyztužená vlákny, whiskery SiC nebo Si_3N_4 a opatřená oteruvzdor- nými CVD nebo PVD povlaky	

2.3 Výroba řezné keramiky

Výroba kompaktních těles z řezné keramiky se podobně jako u slinutých karbidů a cermetů provádí z výchozího materiálu, který má podobu prášku. Vlastní výrobní proces se však trochu liší a to především z důvodu, že keramické materiály neobsahují žádný prvek, který by plnil funkci pojiva, proto se v průběhu slinovacího procesu přidávají vhodné přísady, které tvoří kapalnou fázi. Podle druhu keramiky je také nutné vhodně upravit výrobní proces. [6]

2.3.1 Oxidová keramika

Pro výrobu oxidové keramiky je velmi důležitý oxid hlinitý (Al_2O_3), který je základní surovinou a je potřeba, aby se vyskytoval v čisté a jemnozrnné podobě. Společně s oxidem hlinitým se do směsi přidává i menší množství přísad, které mají za účel usnadnit slinovací proces a zabránit růstu zrna. Po promíchání a semletí vzniká směs, která se dále vysuší pomocí rozprašování, čímž vznikne výchozí prášek pro další postup výroby. Dalším výrobním procesem je lisování výchozího prášku na požadovaný tvar (nejčastěji vyměnitelná břitová destička). Požadovaný tvar může obsahovat i jednoduché předlisované utvařeče. Samotný lisovací proces se zpravidla provádí oboustranně, kvůli lepšímu zhutnění lisované směsi (při lisování dochází k největšímu zhutnění na povrchu lisovaného tělesa v místě styku tělesa s lisem). Následuje slinovací proces, při kterém dochází ke spojení jednotlivých fází obsažených ve směsi. Výsledná struktura řezné keramiky je výrazně ovlivněna teplotou a dobou slinování. Pro dosažení lepších mechanických vlastností lze použít metodu HIP (Hot Isostatic Pressing). Při použití této metody je těleso lisováno pomocí tlaku plynu (argon nebo helium [8]), který působí na těleso ve všech směrech rovnoměrně. [6]

2.3.2 Nitridová keramika

Keramické řezné materiály na bázi nitridů (jako je Si_3N_4) jsou používány i pro strukturální aplikace. Důvodem jsou její fyzikální a mechanické vlastnosti jako je vysoká tvrdost, odolnost proti opotřebení a odolnost vůči creepu. [16]

Postup přípravy výchozího prášku nitridové keramiky je stejný jako v případě oxidové keramiky. Slinovací proces za atmosférického tlaku je však o něco složitější. Atomy nitridové keramiky jsou vázány převážně kovalentní vazbou, která omezuje difuzi a snižuje teplotu rozkladu (1839°C). Při dosažení potřebné teploty pro dostatečnou difuzi dochází k rozkladu keramiky, to protože teplota potřebná k dostatečné difuzi je mnohem vyšší než teplota rozkladu. Proto se do směsi před slinováním přidávají různé oxidy kovů, které společně s nitridem křemíku utvářejí tekutou fázi. Dle způsobu výroby kompaktního tělesa rozlišujeme druhy nitridové keramiky (Si_3N_4): [6]

- Reaktivně vázaný nitrid křemíku (RBSN)
- Slinutý nitrid křemíku (SSN)
- Nitrid křemíku lisovaný za vysokých teplot (HPSN)
- Nitrid křemíku vyrobený metodou HIP – při výrobě břitových destiček nejčastěji používaná metoda

2.3.2.1 Reaktivně vázaný nitrid křemíku

(RBSN – Reaction Bonded Silicon Nitride)

Výroba reaktivně vázaného nitridu křemíku spočívá v reakci práškového křemíku (tzv. nitridace) v rozmezí teplot 1200 až 1600 °C. Produktem této metody je vysoce čistý Si_3N_4 s obsahem Si, který vzniká vlivem nedokonalé reakce mezi křemíkem a dusíkem. Výsledná struktura obsahuje zrna $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ a malé množství $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$. Výhoda použití této metody spočívá ve výrobě libovolného tvaru tělesa, u kterého dochází k velmi malé změně rozměrů v průběhu slinovacího procesu. [6]

2.3.2.2 Slinutý nitrid křemíku

(SSN – Sintered Silicon Nitride)

Princip výroby při použití této metody spočívá ve slinování nitridu křemíku s obsahem zhutňovacích přísad v rozmezí teplot 1600 až 1800 °C v atmosféře dusíku pod tlakem. V současné době se jako zhutňovací přísady používají oxidy prvků vzácných zemin. Mezi výhody použití této metody patří možnost použití metody beztlakového slinování, díky čemuž můžeme vyrábět tělesa libovolného tvaru. Mezi nevýhody můžeme zařadit zhoršení mechanických vlastností při vyšších teplotách, které se projevují použitím zhutňovacích přísad. [6]

2.3.2.3 Nitrid křemíku lisovaný za vysokých teplot

(HPSN – Hot Pressed Silicon Nitride)

Výroba touto metodou probíhá žárovým lisováním nitridového prášku (Si_3N_4), to znamená, že lisovací forma je ohřívána na slinovací teplotu, většinou pomocí odporové pece. Lisování probíhá v dusíkové atmosféře při teplotách 1550 až 1900 °C a vysokém tlaku 15 až 50 MPa. Před lisováním se do směsi přidávají zhutňující přísady. Výchozí prášek obsahuje zrna $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$, zatímco těleso vyrobené touto metodou obsahuje $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$. Nevýhodou oproti výše uvedeným metodám je tvar výrobku, který nemůže být libovolný. [6]

2.3.2.4 Nitrid křemíku vyrobený metodou HIP

(HIP – Hot Isostatic Pressing)

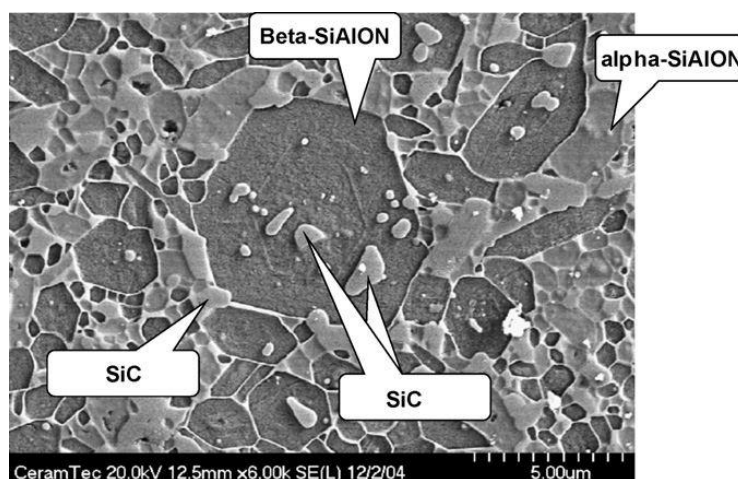
Výroba pomocí metody HIP je technologicky a energeticky vysoce náročná. Slinované těleso je umístěno do zařízení HIP a slinováno při vysoké teplotě a tlaku plynu (až 200 MPa), který zaručuje vytvoření rovnoměrného tlaku na celý povrch tělesa. Jako slinovací plyn pro metodu HIP se používá argon nebo dusík. [6]

Vlivem vysokého tlaku plynu není při výrobě potřeba použít takové množství přísad jako v předchozích metodách, což má pozitivní vliv na výslednou strukturu a mechanické vlastnosti vyrobeného tělesa. Vysoký tlak plynu také napomáhá odstranění různých strukturních defektů (uzavírá trhliny a póry). Před samotným umístěním tělesa do zařízení pro metodu HIP je těleso obaleno v neprodyšném obalu. Jako obal se používá sklo, skleněné nebo keramické prášky, které zabrání proniknutí plynu do pórů.

Těleso je od obalu odděleno vrstvou inertního prášku (nitrid boru). Po ukončení výroby se obal musí odstranit pomocí chemické nebo mechanické metody (pískování). [6]

2.3.3 Sialon

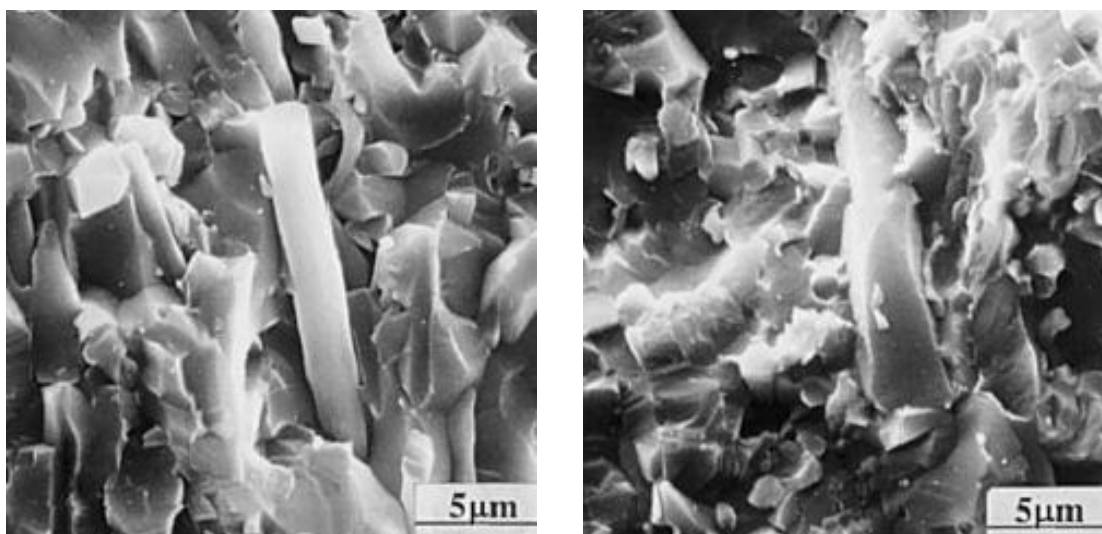
Mikrostruktura sialonu je tvořena jehlicovitými β -SiAlON zrn, kulovitými α -SiAlON zrn a částicemi SiC, které jsou umístěny na hranicích zrn a také uvnitř β -SiAlON zrn. Čím více částic SiC sialon obsahuje, tím je jeho struktura jemnější. [18] Mikrostruktura sialonu je znázorněna na obrázku 2.1.



Obr. 2.1 Mikrostruktura sialonu [18]

2.3.4 Keramika vyztužená vlákny whiskerů

Přidáním SiC whiskerů do keramické matrice dochází ke zlepšení její lomové houževnatosti a pevnosti v ohybu. [20] Vlákna whiskery mají malý průměr do několika μm a délku až několik mm. Struktura whiskerů se vyznačuje nízkou koncentrací defektů, což vede k velké pevnosti této řezné keramiky. [12] Mikrostruktura keramiky vyztužené vlákny whiskerů je znázorněna na obrázku 2.2.



Obr. 2.2 Mikrostruktura keramiky vyztužené vlákny whiskerů, která je tvořena z Al_2O_3 a 20 obj. % SiC. [16]

2.4 Struktura a vlastnosti

Řezná keramika je materiál, který má krystalickou strukturu. Struktura se skládá ze zrn velmi malých rozměrů (pod $1\mu\text{m}$), ve kterých se vyskytují strukturní defekty (vměstky, vakance) a nehomogenní složení. [6] Mezi charakteristické vlastnosti řezné keramiky patří vysoká tvrdost, vysoká tepelná odolnost (vyšší než $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$), dále dobrá chemická inertnost, nízká elektrická vodivost a vysoká odolnost proti korozi. [7]

Výsledné mechanické vlastnosti řezné keramiky jsou ovlivněny především strukturou. Proti kovovým materiálům mají keramické materiály výrazně složitější strukturu. Hlavními faktory, které ovlivňují strukturu, je druh chemické vazby (u keramik je to převážně kovalentní nebo iontová), uspořádání částic a velikost výskytu pórů a trhlin. [6] Vlastnosti některých řezných keramik jsou uvedeny v tabulce 2.1.

Tab. 2.3 Vlastnosti některých řezných keramik [6]

Materiál	Tvrdost [GPa]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Lomová houžev- natost [MPa*m ^{-1/2}]	Součinitel dél- kové roztažnosti [10 ⁻⁶ *K ⁻¹]	Měrná tepelná vodivost [W*m ⁻¹ *K ⁻¹]
Al ₂ O ₃	17,2	400	4,3	8,0	10,5
Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	16,5	390	6,5	8,5	8,0
Al ₂ O ₃ +TiC	20,6	420	4,5		13,0
Sialon	15,6	300	6,5	3,1	9,7

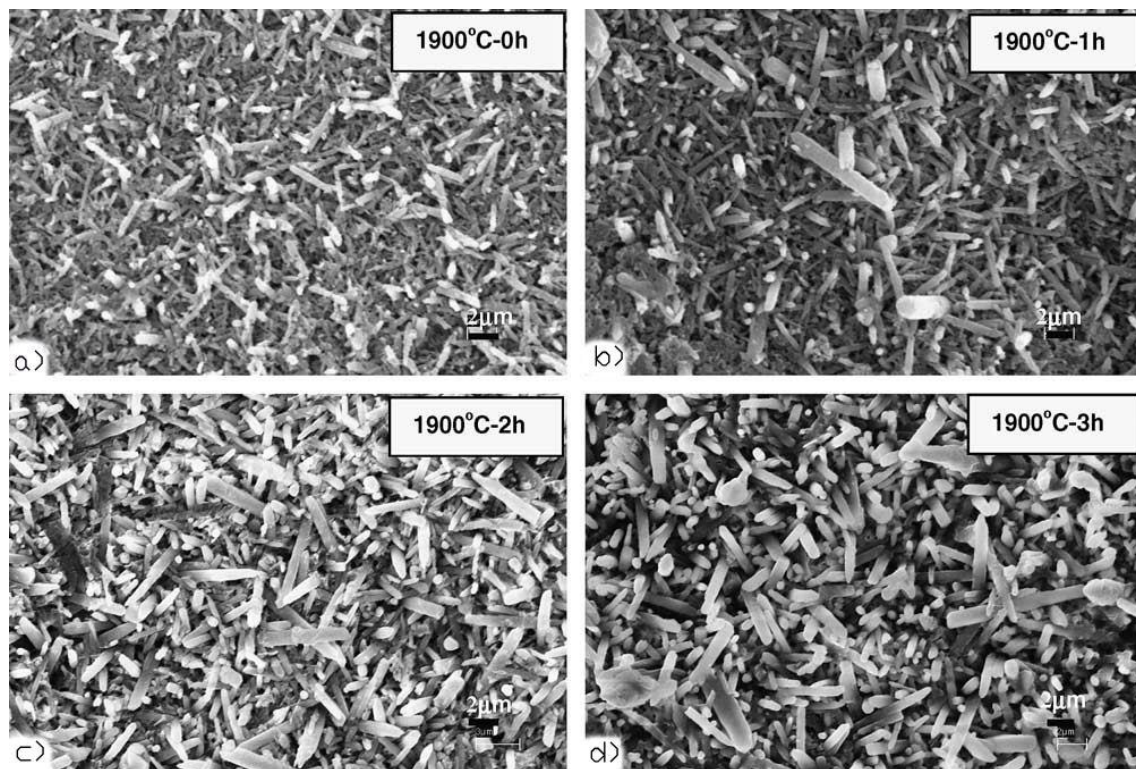
Dalším faktorem, který ovlivňuje výslednou strukturu a vlastnosti řezné keramiky je doba výdrže na teplotě při slinování. V tabulce 2.2 jsou uvedeny slinovací podmínky nitridové keramiky (Si₃N₄), jejíž výchozí prášek obsahoval stejné množství strukturních složek. Na obrázku 2.3 je vidět struktura jednotlivých vzorků nitridové keramiky po slinování.

Tab. 2.4 Mikrostrukturní charakteristiky rozdílné izotermické výdrže v průběhu slinování [9]

Slinovací podmínky [°C]; [hod]	Rozdělení velikosti zrna [%]				Střední velikost zrna [μm]	Počet zrn na 100 μm^2
	D < 2 μm	2 ≤ D < 4 μm	4 ≤ D < 6 μm	D ≤ 6 μm		
1900; 0	68,63	19,69	11,76	—	0,93	126
1900; 0,5	50,98	25,49	23,53	—	1,39	119
1900; 1	9,76	65,85	21,95	2,5	2,08	95
1900; 2	—	52,63	35,09	12,28	2,76	70
1900; 3	—	43,14	41,18	15,68	3,44	59

Jak je vidět v tabulce 2.2 se zvyšující se dobou slinování roste velikost zrna obsaženého ve struktuře. Nárůst velikosti zrn zlepšuje lomovou houževnatost. Z analýzy vzorků bylo zjištěno, že se zvyšující se dobou slinovacího procesu roste fáze $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$, což potvrzuje i obrázek 2.3 ($\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ vytváří strukturu s protaženými krystaly β -fáze).

Mikrotvrдость Si_3N_4 je přímo úměrná několika faktorům, kterými jsou obsah β -fáze, jednotlivé přísady a pórovitost. Analýzou výsledků se ukázalo, že vyšší doba výdrže při slinování výrazně neovlivňuje mikrotvrдость. Lomová houževnatost slinutých vzorků v závislosti na izotermické výdrži prokázala, že zvýšení lomové houževnatosti lze přičíst několika faktorům, jako je zvýšení relativní hustoty a hlavně mikrostruktura (růst zrna). [9]



Obr. 2.3 Mikrostruktura nitridové keramiky a) slinování při 1900 °C po 0 hod. b) slinování při 1900 °C po 1 hod. c) slinování při 1900 °C po 2 hod. d) slinování při 1900 °C po 3 hod. [9]

3 ŘEZNÁ KERAMIKA V SORTIMENTU VÝROBY NEJ-VÝZNAMNĚJŠÍCH SVĚTOVÝCH PRODUCENTU NÁ-STROJŮ A NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ

3.1 CeramTec



Obr. 3.1 Logo firmy CeramTec [3]

Společnost CeramTec je německou firmou s dlouholetou tradicí a současné době patří mezi přední světové výrobce technické keramiky. Specializací této firmy je vývoj, výroba a distribuce součástí, dílů a produktů vyrobených z keramických materiálů. Produkty této firmy nenacházejí uplatnění pouze jako řezné materiály, ale používají se v mnoha odvětvích, jako je automobilový průmysl, elektronika, energetika, zdravotnictví a další. V současné době se výrobní závody nachází na několika kontinentech (Evropa, Amerika a Asie), společnost CeramTec je výrobcem a dodavatelem s celosvětovou působností. [3][4]

Sortiment společnosti CeramTec: [1]

3.1.1 Oxidová keramika

Hlavními rysy této keramiky je pevnost a odolnost proti opotřebení.

SN60

- Aplikační rozsah dle ISO: K01-K10
- Tento druh materiálu je osvědčený díky jeho nejvyšší odolnosti proti opotřebení a pevnosti i za vyšších teplot. Materiál je vhodný pro suché obrábění materiálů spadajících do skupiny K (litina) nepřerušovaným řezem a pro zapichování bez přívodu chladicí kapaliny.

SN80

- Aplikační rozsah dle ISO: P01-P20
- Řezný materiál vhodný pro suché a hrubé soustružení, tvárné litiny nepřerušovaným řezem. Materiál má výbornou kombinaci vysoké houževnatosti a odolnosti proti opotřebení, čímž je ideálním materiálem pro vysoce výkonné soustružení litin.

3.1.2 Směsná oxidová keramika

Kompozitní keramický materiál skládající se z Al_2O_3 a TiC s vynikající odolností proti opotřebení i za vysokých teplot.

SH2

- Aplikační rozsah dle ISO: K01-K20
- Tento směsný keramický materiál nabízí rozšířené mechanické a teplotní vlastnosti vzhledem k jeho vysoce homogenní submikrometrové zrnité struktuře. Ob-

last použití tohoto řezného materiálu je v jemném soustružení oceli, tvrdé soustružení tvrzené litiny a kalené oceli a superfinišovací operace obrábění materiálu z litiny.

3.1.3 Nitridová keramika

Aplikační oblastí tohoto materiálu je vysokorychlostní obrábění, vrtání a frézování litin i za špatných obráběcích podmínek.

SL200

- Aplikační rozsah dle ISO: K20-K30
- Tento řezný materiál se vyznačuje svojí extrémní tvrdostí a dobrou odolností proti opotřebení. Materiál je vhodný pro obrábění litin často za nepříznivých řezných podmínek.

SL500

- Aplikační rozsah dle ISO: K10-K30
- Řezná keramika vyrobená z vysoce čistého výchozího materiálu, mezi její hlavní vlastnosti patří lomová houževnatost, výborná stabilita a tvrdost i za vysokých teplot. Materiál je vhodný pro obrábění litin, zejména pro hrubovací a dokončovací operace.

SL250

- Aplikační rozsah dle ISO: K10-K30
- Jedná se o nitridovou keramiku povlakovanou $\text{TiN-Al}_2\text{O}_3$ povlakem. Hlavní aplikační oblastí je soustružení tvárné litiny za obtížných řezných podmínek hladkým a přerušovaným řezem.

SL550C

- Aplikační rozsah dle ISO: K10-K30
- Nitridová keramika povlakovaná multivrstvým Al_2O_3 povlakem. Aplikační oblastí tohoto řezného materiálu je soustružení litin přerušovaným nebo nepřerušovaným řezem.

Tab. 3.1 Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti řezné keramiky společnosti CeramTec [1]

		Oxidová keramika		Směsná oxidová keramika	Nitridová keramika			
		SN60	SN80	SH2	SL200	SL500	SL250C	SL550C
Složení řezného materiálu		$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$		$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ti}(\text{C}, \text{N})$	Minimální zaručený obsah $\beta - \text{Si}_3\text{N}_4$			
					94 %	98 %	94 %	
							TiN+ Al_2O_3	Multivrstvý Al_2O_3
Třída materiálu	Ocel (P)		○					
	Litina (K)	●	●	●	●	●	●	●
	Tvrdé materiály (H)			●				
Typ obráběcího procesu	Soustružení	●	●	●	●	●	●	●
	Frézování			○	●	●		
	Vrtání	●		○				
Hustota [g/cm^3]		3,97	4,1	4,33	3,21	3,21	3,21	3,211
Velikost zrna [μm]		< 2	< 2	< 1				
Tvrдость podle Vickerse	HV10	2100	1900	2200	1600	1680		1700
	HV05				1700	1950	1700	1700
Lomová houževnatost [$\text{MPa m}^{1/2}$]		5,1	5,3	6,6	7,5	8,0	7,5	7,5
Pevnost v ohybu [MPa]		600	650	600	820	1100	820	820

● hlavní použití

○ další použití

Tab. 3.2 Doporučené řezné podmínky pro soustružení řeznou keramikou společnosti CeramTec [2]

Řezný materiál	Typ operace obrábění	Obráběný materiál	Tvrdost [HB]	Řezná rychlost v_c [m/min]		Šířka záběru ostří a_p [mm]	Posuv na otáčku f [mm]		
				Doporučená	Celkový rozsah		Doporučený	Celkový rozsah	
SN60	Dokončování nepřerušovaným řezem	Šedá litina	140 – 210	700	400 – 1200	0,3 – 1,0	0,3	0,2 – 0,6	
			220 – 240	550	300 - 800	0,3 – 1,0	0,3	0,2 – 0,6	
			250 - 280	350	150 - 450	0,3 – 1,0	0,3	0,2 – 0,6	
SN80	Hrubování nepřerušovaným řezem	Šedá litina	140 – 210	600	300 – 1000	$\geq 1,5$	0,4	0,25 – 0,5	
			220 – 240	500	200 – 800	$\geq 1,5$	0,4	0,25 – 0,5	
			250 - 280	300	100 - 400	$\geq 1,5$	0,4	0,25 – 0,5	
	Polo hrubování	Zušlechtěná ocel	600 – 1000	400	250 – 700	$\geq 1,5$	0,35	0,3 – 0,45	
			1000 - 1300	250	150 - 350	$\geq 1,5$	0,35	0,3 – 0,45	
		Kalená ocel	600 – 1000	400	250 – 700	$\geq 1,5$	0,35	0,3 – 0,45	
			1000 - 1300	250	150 - 350	$\geq 1,5$	0,35	0,3 – 0,45	
SH2	Dokončování	Šedá litina	140 – 210	800	400 – 1200	0,3 – 1,0	-	0,2 – 0,6	
			220 – 240	600	300 – 800	0,3 – 1,0	-	0,2 – 0,6	
			250 - 280	400	150 – 500	0,3 – 1,0	-	0,2 – 0,6	
		Tvárná litina	400 – 600	400	250 – 600	0,3 – 1,0	-	0,2 – 0,4	
			700	350	150 - 400	0,3 – 1,0	-	0,2 – 0,4	
	Super dokončování	Šedá litina	140 – 240	550	300 – 650	0,2 – 0,5	-	0,08 – 0,25	
			240 - 280	400	150 - 500	0,2 – 0,5	-	0,08 – 0,25	
			400 – 600	400	250 – 600	0,25 – 0,5	-	0,08 – 0,2	
		Tvárná litina	700	350	150 - 400	0,25 – 0,5	-	0,08 – 0,2	
SL500	Hrubování nepřerušovaným řezem	Šedá litina	140 – 210	800	300 – 1500	$\geq 1,5$	0,5	0,25 – 0,9	
			220 – 240	800	300 – 1200	$\geq 1,5$	0,5	0,25 – 0,9	
			250 - 280	800	300 - 1000	$\geq 1,5$	0,5	0,25 – 0,9	
	Hrubování přerušovaným řezem		140 – 210	800	300 – 1500	$\geq 1,5$	0,4	0,25 – 0,7	
			220 – 240	800	300 – 1200	$\geq 1,5$	0,4	0,25 – 0,7	
			250 - 280	800	300 - 1000	$\geq 1,5$	0,4	0,25 – 0,7	
	Dokončování		140 - 280	800	300 - 1500	$\geq 1,0$	0,25	0,15 – 0,35	
	SL550C		Hrubování nepřerušovaným řezem	Tvárná litina	400 – 600	450	400 – 600	$\geq 1,5$	0,4
700		350			150 – 450	$\geq 1,5$	0,4	0,25 – 0,60	
Hrubování přerušovaným řezem		400 – 700	500		350 – 700	$\geq 0,5$	0,35	0,25 – 0,45	
		Polo hrubování nepřerušovaným řezem	400 – 600		450	400 – 600	< 2	0,15	0,1 – 0,25
700			350		150 – 350	< 2	0,15	0,1 – 0,25	
Polo hrubování přerušovaným řezem		400 - 700	500		350 - 700	$< 1,5$	0,15	0,1 – 0,25	

3.2 Kennametal



Obr. 3.2 Logo firmy Kennametal [9]

Společnost Kennametal byla založena v roce 1938 v Pensylvánii (USA). Kennametal v současné době působí v 60-ti zemích celého světa a nabízí širokou škálu nejmodernějších obráběcích nástrojů. [10]

Sortiment společnosti Kennametal: [9]

3.2.1 Oxidová keramika

KY4400

- Aplikační rozsah dle ISO: H05-H10
- Oxidová keramika s TiN povlakem naneseným metodou PVD. Používá se pro dokončovací operace soustružení materiálů z kalené oceli nebo železa s tvrdostí vyšší než 45 HRC nebo také soustružení slitin niklu a kobaltu.

3.2.2 Nitridová keramika

KYK25

- Aplikační rozsah dle ISO: K10-K20
- Nitridová keramika opatřená Al_2O_3 povlakem naneseným CVD metodou. Mezi její charakteristické vlastnosti patří vynikající kombinace tažnosti a odolnosti proti opotřebení. Uplatnění nachází při obrábění šedé nebo tvárné litiny.

KY3500

- Aplikační rozsah dle ISO: K10-K30
- Tato nitridová keramika má vysokou houževnatost, díky tomu se hodí pro hrubování vysokými posuvy materiálů ze šedé litiny.

3.2.3 Sialonová keramika

KYS25

- Aplikační rozsah dle ISO: S15-S25, H30-H35
- Řezná keramika opatřená multivrstvým $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ti(C, N)}$ povlakem aplikovaným pomocí CVD metody. Uplatnění nachází při obrábění vysokoteplotních a niklových slitin a litin s vysokou tvrdostí. Pokročilý CVD povlak poskytuje vynikající chemickou stabilitu.

KYS30

- Aplikační rozsah dle ISO: S20-S30
- Jedná se o nejnovější a nepokročilejší sialonovou řeznou keramiku v nabídce firmy Kennametal. Kombinuje vynikající odolnost proti opotřebení, houževnatost a odolnost proti teplotním změnám pro univerzální dokončovací operace vysokoteplotních slitin.

KYK10

- Aplikační rozsah dle ISO: K05-K15
- Pokročilá sialonová řezná keramika poskytující maximální odolnost proti opotřebení. Používá se pro vysokorychlostní obrábění nepřerušovaným řezem šedé litiny.

3.2.4 Whiskerová keramika

KY4300

- Aplikační rozsah dle ISO: M30-M40, S25-S35, H40-H45
- Whiskerová keramika se složením $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiCW}$. Vlákná whiskerů obsažená ve struktuře dodávají materiálu vynikající houževnatost pro obrábění vysokoteplotních slitin a litin s vysokou tvrdostí.

KYHS10

- Aplikační rozsah dle ISO: K15-K25, S15-S25, H30-H35
- Oxidová keramika vyztužená vlákny whiskerů pro dosažení vynikající houževnatosti, která je vhodná pro obrábění vysokoteplotních a železných slitin s vysokou tvrdostí.

Tab. 3.3 Doporučené řezné rychlosti pro řeznou keramiku společnosti Kennametal [9]

[illegible]

3.3 Sandvik Coromant



Obr. 3.3 Logo firmy Sandvik Coromant [13]

Společnost Sandvik Coromant je předním světovým dodavatelem nástrojů a nástrojových řešení pro oblast obrábění kovů. Společnost byla založena v roce 1862 a v současné době má zastoupení ve 130-ti zemích světa. [15]

Sortiment společnosti Sandvik Coromant: [13][14]

3.3.1 Oxidová keramika

CC620

- Aplikační rozsah dle ISO: K01-K05
- Oxidová keramika určená pro vysokorychlostní dokončovací obrábění šedé litiny za stabilních řezných podmínek a za sucha.

3.3.2 Směsná oxidová keramika

CC650

- Aplikační rozsah dle ISO: S01-S10
- Směsná řezná keramika určená pro vysokorychlostní dokončovací operace materiálů ze šedé litiny a tvrzených materiálů. Vhodná také pro polodokončovací operace žárovzdorných slitin.

CC6050

- Aplikační rozsah dle ISO: H01-H10
- Směsná řezná keramika určená pro lehké dokončovací operace tvrzených materiálů.

3.3.3 Nitridová keramika

CC6190

- Aplikační rozsah dle ISO: K01-K20
- Řezná keramika na bázi nitridu křemíku vhodná pro hrubovací a dokončovací operace soustružení a také vysokorychlostní suché frézování šedé litiny, perlitické a tvrzené litiny.

3.3.4 Sialonová keramika

CC6060

- Aplikační rozsah dle ISO: S05-S20
- Řezná keramika vyztužená částicemi sialonu s vysokou odolností proti opotřebení. Vhodná pro obrábění žárovzdorných slitin za stabilních řezných podmínek.

CC6065

- Aplikační rozsah dle ISO: S05-S20
- Sialonová keramika určená pro soustružení žárovzdorných slitin a pro výrobu vyměnitelných břitových destiček s požadovanou houževnatostí.

3.3.5 Whiskerová keramika

CC670

- Aplikační rozsah dle ISO: H05-H15
- Keramika vyztužená vlákny whiskerů s vysokou houževnatostí, která je vhodná pro obrábění slitin na bázi niklu a pro soustružení tvrzených materiálů za nepříznivých řezných podmínek.

Tab. 3.4 Doporučené řezné podmínky pro řeznou keramiku společnosti Sandvik Coromant [13][14]

				CC620	CC650	CC6050
				Posuv na otáčku f [mm]		
				0,1-0,25-0,4	0,1-0,25-0,4	-
Skupina mate- riálu	Charakteristika materiálu		Tvrdość [HB]	Řezná rychlost v _c [m/min]		
K	Temperovaná litina	Feritická	130	600-700-800	600-700-800	-
		Perlitická	230	500-590-700	500-600-700	-
	Šedá litina	Nízká pevnost v tahu	180	600-700-800	600-700-800	-
		Vysoká pevnost v tahu	220	540-650-760	540-650-760	-
	Nodulární litina	Feritická	160	-	450-550-610	-
		Perlitická	250	-	350-450-510	-
		Martenzitická	380	-	260-305-350	-
				Posuv na otáčku f [mm]		
				-	0,1-0,2	-
				Řezná rychlost v _c [m/min]		
S	Žárovzdorné slitiny na bázi železa	Žíhané	200	-	-	-
		Vystárnuté	280	-	-	-
	Žárovzdorné slitiny na bázi niklu	Žíhané	250	-	320-400	-
		Vystárnuté	350	-	265-340	-
		Odlévané	320	-	160-220	-
	Žárovzdorné slitiny na bázi kobaltu	Žíhané	200	-	260-345	-
		Vystárnuté	300	-	225-300	-
Odlévané		320	-	225-285	-	
				Posuv na otáčku f [mm]		
				-	-	0,05-0,15-0,25
				Řezná rychlost v _c [m/min]		
H	Tvrzená ocel	Kalená a popouštěná	45 HRC	-	-	175-235-290
			50 HRC	-	-	145-295-240
			55 HRC	-	-	120-165-200
	Zvláště tvrdá ocel	Kalená a popouštěná	60 HRC	-	-	105-140-170
			65 HRC	-	-	90-120-145
	Tvrzená litina	Odlévaná	400	-	-	-

Tab. 3.4 Doporučené řezné podmínky pro řeznou keramiku společnosti Sandvik Coromant – pokračování [13][14]

				CC6190	CC6060	CC6065	CC670
				Posuv na otáčku f [mm]			
				0,2-0,4-0,6	-	-	-
Skupina materiálu	Charakteristika materiálu		Tvrdość [HB]	Řezná rychlost v _c [m/min]			
K	Temperovaná litina	Feritická	130	550-660-810	-	-	-
		Perlitická	230	440-550-700	-	-	-
	Šedá litina	Nízká pevnost v tahu	180	600-720-890	-	-	-
		Vysoká pevnost v tahu	220	500-620-790	-	-	-
	Nodulární litina	Feritická	160	-	-	-	-
		Perlitická	250	-	-	-	-
		Martenzitická	380	-	-	-	-
				Posuv na otáčku f [mm]			
				-	0,1-0,2-0,3	0,1-0,2-0,3	0,1-0,2-0,3
				Řezná rychlost v _c [m/min]			
S	Žárovzdušné slitiny na bázi železa	Žíhané	200	-	-	-	-
		Vystárnuté	280	-	-	-	-
	Žárovzdušné slitiny na bázi niklu	Žíhané	250	-	270-325-400	200-255-330	270-315-385
		Vystárnuté	350	-	190-235-300	130-175-240	230-270-325
		Odlévané	320	-	175-205-240	150-180-215	110-245-295
	Žárovzdušné slitiny na bázi kobaltu	Žíhané	200	-	-	-	205-255-345
		Vystárnuté	300	-	-	-	175-225-300
Odlévané		320	-	-	-	170-225-285	
				Posuv na otáčku f [mm]			
				-	-	-	0,1-0,25-0,4
				Řezná rychlost v _c [m/min]			
H	Tvrzená ocel	Kalená a popouštěná	45 HRC	-	-	-	135-170-205
			50 HRC	-	-	-	110-140-165
			55 HRC	-	-	-	95-115-140
	Zvláště tvrdá ocel	Kalená a popouštěná	60 HRC	-	-	-	80-100-120
			65 HRC	-	-	-	70-85-105
	Tvrzená litina	Odlévaná	400	-	-	-	60-90-120

3.4 Srovnání sortimentu vybraných nejvýznamnějších producentů řezných nástrojů z řezné keramiky

Jediné prakticky možné srovnání řezných podmínek pro keramické materiály od různých výrobců je podle normy ISO. Každý výrobce udává řezné podmínky pro obráběné materiály podle vlastního zavedeného systému značení. Tento systém se liší od jednoho výrobce k druhému a pro srovnání vybraných řezných materiálů je značně nepřehledný. Jednotliví výrobci se také liší v hodnotách tvrdostí, které udávají pro obráběné materiály. Z těchto důvodů výrobci udávají včetně svého značení i značení podle normy ISO.

V tabulce 3.5 jsou uvedeny aplikační rozsahy řezných keramik společností CeramTec, Kennametal a Sandvik Coromant. Z této tabulky je zřejmé, že společnost CeramTec doporučuje své produkty pro skupinu K obráběných materiálů, pro které předepisuje nejvyšší dovolené řezné rychlosti oproti jiným výrobcům.

Společnost Kennametal poskytuje se svými produkty nejširší rozsah použití řezných materiálů (skupiny K, S a H) řezných materiálů. Také společnost Sandvik Coromant poskytuje podobný aplikační rozsah, ale nejvíce se zaměřuje na skupinu S obráběných materiálů.

Tab. 3.5 Srovnání řezných rychlostí při obrábění oxidovou keramikou

Výrobce	CeramTec	Sandvik Coromant
Řezná keramika	SN60	CC620
Obráběný materiál	Šedá litina (K)	
Tvrдость obráběného materiálu [HB]	140-210	180
Řezná rychlost v_c [m/min]	400-1200	600-800

Tab. 3.6 Srovnání řezných rychlostí při obrábění nitridovou keramikou

Výrobce	CeramTec	Kennametal	Sandvik Coromant
Řezná keramika	SL500	KY3500	CC6190
Obráběný materiál	Šedá litina (K)		
Tvrдость obráběného materiálu [HB]	220-240	120-290	220
Řezná rychlost v_c [m/min]	300-800	180-1040	500-790

Tab. 3.7 Srovnání řezných rychlostí při obrábění sialonovou keramikou

Výrobce	Kennametal	Sandvik Coromant
Řezná keramika	KYS30	CC6065
Obráběný materiál	Žárovzdorná slitina na bázi niklu (S)	
Tvrдость obráběného materiálu [HB]	160-460	350
Řezná rychlost v_c [m/min]	140-310	130-240

Tab. 3.8 Aplikační rozsahy řezné keramiky jednotlivých výrobců (rozdělení obráběných materiálů podle ISO)

Výrobce	Typ keramiky	P01	P05	P10	P15	P20	M30	M35	M40	K01	K05	K10	K15	K20	K25	K30
CeramTec	SN60									•	•	•				
	SN80	•	•	•	•	•										
	SH2									•	•	•	•	•		
	SL200													•	•	•
	SL500											•	•	•	•	•
	SL250C											•	•	•	•	•
	SL550											•	•	•	•	•
Kennametal	KYK25											•	•	•		
	KY3500											•	•	•	•	•
	KYK10										•	•	•			
	KY4300						•	•	•							
	KYHS10												•	•	•	
Sandvik Co-romant	CC620									•	•					
	CC6190									•	•	•	•	•		
	Typ keramiky	S01	S05	S10	S15	S20	S25	S30	S35	H05	H10	H15	H30	H35	H40	H45
Kennametal	KY4400									•	•					
	KYS25				•	•	•						•	•		
	KYS30					•	•	•								
	KY4300						•	•	•						•	•
	KYHS10				•	•	•						•	•		
Sandvik Co-romant	CC650	•	•	•												
	CC6050									•	•					
	CC6060		•	•	•	•										
	CC6065		•	•	•	•										
	CC670									•	•	•				

Závěr

Řezná keramika se díky svým vlastnostem, mezi které patří především její tvrdost, tepelná odolnost a chemická stálost, řadí mezi řezné materiály, které nejsou tak hojně využívány, jako je tomu u slinutých karbidů nebo cermetů. Proto její výroba na světovém obchodním trhu zastupuje pouze 5 % z celkové produkce řezných materiálů. Řezná keramika je vlivem svých fyzikálních a mechanických vlastností vhodná pro lehké a dokončovací obrábění nepřerušovaným řezem materiálů z litiny, žáruvzdorných slitin a tvrzených materiálů.

Výroba řezné keramiky je doprovázena složitým výrobním postupem, který začíná u vybrání základních surovin, které jsou tvořeny z vysoce čistých prvků. Tak jako u každého materiálu má na výsledné vlastnosti hlavní vliv obsah dílčích prvků ve struktuře. Současnou nabídku řezné keramiky tvoří čistá, směsná, nitridová nebo sialonová keramika. Pro zlepšení především mechanických vlastností se do struktury řezné keramiky přidávají vlákna whiskerů nebo je povrch řezné keramiky opatřen povlakem.

Nástroje se vyrábí z velké části jako vyměnitelné břitové destičky malých rozměrů, které nejsou opatřeny utvařeči. Hlavním důvodem proč tyto materiály nemají utvařeče je tvrdost keramického materiálu, do něhož by bylo složité utvařeče vyrobit, ale také protože utvařeče slouží jako koncentrátoři napětí.

Jedním z nejvýznamnějších producentů řezné keramiky je společnost CeramTec, která se dlouhodobě zabývá výrobou a vývojem právě tohoto řezného materiálu a je jedním z předních světových výrobců od uvedení řezné keramiky na trh. Ve svém sortimentu nabízí velké množství vyspělých řezných keramik vyrobených moderními technologiemi.

Mezi další světové výrobce tohoto řezného materiálu s širokou nabídkou sortimentu patří společnosti Sandvik Coromant a Kennametal. Jejich moderní řezné materiály nabízejí široké aplikační rozsahy pro obrábění výše uvedených materiálů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CERAMTEC AG, Innovative Ceramic Engineering. *SPK-Inserts*. Germany, 2002, 158 s.
- [2] CERAMTEC AG, Innovative Ceramic Engineering. *Recommendations for the use of SPK Cutting Tools*. Germany, 2002, 138 s
- [3] CERAMTEC AG. *CeramTec v České republice – experti na ROCAR®, vyspělou keramiku na bázi karbidu křemíku* [online]. Česká republika [vid. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.ceramtec.cz/about-us/>
- [4] CERAMTEC AG. *CeramTec, die Keramik-Experten* [online]. Deutschland [vid. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.ceramtec.de/ueber-uns/>
- [5] Diamant jako řezný materiál. *T+T Technika a trh* [online]. 2012 [vid. 2014-04-25]. Dostupné z: <http://www.technikaatrh.cz/obrabeni/diamant-jako-rezny-material>
- [6] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [7] SIROTA, V. V., É. S. GEVORKYAN, M. G. KOVALEVA a V. V. IVANISENKO. Structure and properties of nanoporous ceramic Al₂O₃ obtained by isostatic pressing. *Glass and Ceramics*. 2013, vol. 69, 9-10, s. 342-345. DOI: 10.1007/s10717-013-9475-z. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s10717-013-9475-z>
- [8] Izostatické lisování za tepla. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2005 [vid. 2014-03-27]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/izostaticke-lisovani-za-tepla.html>
- [9] KENNAMETAL INC. *Innovations Master catalogue* [online]. 2013 [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: http://www.kennametal.com/content/dam/kennametal/kennametal/common/Resources/Catalogs-Literature/Metalworking/A-11-02679_MasterCat2013_complete_metric.pdf
- [10] KENNAMETAL INC. *Kennametal Inc.* [online]. USA [vid. 2014-05-16]. Dostupné z: <http://www.kennametal.com/en/about-us/company-profile.html>
- [11] KOCMAN, Karel. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [12] KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. *Úvod do studia materiálů*. Vyd. 1. Praha: VŠCHT, 2005, 190 s. ISBN 80-708-0568-4.
- [13] SANDVIK AB. *Dodatkový katalog 13.2* [online]. Sweden, 2013 [vid. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/downloads/pages/search.aspx?q=Catalogues&rootsite=%5ecscz%24>
- [14] SANDVIK AB. *Dodatkový katalog 14.1* [online]. Sweden, 2013 [vid. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/downloads/pages/search.aspx?q=Catalogues&rootsite=%5ecscz%24>
- [15] SANDVIK AB. *Sandvik Coromant ve zkratce* [online]. Sweden [vid. 2014-05-27]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/aboutus/sandvik_coromant_in_brief/pages/default.aspx
- [16] SANTOS, C., K. STRECKER, S.A. BALDACIM, O.M.M. SILVA a C.R.M. DA SILVA. Mechanical properties improvement related to the isothermal holding time in Si₃N₄ ceramics sintered with an alternative additive. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 2003, vol. 21, 5-6, s. 245-250. DOI: 10.1016/S0263-

4368(03)00048-9. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263436803000489>

- [17] SCRIBD. *Technologie II., 1. díl* [online]. [vid. 2014-04-16]. Skripta Technologie II., 1. díl., 122 s. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/51935268/skripta-Technologie-II-1dil>.
- [18] BITTERLICH, Bernd, Sebastian BITSCH a Kilian FRIEDERICH. SiAlON based ceramic cutting tools. *Journal of the European Ceramic Society*. 2008, vol. 28, issue 5, s. 989-994. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2007.09.0>.
- [19] TUNA, J. *Metody povlakování řezných nástrojů: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 97 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Anton Humár, CSc.
- [20] YE, F. Interface structure and mechanical properties of Al₂O₃-20vol%SiCw ceramic matrix composite. *Materials science & engineering. A, Structural materials: properties, microstructure and processing*. 20000415, vol. 281, 1-2, s. 305-309.
- [21] ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. *Keramika* [online]. Plzeň, 2010 [vid. 2014-04-28]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/download/Rezna-keramika-07_08.pdf
- [22] ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 193 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-2336-6.

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Tab. 1.1	Dělení nástrojových ocelí dle normy ČSN 42 0002:1976
Tab. 2.1	Historický vývoj keramických materiálů na bázi Al_2O_3
Tab. 2.2	Systém dělení a značení řezné keramiky
Tab. 2.3	Vlastnosti některých řezných keramik
Tab. 2.4	Mikrostrukturní charakteristiky rozdílné izotermické výdrže v průběhu slinování
Tab. 3.1	Vybrané fyzikální a mechanické vlastnosti řezné keramiky společnosti CeramTec
Tab. 3.2	Doporučené řezné podmínky pro soustružení řeznou keramikou společnosti CeramTec
Tab. 3.3	Doporučené řezné rychlosti pro řeznou keramiku společnosti Kennametal
Tab. 3.4	Doporučené řezné podmínky pro řeznou keramiku společnosti Sandvik Coromant
Tab. 3.5	Srovnání řezných rychlostí při obrábění oxidovou keramikou
Tab. 3.6	Srovnání řezných rychlostí při obrábění nitridovou keramikou
Tab. 3.7	Srovnání řezných rychlostí při obrábění sialonovou keramikou
Tab. 3.8	Aplikační rozsahy řezné keramiky jednotlivých výrobců (rozdělení obráběných materiálů podle ISO)
Obr. 1.1	Světová produkce řezných materiálů
Obr. 1.2	Schéma povlakovacího zařízení metodou PVD
Obr. 1.3	Schéma povlakovacího zařízení metodou CVD
Obr. 1.4	Přeměna hexagonální mřížky na kubickou a) grafitu na syntetický diamant b) nitridu boru na polykrystalický kubický nitrid boru
Obr. 1.5	Srovnání mechanických vlastností řezných materiálů
Obr. 2.1	Mikrostruktura sialonu
Obr. 2.2	Mikrostruktura keramiky vyztužené vlákny whiskerů, která je tvořena z Al_2O_3 a 20 obj. % SiC
Obr. 2.3	Mikrostruktura nitridové keramiky a) slinování při 1900 °C po 0 hod. b) slinování při 1900 °C po 1 hod. c) slinování při 1900 °C po 2 hod. d) slinování při 1900 °C po 3 hod.
Obr. 3.1	Logo firmy CeramTec
Obr. 3.2	Logo firmy Kennametal
Obr. 3.3	Logo firmy Sandvik Coromant

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

v_c [m/min]	Řezná rychlost
f [mm]	Posuv na otáčku
CBN	Polykrystalický kubický nitrid bóru
CVD	Chemické nanášení povlaku
HB	Tvrdost podle Brinella
HIP	Vysokoteplotní izostatické lisování
HPSN	Nitrid křemíku lisovaný za vysokých teplot
HRC	Tvrdost podle Rockwella
HV	Tvrdost podle Vickerse
MTCVD	Chemické nanášení povlaku za snížených teplot
PACVD	Nanášení povlaku pomocí plasmu
PKD	Syntetický diamant
PVD	Fyzikální nanášení povlaku
RBSN	Reaktivně vázaný nitrid křemíku
SSN	Slinutý nitrid křemíku