



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

IVO VAVERKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Anton Humár, CSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Ivo Vaverka

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 výroby, rozdělení, označování, fyzikálně mechanických vlastností, aplikačních oblastí a současných trendů vývoje a výroby u renomovaných špičkových producentů nástrojů a nástrojových materiálů.

Cíle bakalářské práce:

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

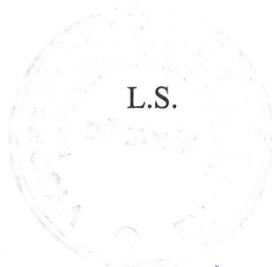
Seznam odborné literatury:


1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha: 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. Zář 2004. ISSN 1212-2572., s. 84-96.
4. Technické materiály a prospekty firem Ceramtec, Ceratizit, Iscar, Kennametal, Korloy, Mitsubishi, Saint Gobain Advanced Ceramics, Sandvik Coromant, Seco, Walter, Widia.
5. Odborné časopisy Ceramics International (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02728842>), 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>), Wear (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00431648>).

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 24.10.2011





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na řeznou keramiku, která patří do nástrojových materiálů. První část se zabývá rozdělením, použitím a charakteristikou základních materiálů pro řezné nástroje. V druhé části se důkladně rozebírá samotná řezná keramika z pohledu historie, výchozích materiálů, výroby, fyzikálních, mechanických vlastností a mikrostruktury. Následuje poslední část, která obsahuje sortiment firem CeramTec, Greenleaf a Saint-Gobain.

Klíčová slova

řezná keramika, nástrojové materiály, mikrostruktura, mechanické vlastnosti, výrobci

ABSTRACT

The Bachelor Thesis is focused on cutting ceramics which belongs to tool materials. The first part deals with sorting, application and characterization of basic materials for cutting tools. The cutting ceramics itself is thoroughly analysed from a historical perspective, default materials, production, physical and mechanical qualities and microstructure in the second part. The last part contains the assortment of CeramTec, Greenleaf and Saint-Gobain.

Key words

cutting ceramics, tool materials, microstructure, mechanical properties, producers

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VAVERKA, Ivo. *Řezná keramika*. Brno 2012. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 43 s. doc. Ing. Anton Humár, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Řezná keramika** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 21.5.2012

.....
Ivo Vaverka

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

ÚVOD.....	8
1. ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ MATERIÁLŮ PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE.....	9
1.1. NÁSTROJOVÉ OCELI.....	9
1.2. SLINUTÉ KARBIDY.....	10
1.2.1. Rozdělení, značení a použití slinutých karbidů.....	10
1.3. CERMETY.....	11
1.4. SUPERTVRDÉ ŘEZNÉ MATERIÁLY.....	12
1.4.1. Polykrystalický diamant.....	12
1.5.1. Polykrystalický kubický nitrid boru.....	12
1.5. POVLAKY.....	13
2. ŘEZNÁ KERAMIKA.....	13
2.1. HISTORICKÝ VÝVOJ ŘEZNÉ KERAMIKY.....	14
2.2. VÝCHOZÍ MATERIÁLY A JEJICH VLASTNOSTI.....	15
2.2.1. Oxid hlinitý – Al_2O_3	15
2.2.2. Oxid zirkoničitý – ZrO_2	16
2.2.3. Nitrid Křemíku – Si_3N_4	16
2.3. ROZDĚLENÍ A ZNAČENÍ.....	16
2.4. VÝROBA.....	18
2.4.1. Oxidové keramiky.....	18
2.4.2. Nitridové keramiky.....	18
2.5. FYZIKÁLNÍ, MECHANICKÉ VLASTNOSTI A MIKROSTRUKTURA.....	21
2.5.1. Vliv yttria na pevnost a tvrdost řezné keramiky.....	21
2.5.2. Vliv mikročástic WC a nanočástic TIC na mechanické vlastnosti řezných keramik.....	23
2.5.3. Vliv ZrO_2 na strukturu a mechanické vlastnosti řezných keramik.....	24
2.5.4. Vliv CaF_2 na mechanické vlastnosti, mikrostrukturu a mechanismus opotřebení řezných keramik Al_2O_3/TiC	26
2.5.4.1. Vliv CaF_2 na mechanické vlastnosti a mikrostrukturu.....	26
2.5.4.2. Vliv CaF_2 na mechanismus opotřebení.....	27
2.5.5. Mechanické vlastnosti a mikrostruktura multivrstvých řezných keramik $Al_2O_3/(W,Ti)C$ a Al_2O_3/TiC	28
2.5.6. Mechanické vlastnosti a mikrostruktura kompozitů cBN/ β -Sialon.....	30
3. ŘEZNÁ KERAMIKA V SORTIMENTU VYBRANÝCH PRODUCENTŮ NÁSTROJŮ A NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ.....	32
3.1. CERAMTEC.....	32
3.1.1. Oxidová keramika pro obrábění.....	33
3.1.2. Směsná oxidová keramika pro obrábění.....	33
3.1.3. Nitridová keramika pro obrábění.....	33
3.1.3.1. Nepovlakovaná nitridová keramika.....	33
3.1.3.2. Povlakovaná nitridová keramika.....	33
3.1.4. Sialonová keramika pro obrábění.....	34
3.1.4.1. Nepovlakovaná sialonová keramika.....	34
3.1.4.2. Povlakovaná sialonová keramika.....	34
3.1.5. Doporučené řezné podmínky.....	35

3.2. GREENLEAF.....	36
3.2.1. Směsná oxidová keramika pro obrábění.....	37
3.2.2. Nitridová keramika pro obrábění.....	37
3.2.3. Vyztužená nitridová keramika pro obrábění.....	37
3.3. SAINT-GOBAIN ADVANCED CERAMICS.....	37
3.3.1. Oxidová keramika pro obrábění.....	38
3.3.2. Směsná oxidová keramika pro obrábění.....	38
3.3.3. Nitridová keramika pro obrábění.....	38
ZÁVĚR.....	39
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	43

ÚVOD

Již od nepaměti se používaly nástroje, které byly schopny nějakým způsobem opracovat materiál. Jak se doba měnila, tak se měnil i opracovávaný materiál. Počínaje dřevem přes různé pazourky až po broznu a železné materiály. Nejdříve se tyto materiály opracovávaly ručně, ale s rozmachem průmyslové revoluce se začalo obrábět na obráběcích strojích, jako jsou vrtačky, soustruhy, frézky apod. Díky těmto strojům se také zlepšil povrch obrobků, zrychlil se čas obrábění a automatizací výroby se dá provádět více úkonů na jednom stroji.

Pro obrábění se používá řezný nástroj, který je ideálně několikanásobně tvrdší než obráběná součást a má houževnaté jádro. V současné době se stávají materiály mnohem složitěji obrobitelné jen pro dříve známé nástrojové rychlořezné oceli, a tak se vyvinuly i další. Mezi ně patří slinuté karbidy, cermety, řezná keramika a supertvrdé materiály. Každý z nich se používá na něco jiného s rozdílnými podmínkami obrábění.

Řezná keramika je nástrojový materiál, který se vyrábí pomocí technologie, jenž se nazývá prášková metalurgie. Dělí se na několik skupin, a to oxidovou keramiku, která je buď čistá, polosměsná nebo směsná, a nitridovou keramiku. Keramika vyrobená na bázi oxidu hlinitého (Al_2O_3) má nižší houževnatost a prokazuje při obrábění vysokou tvrdost a vynikající chemickou odolnost při vysokých teplotách. Její použití najdeme při obrábění vysokými řeznými rychlostmi, posuvové rychlosti budou však menší. Zatímco nitridová keramika vyrobená na bázi nitridu křemíku (Si_3N_4) má na rozdíl od keramiky oxidové vyšší houževnatost, tak je u ní možné obrábění vyššími posuvovými rychlostmi. Oba dva druhy řezných keramik jsou ideální pro obrábění šedých litin.

Jelikož se k obrábění používají různé nástrojové materiály pro řezné nástroje, tak z toho vyplývá, že neexistuje žádný univerzální nástrojový materiál, ze kterého by šel vyrobit právě takový řezný nástroj, který by byl schopen obrábět všechny dosud známé materiály k tomu určené a použít ho pro jakoukoliv metodu obrábění. Pro vhodné použití nástrojových materiálů je důležité co nejlépe porozumět dané problematice a znát jejich fyzikální a mechanické vlastnosti.

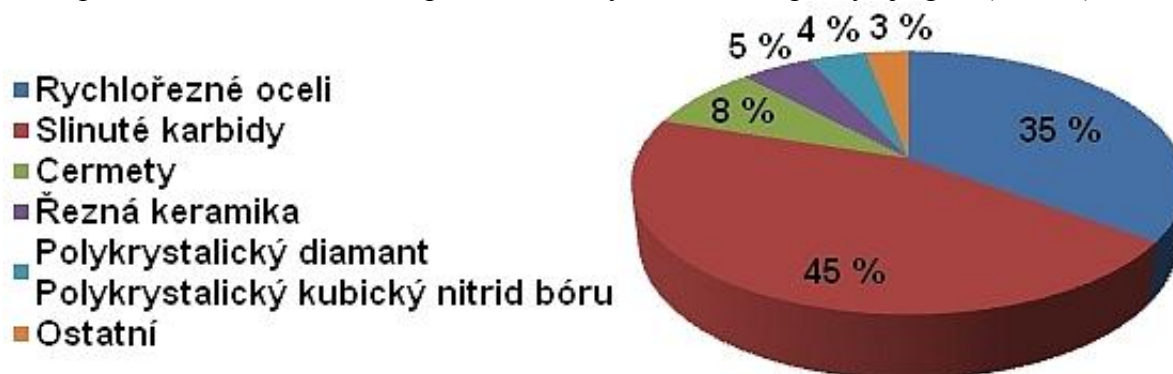
1. ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ MATERIÁLŮ PRO ŘEZNÉ NÁSTROJE

V současnosti jsou pro obrábění materiálů různé materiály nástrojů. Různé výzkumy a vývoje pro řezné materiály nástrojů na obrábění se v této oblasti již nezaměřují na objevení nových materiálů, ale spíše na vylepšení vlastností již existujících materiálů jako jsou např. fyzikální (velikost zrna, součinitel tření), chemické (inertnost, stálost), tepelné (teplota tání, délková roztažnost) a mechanické (tvrdost, pevnost v tlaku a ohybu, lomová houževnatost).

Značení nástrojových materiálů podle normy ČSN ISO 513 je uvedeno v tabulce 1.1. Rozdělení základních nástrojových materiálů je následovné:

- Nástrojové oceli (rychlořezné oceli),
- slinuté karbidy (nepovlakované a povlakované),
- cermety,
- řezná keramika,
- supertvrdé řezné materiály.

Větší přehled z hlediska světové produkce řezných materiálů poskytuje graf (obr 1.1).



Obr. 1.1 Graf produkce řezných materiálů ¹⁸

Tab. 1.1 Značení nástrojových materiálů podle normy ČSN ISO 513 ¹²

Materiál		Symbol
Nepovlakované slinuté karbidy s obsahem primárního WC	Zrnitost $\geq 1\mu\text{m}$	HW
	Zrnitost $< 1\mu\text{m}$	HF
Nepovlakované cermety s obsahem TiC nebo TiN nebo obou		HT
Povlakované slinuté karbidy a cermety		HC
Řezná keramika	Oxidová ŘK s obsahem primárního Al_2O_3	CA
	Směsná ŘK na bázi Al_2O_3 s neoxidovými přísadami	CM
	Neoxidová ŘK s obsahem primárního Si_3N_4	CN
	Povlakovaná ŘK	CC
Supertvrdé materiály	Polykrystalický diamant	DP
	Polykrystalický kubický nitrid boru	BN

1.1. NÁSTROJOVÉ OCELI

U základních vlastností nástrojových materiálů je kladen důraz na tvrdost, houževnatost, pevnost v ohybu, kalitelnost a prokalitelnost, odolnost proti otěru, popouštění a otupení, a na stálost rozměrů. Nástrojové oceli jsou řazeny do třídy 19 a rozdělení lze vidět v tab. 1.2.

Tab. 1.2 Rozdělení nástrojových ocelí ¹⁶

Základní číselná značka	Význam 3. číslice v základní značce oceli	
19 0xx	Nelegované	Dvojčíslí ze 3. a 4. číslice vyjadřuje střední obsah uhlíku
19 1xx		
19 2xx		
19 3xx	Legované	Oceli manganové, křemíkové, vanadové
19 4xx		Oceli chromové
19 5xx		Oceli chrommolybdenové
19 6xx		Oceli niklové
19 7xx		Oceli wolframové
19 8xx	Vysokolegované	Oceli rychlořezné
19 9xx	Oceli pro lité nástroje	

Dělení podle normy ČSN EN-10027-1:

- Nástrojové oceli nelegované – př. C35U (19 065),
- nástrojové oceli legované – př. 35CrMo8 (19 520),
- rychlořezné oceli – př. HS 6-5-2 (19 830).

V nástrojových ocelích se mimo různého obsahu uhlíku vyskytují také další prvky:

- doprovodné prvky z výroby: mangan, křemík a hliník,
- legující prvky: chrom, wolfram, nikl, kobalt, vanad a molybden,
- nečistoty: fosfor, síra, měď.

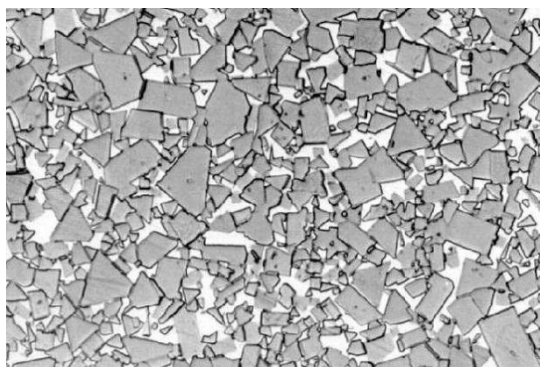
Použití: ⁵

- Nelegované oceli: zejména pro ruční nástroje a nářadí (pilníky, sekáče, kladiva, sekerky, nože, nože strojních nůžek a kamenické nářadí),
- legované oceli: výroba tvářecích nástrojů, zápustek, forem na plasty, závitníků, výstružníků, výhrubníků protahováků apod.,
- rychlořezné oceli: nástroje pro obrábění jako jsou soustružnické, hoblovací a tvarové nože, frézy, pilové kotouče, závitové čelisti a závitníky,
- oceli pro lité nástroje: vícebřité nástroje (frézy, výhrubníky, výstružníky atd.) a břitové destičky soustružnických nožů. ¹¹

1.2. SLINUTÉ KARBIDY

Slinuté karbidy jsou vyrobeny pomocí technologie práškové metalurgie a jsou nejvíce zastoupeny v kategorii řezných materiálů. Jejich struktura je tvořena velmi malými a jemnými částicemi tvrdých karbidů různých těžkovitavutelných kovů jako jsou wolfram, titan a tantal, a tyto částice jsou ve většině případů spojeny kobaltem. Slinuté karbidy mají větší tvrdost oproti rychlořezným materiálům, kterou si zachovávají i za vyšších teplot při obrábění. Na obrázku 1.2 je pro ukázkou struktura slinutého karbidu WC+Co.

Ještě nedávno bývaly destičky ze slinutých karbidů vpájeny do ocelových držáků, jež nomže v dnešní době má většina nástrojů mechanicky upínanou vyměnitelnou břitovou destičku.



Obr. 1.2 Struktura karbidu WC+Co ¹⁷

1.2.1. Rozdělení a značení a použití slinutých karbidů

Norma pro nepovlakované slinuté karbidy se nazývá ČSN ISO 513. Tyto karbidy pak bývají označovány symboly HF a HW dále se dělí dle využití do šesti základních skupin:

Skupina K (barva - **červená**)

Pro obrábění materiálů, které tvoří krátkou drobnou třísku: šedé litiny, neželezné materiály, nekovové materiály.

Skupina P (barva - **modrá**)

Pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku: nelegované oceli, slitinové oceli, feritické korozivzdorné oceli.

Skupina M (barva - **žlutá**)

Pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou a střední třísku: lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli, tvářené litiny.

Skupina N (barva - **zelená**)

Materiály: neželezné slitiny na bázi Mg, Al, Cu; plasty, dřeva, kompozity.

Skupina S (barva - **hnědá**)

Materiály: slitiny titanu, žárovevné slitiny na bázi Ni, Co, Fe.

Skupina H (barva - **tmavošedá**)

Materiály: zušlechtěné kalené oceli a tvrzené litiny.

1.3. CERMETY

Pojem „CerMet“ je odvozen ze složení dvou slov, a to: **Ceramics** (keramika) a **Metal** (kov). Tento název by měl popisovat materiál, u kterého se kombinují dvě protichůdné mechanické vlastnosti: tvrdost (přísluší keramice) a houževnatost (přísluší kovům). Jelikož se však předpoklady výrazně liší od skutečnosti, tak se materiál, který by měl tyto vlastnostmi, ještě nepodařil vyrobit.

Základní materiály používající se při výrobě cermetů jsou prášky TiC/TiN, Ti(C,N) a další přísady např. Mo₂C, WC, TaC, ZrC atd., a základním pojivem jsou Ni, Mo, Co, Cr.

Oproti slinutým karbidům jsou cermety výhodnější při vyšších řezných rychlostech. Jsou hojně využívány při dokončovacích operacích, protože tvrdá fáze cermetů vytváří velmi nízkou drsnost u obráběných ploch.

Nepovlakované cermety nemají na povrchu žádnou vrstvu materiálu k dosažení lepší trvanlivosti a řezných vlastností. Naopak povlakované cermety mají na povrchu malou vrstvu materiálu, což vede ke zlepšení řezných vlastností.

Používají se pro dokončovací operace, opracování materiálů se sklonem k mazání, lehké operace s vysokými řeznými rychlostmi a při výrobě, kde je vyžadována vysoká životnost nástroje.¹³

1.4. SUPERTVRDÉ ŘEZNÉ MATERIÁLY⁶

Do této skupiny řezných materiálů lze zařadit dva synteticky vyrobené materiály. Jsou to polykrystalický diamant (PKD) a polykrystalický kubický nitrid bóru (PKBN). Tyto materiály se díky výborným mechanickým vlastnostem používají při obrábění speciálních aplikací.

1.4.1. Polykrystalický diamant

Diamant je doposud nejtvrdší minerální látkou s vynikajícími vlastnostmi (vysoká teplota tavení, vysoký index lomu, nízká reaktivita, extrémní chemická inertnost, neovlivnitelnost chemikáliemi, atd.). Diamanty se dělí na přírodní a syntetické, přičemž přírodní diamanty se ve strojírenství nepoužívají kvůli ceně. Při výrobě syntetického diamantu z grafitu se používá přeměna hexagonální mřížky grafitu na kubickou mřížku diamantu při velmi vysokých tlacích i teplotách, za přítomnosti minimálního množství katalyzátoru (Cr, Co, Fe, Mn, nebo slitiny Fe-Ni, Mn-Ni, Co-Fe).

Nástroje a břitové destičky z polykrystalického diamantu se využívají při obrábění neželezných kovů a slitin (například Cu, Al, Ti). Jsou to většinou materiály, které mají teplotu tavení pod 700 °C a nemají žádný vztah k uhlíku. Mnohem častěji se zde uvedené řezné nástroje používají při obrábění grafitových, keramických, plastických hmot, gum a dalších kompozitních materiálů s abrazivní složkou a ve velkosériové výrobě.

Polykrystalický diamant se používá při obrábění neželezných a nekovových materiálů, jako jsou slitiny: Al, Cu, Br, Ti.

1.4.2. Polykrystalický kubický nitrid boru

Nitrid boru má mnoho společných vlastností s grafitem, a to hexagonální strukturu, bílou barvu, měkkost, termickou stálost. Na rozdíl od diamantu je elektricky nevodivý, má nižší tepelnou vodivost, ale zato má vyšší hodnoty součinitele délkové roztažnosti v rozmezí teplot (430÷1160) °C. Nástroje a břitové destičky z tohoto materiálu se využívají při obrábění tvrdých návarů, bílé litiny s tvrdostí nad 50 HRC a legované litiny. Trvanlivost těchto řezných nástrojů je několikanásobně vyšší než u nástrojů se slinutými karbidy nebo s řeznou keramikou. To má za následek snížení neproduktivního času pro výměnu nástroje a zvýšení rozměrové přesnosti kvůli nižšímu otěru destičky.

Používá se při obrábění kalených ocelí, litin, slinovaných materiálů na bázi kobaltu a žáruvzdorných slitin.

1.5. POVLAKY ^{25, 26}

Pokroky při povlakování řezných nástrojů umožňují vytvořit přesně takový povlak, aby splňoval požadavky pro daný způsob použití. Tím se výrazně zvýší produktivita i trvanlivost řezného nástroje.

Základní dělení povlaků je podle technologie nanášení:

PVD metoda (Physical Vapour Deposition – fyzikální nanášení povlaku):

Pracuje s rozsahem teplot (400÷600) °C a tvrdost těchto povlaků předává povlakovanému materiálu odolnost proti otěru a vnitřní tlaková pnutí zvyšují houževnatost. Malá tloušťka povlaku (1,8÷4,0 μm) dovoluje zhotovit velmi ostrý břit.

CVD metoda (Chemical Vapour Deposition - chemické nanášení povlaku):

Mají díky vysoké tvrdosti vysokou odolnost proti otěru, výbornou adhezi k podkladu, a proto jsou dobrou volbou v široké škále aplikací (všeobecné soustružení, vyvrtávání oceli, obvodové břitové destičky vrtáků). Nevýhodou je vysoká teplota nanášení, která je mezi teplotami (700÷1050) °C. Z tohoto důvodu hrozí negativní ovlivnění vlastností podkladového materiálu.

Mimo zde již uvedené základní metody povlakování existují i jiné. Mezi ně patří plazmaticky aktivované CVD metody (PACVD – Plasma Assisted CVD, PECVD – Plasma Enhanced CVD a MWPCVD – MicroWave Plasma CVD) a od klasické CVD metody se liší nízkými pracovními teplotami při zachování stejného principu výroby. Další metoda je MTCVD (Middle Temperature CVD neboli středně – teplotní CVD). Tato metoda na rozdíl od metody CVD pracuje nižších teplot, a to v rozmezí (700÷850) °C. Další rozdíl je, že metoda CVD využívá plynný metan (CH₄) a plynný dusík, zatímco metoda MTCVD používá acetonitril (CH₃CN) nebo hořlavý a toxický metykyanid.

2. ŘEZNÁ KERAMIKA

V dnešní době se pod názvem keramika chápe převážně krystalický materiál, u kterého jsou hlavní složkou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Patří zde jak tradiční keramika (cement, cihly, porcelán), tak i brousící materiály a mnoho nových (strojírenských, pokrokových, průmyslových apod.) keramických látek (oxidová keramika, ferity, karbidy, nitridy, boridy). Keramické látky jsou vázány meziatomovou iontovou a kovalentní vazbou, přičemž tato vazba není ani čistě iontová a ani kovalentní, ale nejčastěji se objevují tyto dva typy navednou. Základ krystalických materiálů tvoří krystalová struktura, ve které převažují složité kubické a hexagonální mřížky.

Keramické materiály se používají v konstrukčních aplikacích (tab. 2.1) a v těchto oblastech:

- Mechanická aplikace,
- řezné nástroje,
- tepelná aplikace,
- elektronika a elektrotechnika,
- fyzikální a chemické aplikace,
- stavebnictví,
- medicína.

Tab. 2.1 Trh s keramikou ¹²

Odvětví	Milióny dolarů v roce			
	1977	1986	1991	1995
Elektronika	813	4808	10820	21375
Řezné nástroje	58	433	885	1625
Tepelné motory	0	---	80	675
Ostatní	34	167	329	825
Celkem	905	5408	12114	24500

2.1. HISTORICKÝ VÝVOJ ŘEZNÉ KERAMIKY

Keramiky jako nástroj byla používána už v době kamenné. Ovšem stejně jako později to byly jenom bloky pískovce, které obsahovaly velký počet mikroskopických břitů SiO_2 . Ty sloužily při ostření nožů, břitev, nůžek apod. Jelikož se vývoj v této oblasti tenkrát neposunul moc dopředu, tak se hlavním brousícím materiálem staly pískovcové kotouče. Avšak nedávno začaly být vyměňovány za mnohem modernější materiály, jako je diamant a SiC .

První keramické nástroje byly vynalezeny v první polovině 20. století (tab. 2.2). Kvůli vysoké křehkosti však bylo použití omezeno jen na nepřerušované řezání. Tehdejší technologie výroby taktéž nedovolovala vyrobit spolehlivý nástroj požadovaných a rovněž opakovatelných vlastností. Rozmach keramických nástrojů začal na počátku 60. let. V té době úspěšně proběhl intenzivní výzkum, který měl za cíl odstranit hlavní nedostatky keramiky (nízká odolnost proti teplotním šokům, nízká ohybová pevnost a hrubozrnná struktura). Další výhodou také bylo, že výchozí suroviny, které jsou potřebné pro výrobu řezné keramiky, jsou snadno dostupné, poměrně levné a nejsou tak důležité jako wolfram a kobalt při výrobě slinitých karbidů. ¹³

Mezi první slinité keramické materiály patřily materiály na bázi Al_2O_3 , v jejichž složení se vyskytovalo kromě oxidu hlinitého i malé množství slinovacích přísad.

Keramiky typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ se na trh s materiály dostaly koncem 50. let a měly za úkol zvýšit odolnost proti vydrolování a spolehlivost. Avšak materiály, které se vyráběly metodou vysokoteplotního lisování, se objevily až začátkem 70. let. Dnes se jedná o velmi rozšířenou řeznou keramiku. Slinovací proces však byl s odstupem času změněn z vysokoteplotního lisování na vysokoteplotní izostatické lisování (HIP). Cílem této změny nebylo jen snížení ceny a zvýšení produktivity, ale i zlepšení mechanických vlastností.

Ve druhé polovině 80. let byly vyvinuty kompozity Al_2O_3 vyztužené vlákny SiC (whiskery). Jestli je použita keramika $\text{Al}_2\text{O}_3\text{+SiC}_w$ jako řezný nástroj, má $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ zvýšenou odolnost proti vydrolování a vylamování ostří. ¹³

Výskyt řezné keramiky, která je na bázi Si_3N_4 , se datuje od počátku 80. let. Nitrid křemíku, jenž je v tomto materiálu použit, jde vyrábět výhradně vysokotlakým slinováním nebo metodou HIP.

Keramiky na bázi Si_3N_4 a Al_2O_3 (mohou se také nazývat Sialon) se objevily na začátku 80. let. Oproti Al_2O_3 dokážou zvládat až dvojnásobné řezné rychlosti při relativně nízkém opotřebení. Toto však neplatí u obrábění ocelí a tvárných litin. Mají také výbornou odolnost proti teplotním šokům. ¹³

Tab. 2.2 Vývoj keramických materiálů na bázi Al_2O_3 ¹²

Charakteristika	Rok	Pevnost v ohybu [MPa]
Al_2O_3 pro formy a nástroje	1912÷1913	150÷250
Slinutý Al_2O_3	1930÷1931	200÷350
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Cr}_2\text{O}_3$	1937÷1938	300÷400
Vysokoteplotně lisovaný Al_2O_3	1944÷1945	500÷700
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ (0,5÷1,0 %)	1948÷1951	300÷500
$\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Mo}_2\text{C}-(\text{Mo})$	1951÷1959	350÷450
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Ti}$, TiC, TiC/WC	1955÷1958	300÷550
Submikrometrový Al_2O_3	1968÷1970	700÷900
Vysokoteplotně lisovaný $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}/\text{Ni}$		800÷1000
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$	1970÷1980	
Vysokoteplotně lisovaný $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiC}_w$ (20 až 30 obj. %)	1980	

2.2. VÝCHOZÍ MATERIÁLY A JEJICH VLASTNOSTI

Pro výrobu řezných keramik se používají materiály, jako jsou oxidy Al_2O_3 , Y_2O_3 , ZrO_2 , karbid TiC a nitridy TiN (ojediněle) a Si_3N_4 . Jsou to převážně chemické prvky, které jsou velmi stabilní a mají vysokou tvrdost, tlakovou pevnost a odolnost proti vysokým teplotám. Teploty tavení a tvrdost (podle Vickerse) jsou zaznamenány v tabulce 2.3.

Tab. 2.3 Teploty tavení a tvrdosti podle Vickerse ¹²

Materiál	Teplota tavení [°C]	Tvrdost [HV]
Al_2O_3	2050	2000
ZrO_2	2700	
Si_3N_4	1900	1000
SiC	2200	2500
KNB ¹⁾	(3000)	4700 (200)

1) kubický nitrid boru, hodnoty v závorce platí pro hexagonální nitrid boru

2.2.1. Oxid hlinitý - Al_2O_3

Je to bílá krystalická, která vzniká při spalování hliníku nebo dehydratací hydroxidu hlinitého. Nejčastěji se vyrábí z bauxitu pomocí Bayerovy metody, přičemž hodnota čistoty produktu po dokončení se pohybuje okolo 99,90 %. Prášky oxidu hlinitého s čistotou přesahující 99,98 % je založena na termickém rozkladu kamence. U těchto prášků však nejde použít již zmíněná Bayerova metoda. Několikanásobnou rekrystalizací kamence před tepelným rozkladem je možno dosáhnout krystaly s velmi jemnými primárními částicemi. Bohužel je tato metoda daleko dražší, než je metoda Bayerova.

2.2.2. Oxid zirkoničitý - ZrO₂

Je to bílá krystalická látka, jejíž existence se dá popsat ve třech krystalografických formách: ¹³

1. monoklinický (**m**) – vyskytuje se při nízkých teplotách, je termodynamicky stabilní do 950 °C a má měrnou hmotnost 5,6 g.cm⁻³,
2. tetragonální (**t**) – vyskytuje se při středních teplotách a měrná hmotnost je 6,1 g.cm⁻³,
3. kubický (**k**) – vyskytuje se při vysoké teplotě a jeho měrná hmotnost je 6,1 g.cm⁻³.

Oxid zirkoničitý má sice pouze 50 % tvrdosti Al₂O₃, ale zato má výrazně vyšší ohybovou pevnost a houževnatost.

Všechny aplikace ZrO₂ použité v inženýrství si žádají částečnou nebo úplnou stabilizaci struktury. To se provádí pomocí stabilizátorů, jako jsou: CaO, MgO, Y₂O₃ a CeO₂.

Příklady metod k výrobě oxidu zirkoničitého: ¹³

- alkalické tavení,
- chlorace,
- tepelný rozklad a redukce v elektrické peci,
- plazmový hořák.

2.2.3. Nitrid křemíku - Si₃N₄

Je to sloučenina, která se vyskytuje ve dvou modifikacích, a to α – nízkoteplotní a β – vysokoteplotní (β je sice měkčí než α, ale zato má vyšší lomovou houževnatost a vyšší pevnost). Tyto modifikace se od sebe liší pořadím vrstev Si-N při jejich skládání. Jsou také hexagonální.

Teplota transformace α→β je asi 1400 °C, měrná hmotnost modifikace α=3,184 g.cm⁻³ a β=3,187 g.cm⁻³. Obě dvě modifikace můžou být stabilizovány nečistotami. ¹³

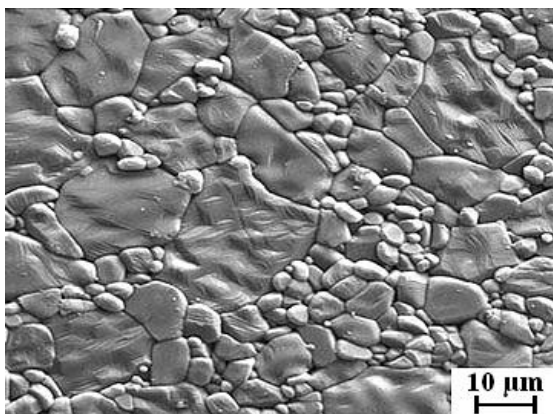
Příklady metod syntézy nitridu křemíku:

- přímá reakce prvků,
- karbotermická redukce a nitridace oxidu křemičitého,
- srážení z plynné fáze,
- teplotní rozklad diimidu křemíku. ¹³

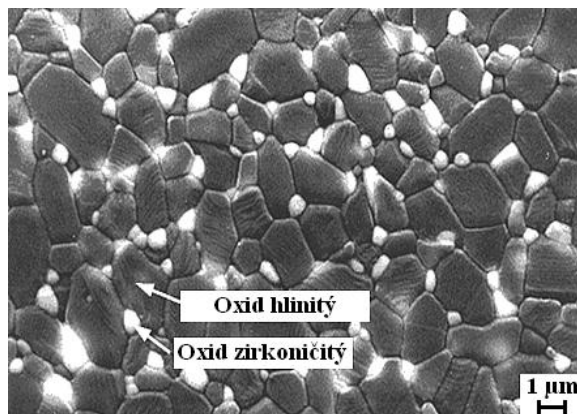
2.3. ROZDĚLENÍ A ZNAČENÍ

Pro dělení a značení řezných keramických materiálů však není žádná norma, a tak se povětšinou řezná keramika rozděluje následovně:

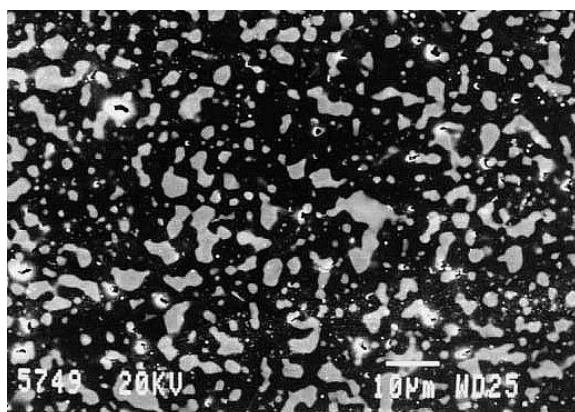
- Oxidová keramika:
 - Čistá keramika (symbol: **CA**) – Al₂O₃, (obr. 2.1)
 - Polosměsná keramika (symbol: **CA**) – Al₂O₃+ZrO₂, (obr. 2.2)
– Al₂O₃+ZrO₂ + CoO,
 - Směsná keramika (symbol: **CM**) – Al₂O₃+TiC, (obr. 2.3)
– Al₂O₃+Ti(C,N),
– Al₂O₃+ZrO₂ + TiC,
– Al₂O₃+TiC + TiN,
- Nitridová keramika (symbol: **CN**) – Si₃N₄,
– Si₃N₄+Y₂O₃,
– Si₃N₄+TiN a sialony (obr. 2.4).



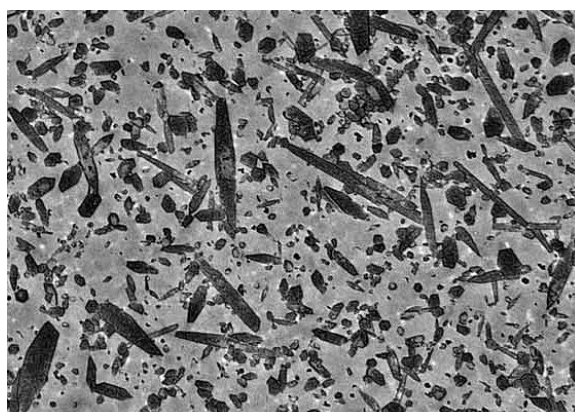
Obr. 2.1. Výbrus keramiky Al_2O_3 ²⁴



Obr. 2.2. Výbrus keramiky $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ ²³



Obr. 2.3. Výbrus keramiky $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ²

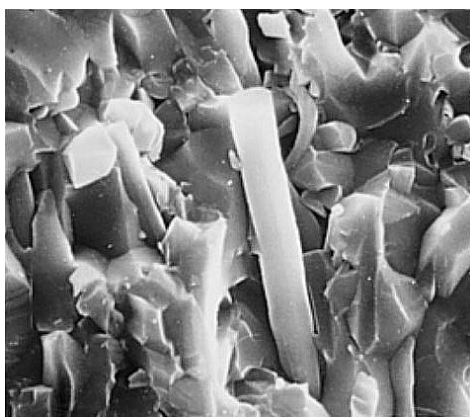


Obr. 2.4. Výbrus sialonové keramiky ²⁹

V současnosti se mohou skoro všechny druhy řezné keramiky vyrábět s whiskery (obr. 2.5), které řezný materiál vyztuží, anebo s otěruvzdornými CVD a PVD povlaky.

Řezná keramika $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{SiCw}$ ^x

$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{SiCw}$ řezná keramika obsahuje kromě nitridu křemíku také karbid křemíku vyztužený monokrystalickými diskontinuálními vlákny, jejichž velikost je v průměru 0,001 mm a na délku mají 0,1 mm, ale dané parametry se mohou měnit. Charakteristickou vlastností whiskerů je jejich vysoká pevnost v tahu. Mají také další výborné vlastnosti, a to jsou např.: vyšší houževnatost, odolnost proti opotřebení a teplotním šokům.



Obr. 2.5. Lomová plocha $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{SiCw}$ ³⁰

Whiskery jsou používány v keramických kompozitech, u kterých je důležité odolnost proti opotřebení. Tyto kompozity mají vynikající tepelnou stabilitu, pevnost a lomovou houževnatost. Jsou také používány k výrobě kovové a polymerní matrice kompozitů.

2.4. VÝROBA

Když se srovná proces výroby keramických řezných nástrojů s procesem výroby cermetů, tak je zde velká podobnost, a to, že se vyrábí pomocí metody práškové metalurgie. Rozdíl oproti cermetům je, že obsahují materiál, jenž je důležitý pro spojení zrn tvrdé fáze. Tento materiál však u řezné keramiky nelze najít a právě toto je ten důvod, proč jsou kladeny vysoké nároky, ať už na výrobní zařízení nebo na dodržování technologického postupu výroby.

2.4.1. Oxidové keramiky

Při výrobě této keramiky je zapotřebí základní surovina Al_2O_3 (oxid hlinitý), která však musí být jemnozrnná a velmi čistá. Dále se přidávají malé množství různých pomocných látek jako např. oxidy zirkonia, yttria, chromu, titanu, kobaltu molybdenu a karbidy wolframu a titanu atd. Právě tyto látky mají za úkol ulehčit slinování a zamezit růstu zrna.

Tato směs se pak po mokřém semletí rozprašováním vysuší, z čehož se získá prášek, který je soudržný a je lisován v automatických lisech na požadované tvary. Avšak než se bude tato směs lisovat, musí se do ní přimíchat přísady, které mají snížit tření při lisování, zlepšit tečení prášku a rovněž zlepšit zaplnění formy. Lisování oxidové keramiky probíhá na lisech s oboustranným tlakem. Keramické polotovary je možno také vyrábět pomocí izostatického lisování (kdy je využito hydrostatického tlaku kapaliny), vstřikovacím lisování (vhodné u velkosériové výroby těles se složitými tvary) a litím.

Vzorek, jenž byl vyroben pomocí metody HIP, měl v porovnání se vzorkem vyrobeným metodou beztlakového lisování daleko méně pórů a dutin a mnohem lepší mechanické vlastnosti (tabulka 2.4).

Tab. 2.4 Vliv HIP na mechanické vlastnosti keramik¹²

Vlastnosti	Al_2O_3		ZrO_2	
	Před HIP	Po HIP	Před HIP	Po HIP
Relativní hustota [%]	97,5	99,8	98,3	99,7
Tvrdost [HRA]	93,0	93,7	90,0	91,0
Ohybová pevnost [MPa]	490	735	980	1568
Lomová houževnatost [$\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$]	3,0	3,5	7,5	8,0

2.4.2. Nitridové keramiky

Nitrid křemíku se vyskytuje ve dvou krystalových strukturních modifikacích – α a β . Mikrostruktura těchto modifikací se však od sebe zřetelně liší. Modifikace α má rovnoosé krystaly stejného tvaru, avšak modifikace β má jednozrnnou matici, v které jsou rozptýleny protáhlé krystaly β . Jelikož je každá modifikace jiná, dají se předpokládat i rozličné mechanické vlastnosti. $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ má vyšší tvrdost, zatímco $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ má zase vyšší lomovou houževnatost.

Výroba Si_3N_4 se uskutečňuje pomocí metody slinování. Ovšem při atmosférickém tlaku je výroba daleko těžší než u oxidových keramik (Al_2O_3 , ZrO_2). Faktory, které ji ovlivňují, jsou nižší samodifuze a vysoké teploty rozkladu. Samodifuze zamezuje získání teoretické hustoty materiálu a vysoké teploty sice podporují proces difuze, avšak jsou až příliš vysoké, takže hrozí rozklad materiálu před slinováním. Právě proto se používají jako podpora při zhutňování a slinování různé oxidy kovů, jenž vytvářejí s Si_3N_4 v průběhu ohřevu tekutou fázi, která zrychluje přesunování hmoty.

Při výrobě keramických materiálů tzv. Sialonů se nemusí využít technologie HIP, jelikož kompaktizace vzorku v procesu slinování probíhá za přítomnosti tekuté fáze i bez působení tlaku^x. Tyto materiály mají docela vysokou houževnatost. I další své prospěšné vlastnosti si sialony uchovávají za vysokých teplot. U sialonových keramik při použití metody HIP nedochází ke zvýšení tvrdosti a ani lomové houževnatosti (tabulka 2.5). Pouze vytěsnění pórů má za následek zvýšení měrné tvrdosti.

Tab. 2.5 Změna vlastností keram. materiálů po aplikaci metody HIP¹²

Materiál	Měrná hmotnost [$\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$]		Tvrdost [HRA]	
	Slinování	HIP	Slinování	HIP
Al_2O_3	3,94	3,97	93,3	94,5
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	4,27	4,37	94,2	95,0
Sialon	3,24	3,26	92,7	92,7

V aplikacích pro břitové destičky keramických řezných nástrojů se nejčastěji používá posledně jmenovaný materiál:¹³

- reaktivně vázaný nitrid křemíku – RBSN;
- slinutý nitrid křemíku – SSN;
- nitrid křemíku lisovaný za vysokých teplot – HPSN
- nitrid křemíku vyrobený metodou HIP.

Reaktivně vázaný nitrid křemíku (RBSN – reaction bonded silicon nitride)¹³

Výroba probíhá nitridací práškového křemíku v rozmezí teplot ($1200\div 1600$) °C. Nejdříve se vytváří kompaktní těleso z prášku Si (lití, lisování atd.) a poté přichází na řadu reakce s dusíkem. Jelikož je tato reakce exotermická, je nutné, aby byla pozorně řízena.

Reaktivně vázaný nitrid křemíku je pórovitý a jeho hustota je menší jak 85 % teoretické hustoty. Právě kvůli této vlastnosti má výrobek i další škodlivé vlastnosti. Zvýšení hustoty je možno docílit přidáním přísadových prvků (např. bór) nebo sloučenin (např. CrN) před nitridací nebo slinováním. Tento výrobek je pak nazýván jako slinutý reaktivně vázaný nitrid křemíku (**PSRBSN**). Další možnost jak zvýšit hustotu je nasycení pórovitého nitridovaného těla pomocí vodních roztoků nebo par různých solí (vápníku, chromu nebo barya).

Slinutý nitrid křemíku (SSN – sintered silicon nitride)¹³

Vyrábí se slinováním zhutňovacími přísadami (7 až 15 obj. %) za teplot ($1600\div 1800$) °C uvnitř dusíkové atmosféry při tlaku ($1\div 10$) MPa. Původně byly používány jako přísady oxidy MgO , Y_2O_3 a Al_2O_3 . Mechanismus zhutňování slinutého nitridu křemíku pomocí MgO se zakládá na vzniku tekuté fáze taveniny $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$, jenž v průběhu ochlazování ztuhne na $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$. Pokud jsou ale použity jako přísady jiné oxidy jako např. BeO , CeO_2 , tak se objeví křemičité taveniny vytvářející kompletní oxinitridové fáze. Materiál, který se získal slinová-

ním nitridu křemíku s přísadami, má normálně vysokou hustotu, avšak právě kvůli přidáním přísad může dojít za vysokých teplot ke zhoršení mechanických vlastností.

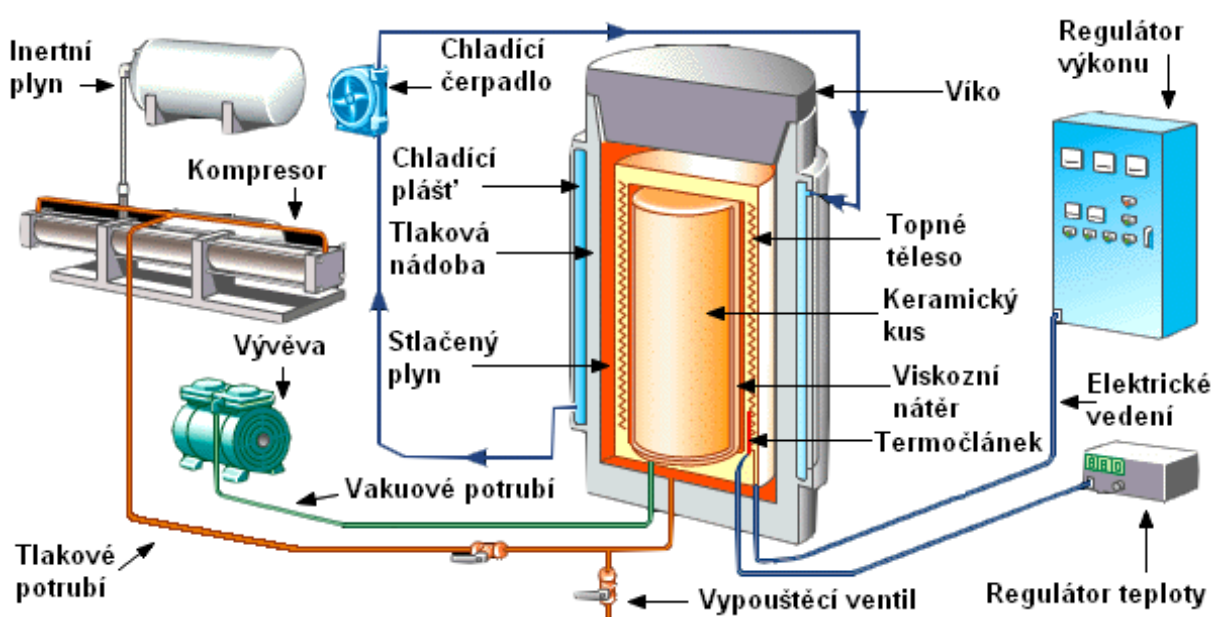
Nitrid křemíku lisovaný za vysokých teplot (HPSN – hot pressed silicon nitride)¹³

Vyrábí se lisováním prášku Si_3N_4 v dusíkové atmosféře s přidáním přísad, která mají za úkol ztuhovat nitrid křemíku v teplotním rozmezí (1500÷1900) °C a také při tlaku (15÷50) MPa. V podstatě se jedná o lisovací formu předehřátou na slinovací teplotu. Zde probíhá nepřímý ohřev formy vnější odporovou pecí, zatímco u grafitové formy je ohřev přímý odporový nebo indukční. Tlak je zpravidla vyvozován hydraulicky. Existují i lisy s pákovým přenosem síly. Počáteční prášek obsahuje prioritně rovnoosá zrna typu $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$, zatímco zrna v lisovaném tělese jsou protáhlé ($\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$). Lisování za vysokých teplot požaduje mnohem méně přísad než běžné slinování. Jelikož je hlavní fáze při vysokoteplotním slinování právě $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$, tak se u materiálu vyrobeného tímto způsobem nacházejí vysoké hodnoty mechanických vlastností a vysoká hustota. Nevýhodou této metody je velmi omezený tvar výrobku, složitost výrobního zařízení a potíže při výrobě více vzorků najednou.

Nitrid křemíku vyrobený metodou HIP – hot isostatic pressing¹³

Při výrobě Si_3N_4 se dá použít stejný princip výroby, který se používá i u slinutých karbidů, tj. metoda vysokoteplotního izostatického lisování (obr. 2.6). U této metody se slinované těleso vystaví všestrannému tlaku plynu (nejčastěji argon, dále pak i dusík) až 200 MPa, který dokáže zachovat původní tvar. Na rozdíl od předchozí metody dokáže metoda HIP vyrábět produkty s menším obsahem přísad majících lepší mikrostrukturu. Vysoký tlak taktéž podporuje odstraňování všelijakých mikrostrukturních defektů. To má za následek zřetelný kladný vliv na mechanické vlastnosti již hotových výrobků.

Jelikož mají materiály před lisováním vysokou pórovitost, musí se nejdříve ve vakuu obalit nepropustným materiálem zabraňujícím vniku plynů do pórů. Jako obal (bývá i vícevrstvý) se používá sklo, skelné nebo keramické prášky. Ty jsou za nižší teploty slinuty a až pak se může teprve aplikovat v horkém lisu tlak plynu. Materiál, který se slinuje, je od obalu izolován pomocí práškové vrstvy (prášek nitridu boru). Obal se po skončení procesu musí odstranit chemicky nebo pískováním.



Obr. 2.6 Metoda vysokoteplotního izostatického lisování⁷

Vysokoteplotní izostatické lisování patří v současnosti mezi nejsložitější a nejnáročnější metodu, při které dochází ke zhutňování keramik. Výhodou je, že dokáže vyrobit materiál, jenž má vysokou pevnost a také malý rozptyl hodnot mechanických vlastností.

2.5. FYZIKÁLNÍ, MECHANICKÉ VLASTNOSTI A MIKROSTRUKTURA

Řezná keramika se jako materiál s velmi jemnými a malými zrny charakterizuje vysokou tvrdostí, nízkou měrnou hmotností a nízkou houževnatostí. Mechanické vlastnosti (tab. 2.6) jsou ovlivňovány mnoha faktory. Mezi ně se řadí struktura, délková roztažnost, tepelná vodivost, délková roztažnost a omezená tvárnost. Rozhodující a zároveň i degenerační roli na maximální hodnoty mechanických vlastností má však jen jedna, a to omezená tvárnost.

Tab. 2.6 Vlastnosti řezných keramik¹²

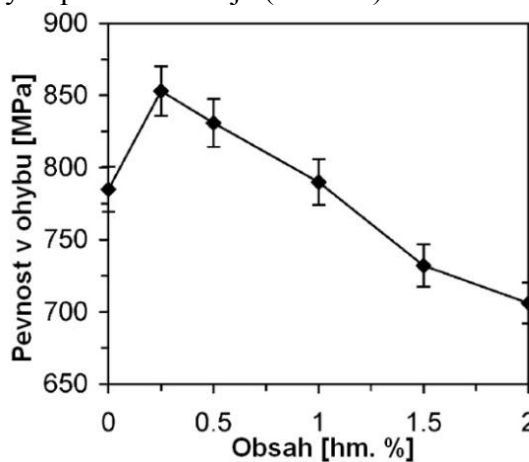
Vlastnosti	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	Al ₂ O ₃ +TiC	Sialony
Tvrdość [GPa]	17,2	16,5	20,6	15,6
Modul pružnosti v tahu [GPa]	400	390	420	300
Lomová houževnatost [MPa.m ^{1/2}]	4,3	6,5	4,5	6,5
Souč. délkové roztažnosti [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	8,0	8,5	8,5	3,1
Měrná tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	10,5	8,0	13,0	9,7

Z pohledu struktury mají vliv na mechanické a lomové vlastnosti keramiky obzvláště tyto skutečnosti:¹³

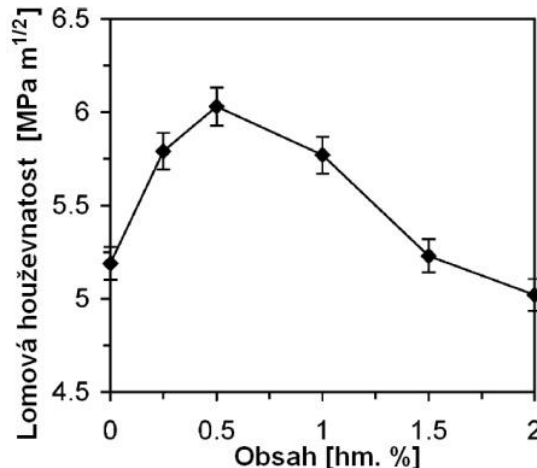
- složitější krystalová struktura v porovnání s kovy,
- charakter chemické vazby s převažující kovalentní nebo iontovou vazbou,
- prostorové uspořádání částic různých tvarů a rozměrů, fází, pórů a trhlin.

2.5.1. Vliv yttria na pevnost a tvrdost řezné keramiky²⁷

Jako výchozí surovina byl použit vysoce čistý hliník a (W, Ti)C prášky s průměrnou velikostí 0,8 μm a 1,0 μm. Tyto suroviny byly poté navzájem spolu smíchány (s 35 % (W, Ti)C) a dopovány s různým množstvím až 2 % čistého vzácného kovu, yttria (Y). Maximální pevnost v ohybu keramiky Al₂O₃/(W, Ti)C je asi 853 MPa při přidání 0,25 % yttria, což je vyšší hodnota než má daný materiál bez tohoto prvku. Se zvýšením obsahu yttria se pak pevnost v ohybu pomalu snižuje (obr. 2.7).

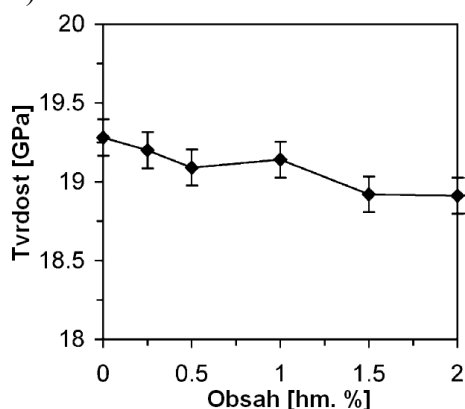


Obr. 2.7 Pevnost v ohybu²⁷



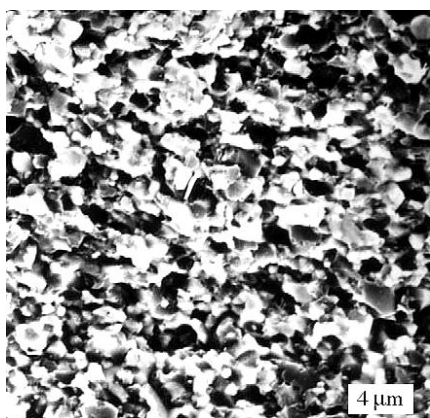
Obr. 2.8 Lomová houževnatost²⁷

Přidáním yttria se může zlepšit lomová houževnatost keramických materiálů $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{W}, \text{Ti})\text{C}$, když je jeho obsah nižší než 1,5 %. Je-li přidáno 0,5 % yttria, pak lomová houževnatost dosahuje $6,1 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ (obr. 2.8). Nicméně přidání yttria má za následek obecně mírný pokles tvrdosti (obr. 2.9).

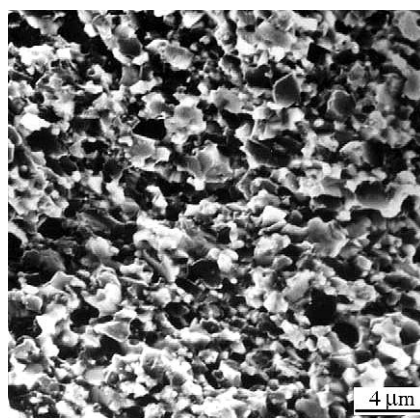


Obr. 2.9 Tvrdost²⁷

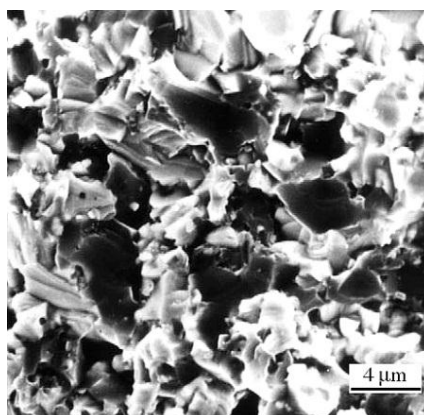
Mikrostruktura keramických materiálů $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{W}, \text{Ti})\text{C}$ zpevněných vzácnými kovy je ovlivněna množstvím přísad vzácných kovů. Mikrostruktura u keramiky, do které je přidáno 0,25 % yttria (obr. 2.10), je skoro stejná jako u keramiky, u které není použita žádná přísada vzácného kovu (obr. 2.11). $(\text{W}, \text{Ti})\text{C}$ fáze je rozdělena rovnoměrně s velikostí zrn ($1\div 2$) μm v matici Al_2O_3 . Je-li do keramiky $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{W}, \text{Ti})\text{C}$ přidáno méně než 0,5 % yttria, tak to má jen velmi malý vliv na změnu mikrostruktury.



Obr. 2.10 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,25\% \text{ Y}^{27}$



Obr. 2.11 $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{W}, \text{Ti})\text{C}^{27}$



Obr. 2.12 $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\% \text{ Y}^{27}$

Když se obsah yttria zvýší na 2 %, tak bude velikost zrn v materiálu větší než 2 μm a některé dosáhnou dokonce i (6÷7) μm (obr. 2.12). Přidáním většího množství yttria bude mít za následek abnormální růst zrna, nehomogenní distribuci zrn a snížení pevnosti v ohybu na 706 MPa.

2.5.2. Vliv mikročástic WC a nanočástic TiC na mechanické vlastnosti řezných keramik ³¹

Základní keramiky Al_2O_3 jsou jeden z nejvhodnějších materiálů pro obrábění kalených ocelí díky jejich vysoké tvrdosti, odolnosti proti opotřebení, tepelné odolnosti a chemické stálosti. Ke zlepšení již tak dobrých mechanických vlastností byla základní keramika Al_2O_3 zesílena a zpevněna přísadami mikročástic jako TiC, TiN, ZrO_2 , (W, Ti)C, Ti(C, N), TiB_2 , SiC nebo SiC whiskerů. Tabulka 2.7 ukazuje kompozity s různým obsahem mikro částic.

Tab. 2.7 Složení (obj. %) různých kompozitů ³¹

Kompozit	Al_2O_3 (0,5 μm)	TiC (140 nm)	WC (0,5 μm)	MgO	NiO
A	64	21	14	0,5	0,5
B	59	24	16	0,5	0,5
C	54	27	18	0,5	0,5
D	59	28	12	0,5	0,5
E	59	32	8	0,5	0,5
F	59	36	4	0,5	0,5

Tabulka 2.8 ukazuje průměrné hodnoty pro relativní hustotu, pevnost v ohybu, lomovou houževnatost, tvrdost podle Vickerse pro šest daných kompozitů (tab. 2.7). Z ní je patrné, že kompozit B, jenž obsahuje 24 obj. % nanočástic TiC a 16 obj. % mikročástic WC má nejvyšší mechanické vlastnosti.

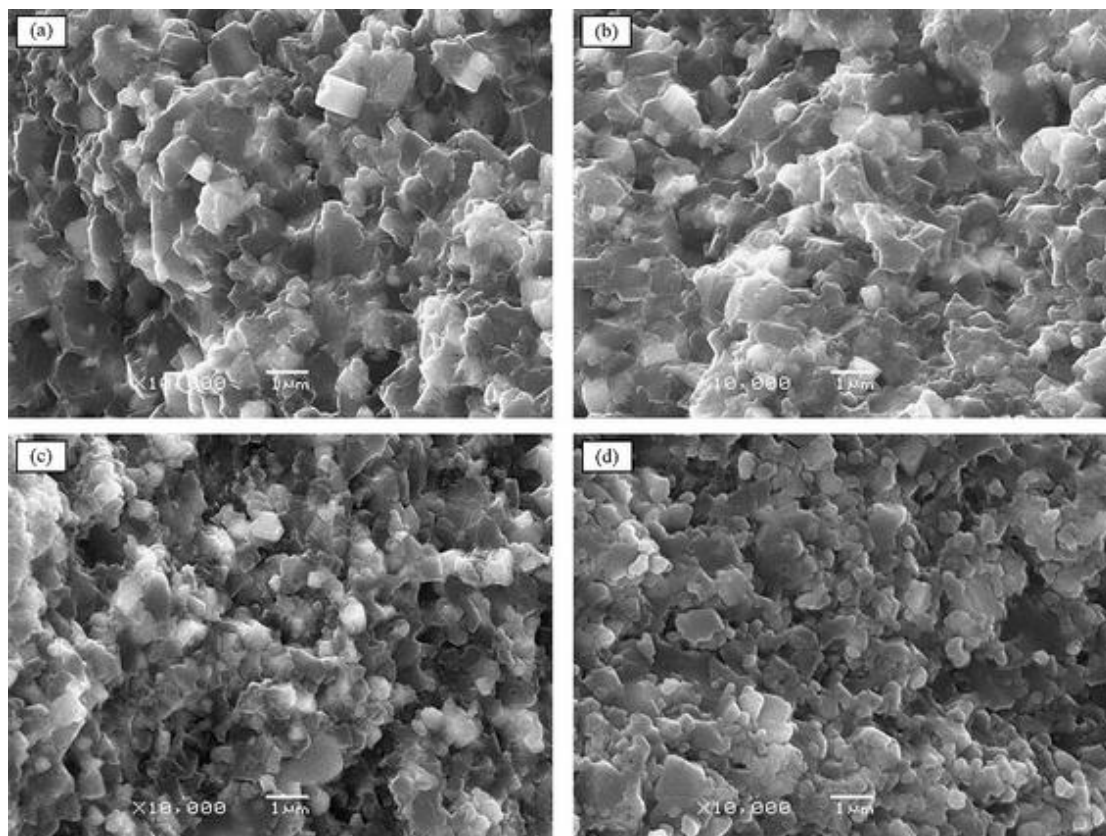
Tab. 2.8 Vlastnosti kompozitů ³¹

Kompozit	Relativní hustota [%]	Pevnost v ohybu [MPa]	Lomová houževnatost [$\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$]	Tvrdost podle Vickerse [GPa]
A	98,01	575	5,55	19,02
B	98,90	842	6,82	22,09
C	97,73	635	4,99	17,91
D	94,13	455	5,32	16,42
E	98,69	499	5,11	18,00
F	98,86	620	5,07	19,97

Obrázek 2.13 zobrazuje lomové plochy daných keramik s přísadami. U kompozitu A, který má snížený obsah sekundárních fází (nanočástice TiC a mikročástice WC), není stejnorodá zrnitost s abnormálním růstem zrn dílčích Al_2O_3 matic jak je znázorněno na obr 2.13a. S nárůstem sekundární fáze, obzvláště mikročástic TiC, byl posun hranice zrn přerušen TiC a WC částicemi, které se vyskytují na hranicích zrn v průběhu slinování. Tato skutečnost vede k potlačení růstu zrn. Mnoho nanočástic TiC působí jako jádra pro tvorbu vnitřní struktury zrn Al_2O_3 . Zrna TiC, vytvořená interkrystalickým i transkrystalickým mechanismem přispívají k dobrému zhutnění struktury a malým zrnům, jak je vidět na obr. 2.13b. Jsou také prospěšné pro mechanické vlastnosti kompozitu B.

Jestli se však obsah sekundárních fází zvyšuje, tak TiC částice mají tendenci shromažďovat se na hranicích zrn, což vede k nestejnorodé struktuře, k vyššímu objemu pórů a ke snížení poměru transkrystalických lomů (obr. 2.13c), které přispívají ke zhoršení mechanických vlastností kompozitu.

Pokud je ale ustálený objemový podíl Al_2O_3 (59 obj. %), tak zvýšení objemového poměru TiC k WC vede k přechodu smíšených lomových režimů interkrystalického a transkrystalického typu na převládající interkrystalický typ lomu (Obr. 2.13d). Zvýšení obsahu nanočástic TiC a zároveň snížení obsahu mikročástic WC vede ke zjemnění zrna Al_2O_3 matrice.



Obr. 2.13 Lomové plochy různých kompozitů: a) kompozit A, b) kompozit B, c) kompozit C a d) kompozit F.³¹

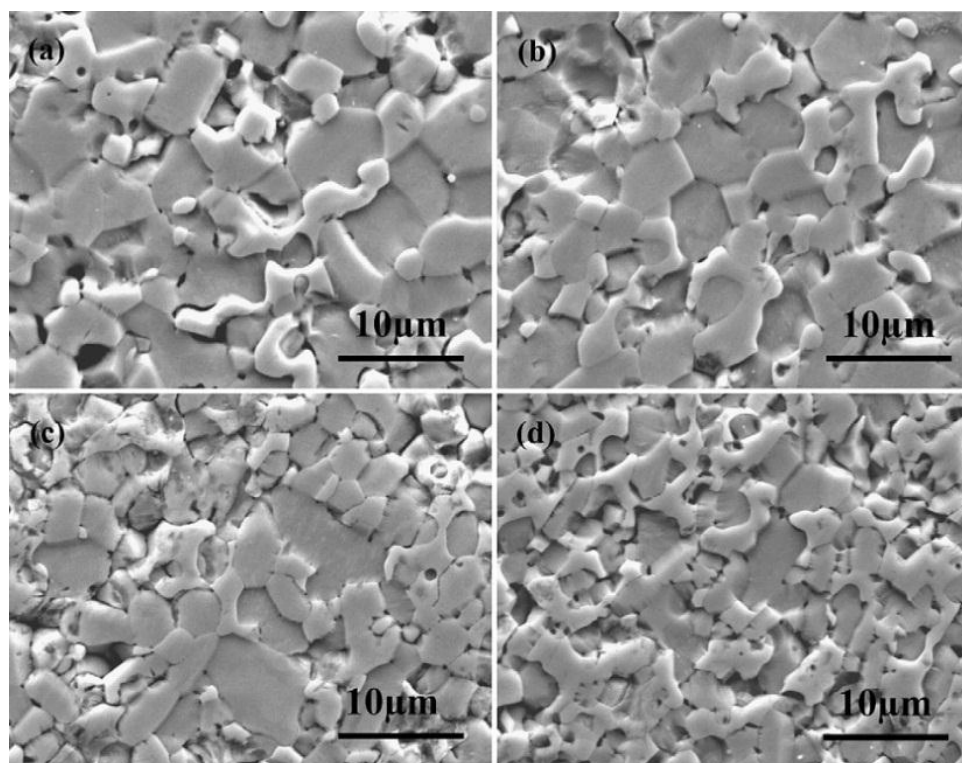
2.5.3. Vliv ZrO_2 na strukturu a mechanické vlastnosti řezných keramik¹⁹

Řezné keramiky $\text{ZrB}_2\text{-ZrO}_2$ s různým obsahem ZrO_2 od 15 do 30 objemových % (tab. 2.9) byly vyrobeny pomocí HIP. Obsah oxidu zirkoničitého má viditelný efekt na mikrostrukturu a mechanické vlastnosti (pevnost v ohybu, tvrdost) této řezné keramiky.

Tab. 2.9 Zkratky při značení keramik s daným obsahem ZrO_2 ¹⁹

Složení	Označení
$\text{ZrB}_2\text{-15 obj. \% ZrO}_2$ (obr. 2.12a)	ZB15Z
$\text{ZrB}_2\text{-20 obj. \% ZrO}_2$ (obr. 2.12b)	ZB20Z
$\text{ZrB}_2\text{-25 obj. \% ZrO}_2$ (obr. 2.12c)	ZB25Z
$\text{ZrB}_2\text{-30 obj. \% ZrO}_2$ (obr. 2.12d)	ZB30Z

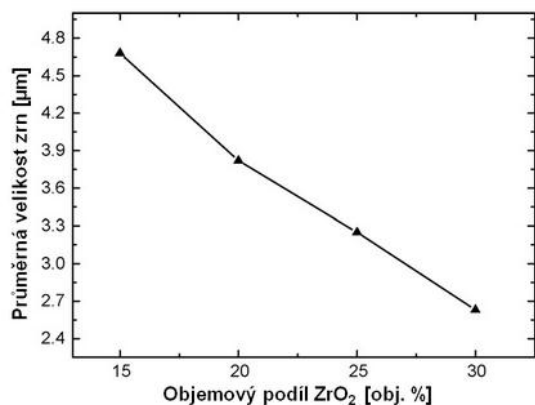
Obrázek 2.14 zobrazuje výbrusy řezné keramiky vyrobené pomocí metody HIP. S nárůstem obsahu ZrO_2 se mikrostruktura stává hustější.



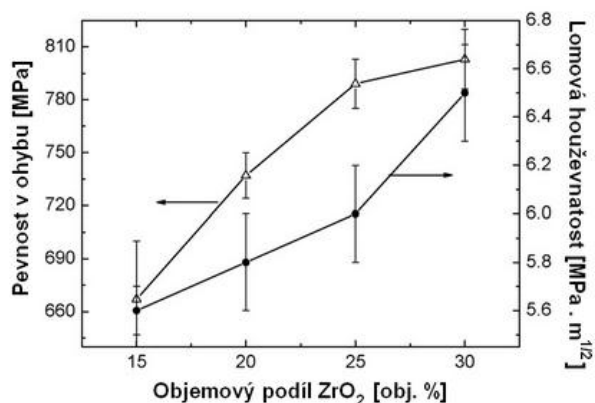
Obr. 2.14 Lomové plochy řezné keramiky ZrB_2-ZrO_2 s různým obsahem ZrO_2 ¹⁹

Průměrná velikost zrna daných řezných keramik se snižuje z 4,7 μm pro ZB15Z na 2,6 μm pro ZB30Z (obr. 2.15). Změnu zrnitosti lze postřehnout již z obrázku 2.14. Zavedením menší sekundární fáze, tj. ZrO_2 , se omezí růst zrn při lisování za tepla. Další způsob jak omezit růst zrn je zhutňování.

Pevnost v ohybu těchto čtyř keramik je zobrazena v grafu na obrázku 2.16. Zvýšení pevnosti v ohybu nastává, když je v materiálu obsaženo více objemových procent ZrO_2 . I když je pevnost v ohybu u keramiky ZB15Z docela vysoká (667 MPa), tak ještě vyšších hodnot dosahuje keramika ZB30Z (803 MPa). Je to způsobeno hustější mikrostrukturou a jemnějšími částicemi.

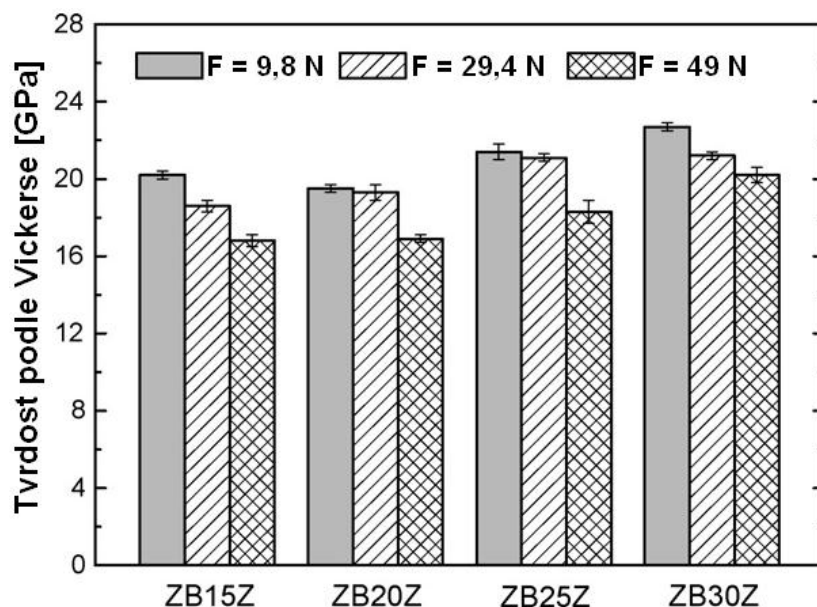


Obr. 2.15 Průměrné velikosti zrn s objemem od 15 do 30 obj. %¹⁹



Obr. 2.16 Pevnost v ohybu a lomová houževnatost ZrB_2-ZrO_2 řezné keramiky¹⁹

Tvrdość byla měřena podle Vickerse u teplem lisované řezné keramiky ZrB_2-ZrO_2 při třech různých zátěžích: 9,8 N; 29,4 N a 49 N. Vyšší obsah ZrO_2 a hustší mikrostruktura jsou hlavními vlivy na zvýšení tvrdosti. Řezna keramika s označením ZB30Z dosahuje hodnoty tvrdosti 22,7 GPa pod zatížením 9,8 N. Závislost zatížení na tvrdosti je celkem výrazná a při zvýšení zatížení se tvrdost u všech čtyř druhů keramik snižuje, jak je zobrazeno na obrázku 2.17.



Obr. 2.17 Tvrdość podle Vickerse u daných keramik při třech různých zátěžích¹⁹

2.5.4. Vliv CaF_2 na mechanické vlastnosti, mikrostrukturu a mechanismus opotřebení řezných keramik Al_2O_3/TiC

2.5.4.1. Vliv CaF_2 na mechanické vlastnosti a mikrostrukturu

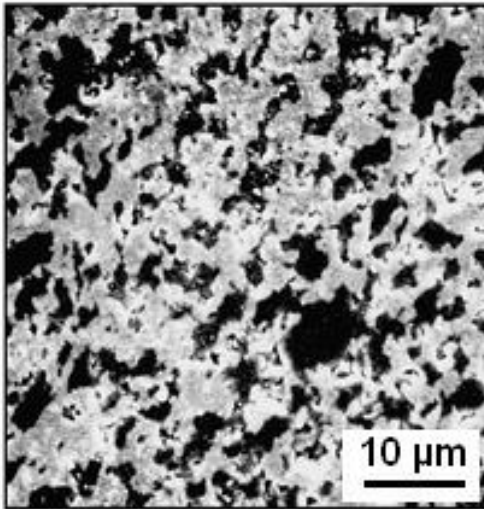
Vliv CaF_2 na mechanické vlastnosti, mikrostrukturu a mechanismus opotřebení řezných keramik Al_2O_3/TiC zkoumali ve své studii autoři Jiaxin, Tongkun, Xuefeng a Jianhua.¹⁴ Mechanické vlastnosti keramických řezných nástrojů s a bez přidavku tuhých maziv CaF_2 jsou uvedeny v tabulce 2.10. Z ní lze vyčíst, že přidavky tuhých maziv CaF_2 v matici Al_2O_3/TiC vedou k poklesu v pevnosti v ohybu, lomové houževnatosti a tvrdosti v porovnání s normálním kompozitem Al_2O_3/TiC .

Tab. 2.10 Mech. vlastnosti keram. řezných nástrojů s a bez přidavku tuhých maziv CaF_2 ¹⁴

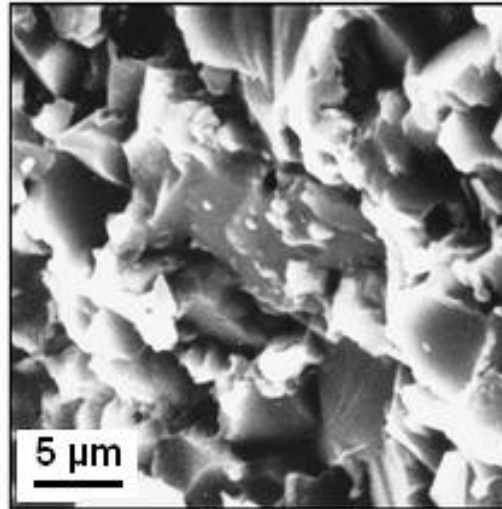
Kompozit (obj. %)	Tvrdość [GPa]	Pevność v ohybu [MPa]	Lomová houževnatost [MPa.m ^{1/2}]
$Al_2O_3/25\%TiC$	19,5 ± 0,7	788,0 ± 31	4,6 ± 0,3
$Al_2O_3/67,5\%TiC/10\%CaF_2$	16,1 ± 0,8	673,0 ± 38	3,6 ± 0,4

Mikrostruktura, která je typická pro keramický řezný nástroj $Al_2O_3/TiC/CaF_2$ vyrobený pomocí vysokoteplotního lisování, je zobrazena na obrázku 2.18a. Na povrchu struktury byly identifikovány bílé plochy jako TiC a CaF_2 . Z obrázku je patrné, že jsou rovnoměrně rozloženy po celé ploše matrice. Obrázek 2.18b ukazuje lomové plochy již zde uvedeného

keramického řezného nástroje. Je to hrubý odhad lomové plochy, ze které vyplývají smíšené transkrystalické a interkrystalické lomové režimy.



Obr. 2.18a Výbrus $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}/\text{CaF}_2$ řezné keramiky¹⁴

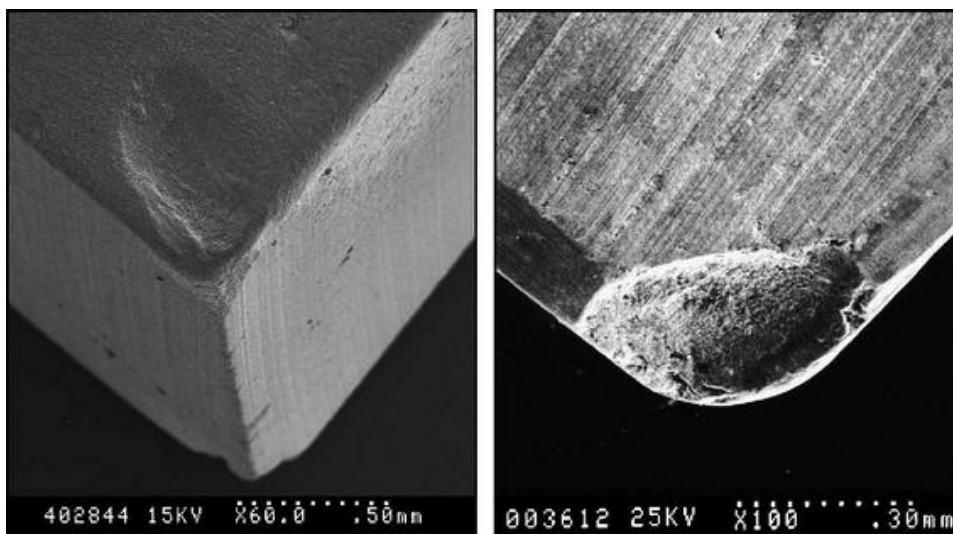


Obr. 2.18b Lomová plocha $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}/\text{CaF}_2$ řezné keramiky¹⁴

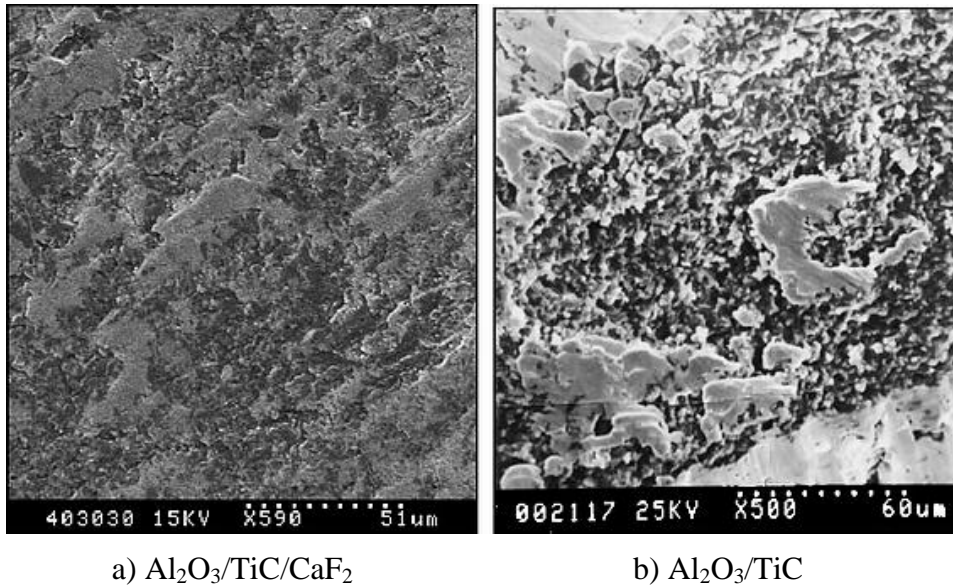
2.5.4.2. Vliv CaF_2 na mechanismus opotřebení

Na obrázku 2.19 jsou formy opotřebení řezného keramického $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ a $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}/\text{CaF}_2$ při obrábění kalených ocelí při řezné rychlosti 100 m/min po dobu 10 min. Z toho vyplývá, že řezné keramické nástroje $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ bez přídavku tuhých maziv CaF_2 byly hodně opotřebovány. Špička a ostří nástroje byly kompletně zdeformovány. I když v má v sobě řezný keramický řezný nástroj obsažený přídavky tuhých maziv CaF_2 , tak i ten má povrchu řezného nástroje obvyklý výmol.

Hlavní mechanismus opotřebení řezného nástroje $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ je adheze a abraze. Povrch je u řezných keramik $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}/\text{CaF}_2$ relativně hladký oproti $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ a bez větších rýh nebo škrábanců (obr. 2.20)

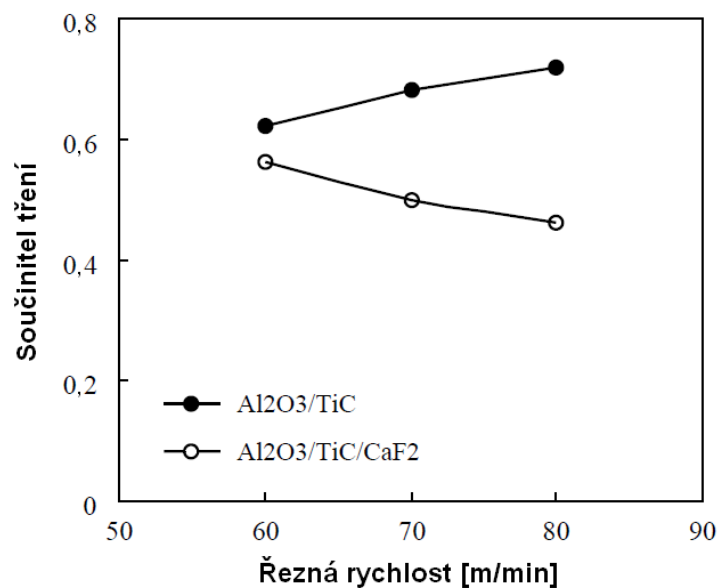


Obr. 2.19 Formy opotřebení $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ a $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}/\text{CaF}_2$ řezného keramického nástroje¹⁴



Obr. 2.20 Povrch kalené oceli při obrábění keramickým řezným nástrojem ¹⁴

Řezná rychlost má důležitý vliv na součinitel tření na stykové ploše mezi třískou a nožem. Jak je vidět na obrázku 2.21, tak řezná keramika $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}/\text{CaF}_2$ má při stejné řezné rychlosti jako řezná keramika $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ mnohem nižší součinitel tření. V dnešní době je trend, že se výrobci snaží dělat keramické řezné nástroje s nízkým koeficientem tření při stávajících řezných rychlostech.

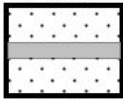
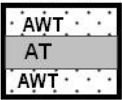
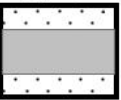

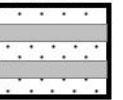
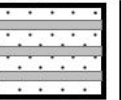
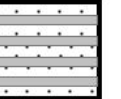


Obr. 2.21 Graf závislosti součinitele tření na řezné rychlosti ¹⁴

2.5.5. Mechanické vlastnosti a mikrostruktura multivrstvých řezných keramik $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{W},\text{Ti})\text{C}$ a $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$

O multivrstvých keramických řezných nástrojů $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{W},\text{Ti})\text{C}$ a $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ s různým poměrem tloušťek mezi jednotlivými vrstvami pojednávali ve své studii autoři Jianxin, Zhenxing, Dongling, Hui, Xing, Jun. ¹⁵ Jejich výroba probíhala vysokoteplotním lisováním s cílem způsobit zbytkové tlakové napětí ve vnější vrstvě.

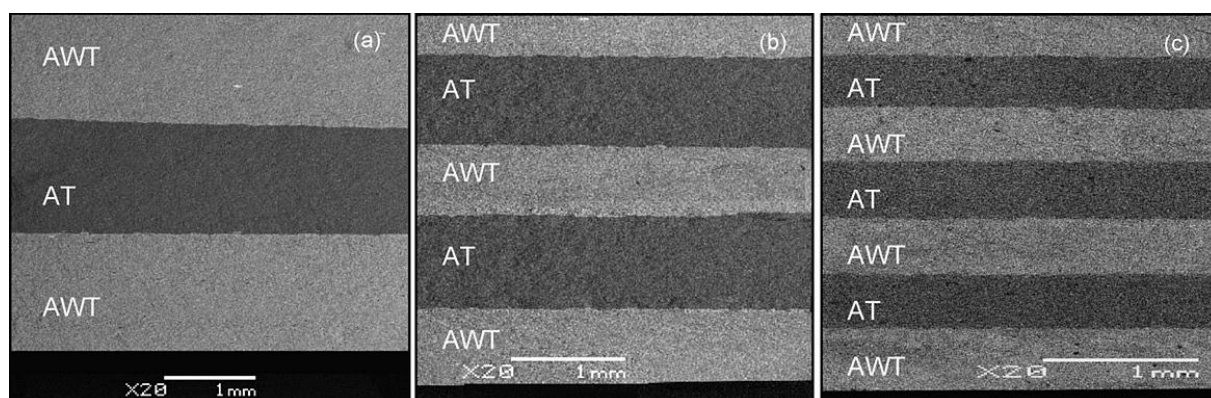
Stavba AWT + AT keramických řezných nástrojů s různým poměrem tloušťek a počtu vrstev je zobrazena na obrázku 2.22.

Kódové označení	LT-1	LT-2	LT-3	LT-4	LT-5	LT-6	LT-7
Struktura							
Počet vrstev	3	3	3	3	5	7	9
Poměr tloušťek	0,5	1	2	8	1	1	1

Obr. 2.22 AWT + AT keramické řezné nástroje s různým poměrem tloušťek a počtu vrstev¹⁵

Vrstvy se skládají z odlišných složek, ale vždy jedna po druhé. Vnější vrstvy jsou pokaždé složeny ze stejné složky (AWT). Vzhledem k tomu že jsou na vnějších stranách složky AWT, tak se právě na nich budou tvořit při výrobě zbytková tlaková pnutí. Poměr tloušťek mezi složkami vrstev je definována jako tloušťka vnější vrstvy AWT ku tloušťce vnitřní vrstvy AT.

Průřezy vrstev keramických řezných nástrojů AWT + AT s různým poměrem tloušťek a počtem vrstev jsou uvedeny na obr. 2.23, kde světlé vrstvy odpovídají AWT a tmavé vrstvy AT. U jednotlivých vrstev je jasně viditelné, že AWT a AT vrstvy jsou kompaktní a bez dutin, jsou jednotné a přechody mezi jednotlivými vrstvami jsou rovné a dobře čitelné.



Obr. 2.23 Mikrostruktura vybraných vrstev AWT + AT řezných keramických nástrojů¹⁵

Tabulka 2.11 uvádí jednotlivé materiálové vlastnosti složek AWT a AT jako jsou hustota, tepelná roztažnost, Youngův modul pružnosti a Poissonova konstanta.

Tab. 2.11 Materiálové vlastnosti jednotlivých složek AWT a AT¹⁵

Označení	Složení	Hustota [g.cm ³]	Tepelná roztažnost [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	Youngův modul pružnosti [GPa]	Poissonova konstanta
AWT	Al ₂ O ₃ /45 % (W,Ti)C	6,50	7,250	448	0,232
AT	Al ₂ O ₃ /55 % TiC	4,73	8,014	417	0,223

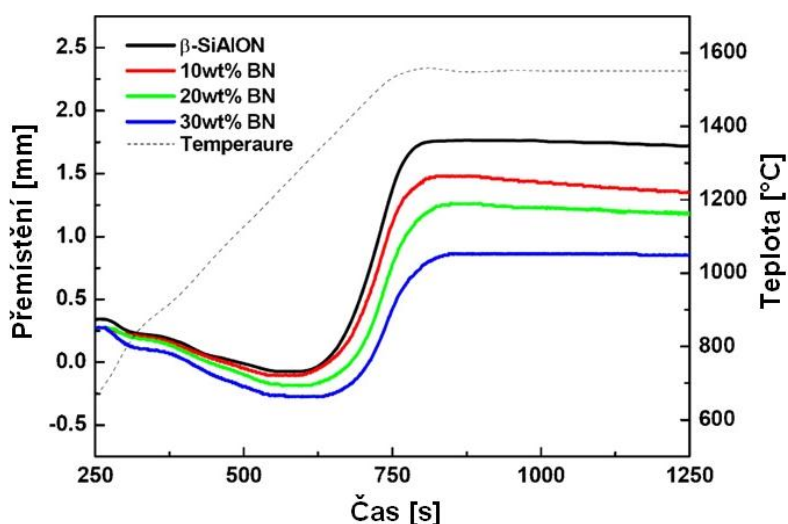
V tabulce 2.12 jsou uvedeny hodnoty lomové houževnatosti a tvrdosti na vnější vrstvě. Právě vnější vrstva z vícevrstvých keramických řezných materiálů s vysokým poměrem tloušťek vykazuje vysoké hodnoty lomové houževnatosti a tvrdosti. Ve srovnání s materiálem bez vrstev jsou tyto hodnoty také větší.

Tab. 2.12 Lomová houževnatost a tvrdost na vnější vrstvě keramického řezného nástroje¹⁵

Vzorek	Poměr tloušťek	Počet vrstev	Tvrdost [GPa]	Lomová houževnatost [MPa.m ^{1/2}]
LT-1	0,5	3	20,5 ± 0,9	6,3 ± 0,5
LT-2	1	3	20,8 ± 1,0	7,3 ± 0,5
LT-3	2	3	21,0 ± 1,0	8,4 ± 0,5
LT-4	8	3	21,9 ± 1,0	10,4 ± 0,6
LT-5	1	5	21,7 ± 1,1	10,0 ± 0,6
LT-6	1	7	21,8 ± 1,1	10,1 ± 0,6
AWT		1	19,9 ± 0,9	4,9 ± 0,4

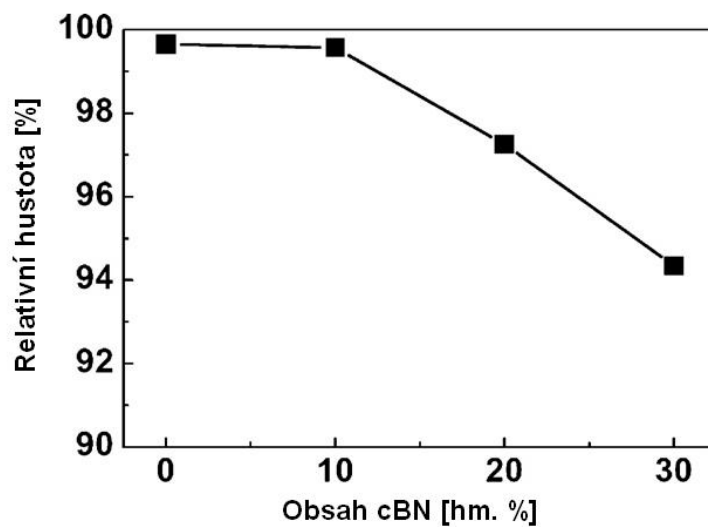
2.5.6. Mechanické vlastnosti a mikrostruktura kompozitů cBN/β-Sialon²⁸

Tyto kompozity byly vyrobeny slinováním v jiskrovém plazmatu. Jak je již dobře známo, tak transformace z cBN na hBN může probíhat slinováním bez použití vysokého tlaku. Přítomnost hBN v získaných kompozitech může nastat kvůli tvorbě přechodné kapalné fáze v průběhu slinování, která urychluje transformaci cBN na hBN pomocí rozpustně precipitačního mechanismu. Chování zkoumaných kompozitů cBN/β-Sialon při zhutňování je na obrázku 2.24.



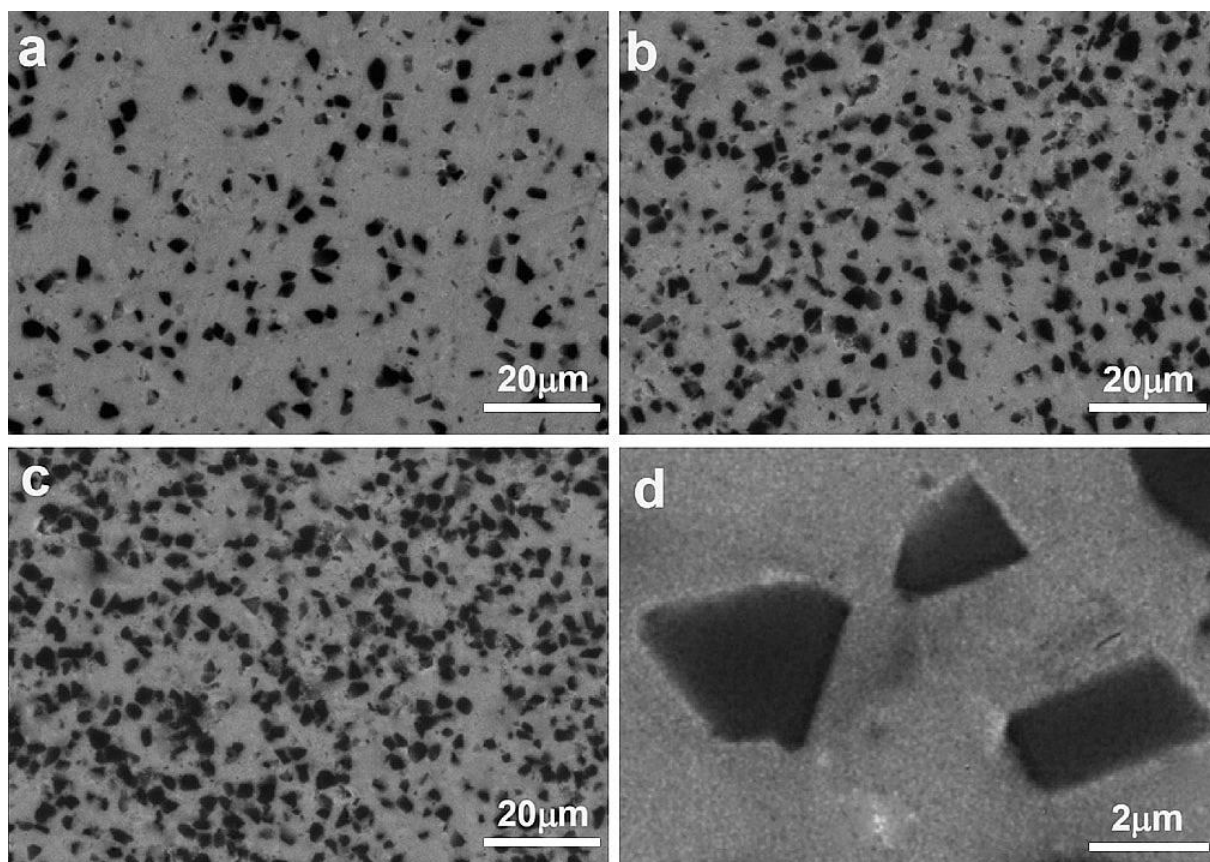
Obr. 2.24 Křivky zhutňování cBN/β-Sialon kompozitů v průběhu procesu SPS²⁸

Přidání cBN do β-Sialonu vede ke snížení slisovatelnosti a zhutnění. Ovšem cBN tak zvyšuje počáteční teploty smrštění a snižuje míru smrštění. To lze nepochybně přičíst k nízké slisovatelnosti cBN. Relativní hustota získaných kompozitů klesá s větším obsahem cBN (obr. 2.25). Přidáním obsahu 30 % cBN způsobí pokles relativní hustoty čistého β-Sialonu z 99,6 % na 94,3 %. Negativní vliv cBN na zhutnění je také u cBN-Al₂O₃ a cBN-WC-Co kompozitů.



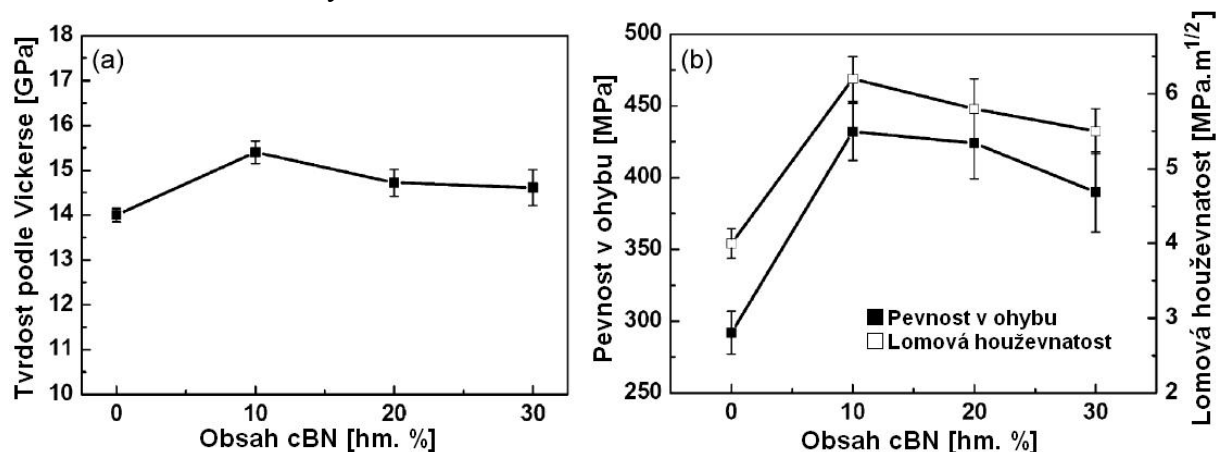
Obr. 2.25 Vliv obsahu cBN na relativní hustotu ²⁸

Zrna cBN jsou homogenně rozptýleny v souvislé β -Sialon matici a v žádném ze vzorku nejsou vidět žádné póry (obr. 2.26). Velké zvětšení (obr. 2.26d) ukazuje, že zrna cBN s hranatými okraji mají dobrou vazbu s β -Sialon maticí bez zřejmých mezíplošných reakcí a prasklin.



Obr. 2.26 Mikrostruktura cBN/ β -Sialon kompozitů: a) 10 hm. % cBN/ β -Sialon, b) 20 hm. % cBN/ β -Sialon, c) 30 hm. % cBN/ β -Sialon, d) velké přiblížení obrázku 2.24a) ²⁸

Dobrá vazba mezi zrný cBN a maticí vede k výhodným mechanickým vlastnostem cBN/ β -Sialon kompozitů, které jsou uvedeny na obrázku 2.27. Přídavek částic cBN do β -Sialonu má za následek zvýšení tvrdosti podle Vickerse a výrazné zvýšení pevnosti v ohybu y lomové houževnatosti. Zatímco nárůst tvrdosti je způsoben vysokou hustotou a nepřítomností transformace kubické fáze na hexagonální, nárůst pevnosti je výsledkem dobré mezifázové vazby cBN-Sialon. Ovšem další zvyšování obsahu cBN os 10 do 30 hmotnostních % má za následek snížení tvrdosti, pevnosti a houževnatosti. Toto mírné snížení mechanických vlastností je kvůli snížení relativní hustoty.



Obr. 2.27 Mechanické vlastnosti kompozitů cBN/ β -Sialon ²⁸

3. ŘEZNÁ KERAMIKA V SORTIMENTU VYBRANÝCH PRODUCENTŮ NÁSTROJŮ A NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ

3.1. CERAMTEC

Je to firma, jejíž historie sahá hluboko do 20. století. Byla založena v roce 1903 v Německu a její prvotní výrobky byly porcelány, které se později vyvinuly do průmyslové keramiky a poté do dnešní moderní keramiky. Nicméně se tato firma nezabývá pouze řeznou keramikou, ale její sortiment obsahuje široké spektrum aplikací od automobilového průmyslu, elektroniky až po lékařství a mnoho jiných. V současnosti má tato firma více než 3600 zaměstnanců po celém světě a je součástí Rockwood Holding Inc. Jedna pobočka je i v České republice a její sídlo je v Šumperku. ³ Na obrázku 3.1 je logo firmy a na obrázku 3.2 jsou na ukázkou vidět nástroje s keramickými břitovými destičkami.



Obr. 3.1 Logo firmy CeramTec ³

3.1.1. Oxidová keramika ⁴

Jsou tradiční oxidové keramické řezné materiály pro obrábění a jejich použití je hlavně u drážkování, hrubování a dokončovacích operací šedých a legovaných šedých litin.

SN 60 – Klíčovým znakem tohoto řezného materiálu je vysoká tvrdost při vyšších teplotách a vysoká odolnost pro opotřebení. Je vhodné pro soustružení a zapichování litiny bez použití procesní kapaliny.

SN 80 - Je standartní řezný materiál a používá se pro soustružení litin a legovaných litin s nepřetržitým řezáním. Hlavní výhody tohoto řezného materiálu jsou vidět u obrábění s velkými řeznými přídávky, ale i tehdy, pokud je požadovaná odolnost proti opotřebení.

3.1.2. Směsná oxidová keramika ⁴

Je vyrobena z oxidu hlinitého (Al_2O_3) a titanu. Tyto dva materiály zaručují vynikající odolnost proti opotřebení a stabilitou hran při obrábění.

SH 2 – Značí se homogenní strukturou, díky které má tento řezný materiál zvýšenou tepelnou a mechanickou stabilitu. Je používána speciálně pro jemné obrábění, kontinuální řezání, při obrábění, dokončovacích operacích, drážkování a vrtání.

SH 4 – Tato třída nabízí přesvědčivé vlastnosti zejména u soustružnických aplikací s požadavkem na maximální pevnost hran, vysokou tvrdost při zvýšených teplotách a odolnost proti opotřebení. Je to také ekonomická alternativa ke konkurenčnímu PCBN a je vhodná pro finišování a jemné soustružení litin.

3.1.3. Nitridová keramika ⁴

Tyto řezné materiály se používají hlavně pro jednoduché obrábění šedých litin při vysokých řezných rychlostech.

3.1.3.1. Nepovlakovaná nitridovaná keramika

SL 500 – Je to univerzální nitridová keramika, která se používá pro hrubování, zapichování, dokončovací operace u soustružení, frézování a vrtání.

SL 506 – Je navržena pro polodokončovací a dokončovací operace, které vyžadují stabilní hranu a používají se u souvislých i přerušovaných řezů u soustružení a vrtání.

SL 508 – Je především používán při hrubování, protože se u nich tak nevytváří výmol opotřebení, což zvyšuje spolehlivost výroby. Je vhodná na hrubování čerstvých odlitků a je dokonalým příkladem toho, že se může vysokovýkonně obrábět při minimálním opotřebení.

SL 808 – Tento řezný materiál kombinuje maximální tuhost s vynikající odolností proti opotřebení. Je ideální pro obrábění šedých a tvárných litin ve vysoce výkonných aplikacích. Vysoké řezné rychlosti zajišťují vysokou míru úběru materiálu s mimořádnou spolehlivostí procesu i při obtížných řezných podmínkách. Míra úběru se může zvýšit o 40 % v porovnání s obecnými řeznými keramikami.

3.1.3.2. Povlakovaná nitridová keramika

SL 550C – Tento typ bývá nejčastěji povlakován vrstvou $\text{TiN-Al}_2\text{O}_3$ a jeho použití je u polodokončování obrobků z tvárných litin i při obtížných podmínkách.

SL 554C – Oblast použití tohoto druhu je při finišování a hrubování součástí vyrobených z šedé a tvárné litiny.

3.1.4. Sialonová keramika ⁴

Řezné materiály α -/ β -SiAlON v sortimentu firmy CeramTec pokrývají široký rozsah aplikací pro soustružení, frézování a vrtání materiálu z litiny za přerušovaných i souvislých řezů.

3.1.4.1 Nepovlakovaná sialonová keramika

SL 606 – Účelem tohoto typu je soustružení s širokým spektrem použití od polohrubování po dokončovací operace. Díky své vynikající odolnosti proti opotřebení má vysokou rozměrovou stálost.

SL 608 – Je řezný materiál pro hrubování ve vysoce výkonných aplikacích. Je extra houževnatý, což je ideální pro vyšší průřez třísky. Složení této řezné keramiky umožňuje obrábění legovaných litin a soustružení čerstvých litinových obrobků.

3.1.4.2. Povlakovaná sialonová keramika

SL 654C – Je to keramický řezný materiál s multivrstvým povlakem TiCN/TiN. Je vhodný na odlitky z šedé litiny. Díky odolnosti proti opotřebení a tvrdosti za vysokých teplot umožňuje zvýšení řezných rychlostí a míry úběru.

SL 658C – Tento druh povlakované sialonové keramiky je určen pro soustružení obrobků z tvárné litiny. Multivrstvé povlaky mají za následek zvýšení řezných rychlostí a průřezů třísek spolu s extrémní spolehlivostí.

SL 858C – Keramický materiál určený pro maximální produktivitu při frézování šedé a tvárné litiny. Multivrstvý povlak poskytuje mimořádně vysokou odolnost proti opotřebení s maximální tuhostí.

3.1.5. Doporučené řezné podmínky ⁴

V tabulkách 3.1, 3.2 a 3.3 jsou uvedeny řezné podmínky pro jednotlivé druhy keramik (čistá oxidová, směsná oxidová a povlakovaná a nepovlakovaná nitridová) při různých operacích a tvrdostech řezných keramik. Tyto hodnoty jsou doporučeny firmou Ceramtec a jsou využívány při soustružení.

Tab. 3.1 Doporučené řezné podmínky pro soustružení čistou oxidovou keramikou Ceramtec⁴

Čisté oxidové keramiky						
Tvrdost [HB]	Řezná rychlost v_c [m/min]		Hloubka řezu a_p [mm]	Posuv na otáčku f [mm]		Třída
	Doporučená	Rozsah		Doporučená	Rozsah	
Hrubování s přerušovaným řezem						
140÷210	600	300÷1000	$\geq 1,5$	0,40	0,25÷0,5	SN 80
220÷240	500	200÷800	$\geq 1,5$	0,40	0,25÷0,5	SN 80
250÷280	300	100÷400	$\geq 1,5$	0,40	0,25÷0,5	SN 80
Dokončovací operace s přerušovaným řezem						
140÷210	700	400÷1200	0,3÷1,0	0,30	0,2÷0,6	SN 60
220÷240	550	300÷800	0,3÷1,0	0,30	0,2÷0,6	SN 60
250÷280	350	150÷450	0,3÷1,0	0,30	0,2÷0,6	SN 60

 Tab. 3.2 Doporučené řezné podmínky pro soustružení směsnou oxidovou keramikou Ceramtec⁴

Směsné oxidové keramiky						
Tvrdost [HB]	Řezná rychlost v_c [m/min]		Hloubka řezu a_p [mm]	Posuv na otáčku f [mm]		Třída
	Doporučená	Rozsah		Doporučená	Rozsah	
Polohrubování						
53	120	90÷200	0,5÷4,0	0,22	0,18÷0,30	SH 2
	120	90÷200	0,5÷4,0	0,22	0,18÷0,30	SH 3
59	100	75÷180	0,5÷4,0	0,20	0,16÷0,25	SH 2
	100	75÷180	0,5÷4,0	0,20	0,16÷0,25	SH 3
66	90	60÷160	0,5÷4,0	0,18	0,14÷0,22	SH 2
	90	60÷160	0,5÷4,0	0,18	0,14÷0,22	SH 3
73	80	50÷140	0,5÷4,0	0,16	0,12÷0,20	SH 2
	80	50÷140	0,5÷4,0	0,16	0,12÷0,20	SH 3
79	70	45÷120	0,5÷4,0	0,14	0,08÷0,17	SH 2
	70	45÷120	0,5÷4,0	0,14	0,08÷0,17	SH 3
86	60	40÷100	0,5÷4,0	0,12	0,10÷0,16	SH 2
	60	40÷100	0,5÷4,0	0,12	0,10÷0,16	SH 3
93	50	30÷80	0,5÷4,0	0,10	0,06÷0,15	SH 2
	50	30÷80	0,5÷4,0	0,10	0,06÷0,15	SH 3
Dokončovací operace						
140÷210	800	400÷1200	0,3÷1,0	0,30	0,2÷0,6	SH 2
	900	500÷1200	0,3÷1,0	0,30	0,2÷0,6	SH 3
220÷240	600	300÷800	0,3÷1,0	0,30	0,2÷0,6	SH 2
	800	300÷800	0,3÷1,0	0,30	0,2÷0,6	SH 3
250÷280	400	150÷500	0,3÷1,0	0,30	0,2÷0,6	SH 2
	400	150÷500	0,3÷1,0	0,30	0,2÷0,6	SH 3
Jemné obrábění						
140÷240	550	300÷650	0,2÷0,5	0,1	0,08÷0,25	SH 2
	650	300÷650	0,2÷0,5	0,1	0,08÷0,25	SH 3
240÷280	400	150÷500	0,2÷0,5	0,1	0,08÷0,25	SH 2
	500	150÷500	0,2÷0,5	0,1	0,08÷0,25	SH 3

Tab 3.3 Doporučené řezné podmínky pro soustružení nitridovou keramikou Ceramtec ⁴

Nepovlakované a povlakované nitridové keramiky						
Tvrdost [HB]	Řezná rychlost v_c [m/min]		Hloubka řezu a_p [mm]	Posuv na otáčku f [mm]		Třída
	Doporučená	Rozsah		Doporučená	Rozsah	
Hrubování s nepřerušovaným řezem						
140÷210	800	400÷1200	$\geq 1,5$	0,50	0,25÷0,9	SL 500
	900	500÷1200	$\geq 2,5$	0,60	0,35÷1,0	SL 508
	900	400÷1200	$\geq 1,5$	0,50	0,30÷0,8	SL 654C
220÷240	700	400÷1200	$\geq 1,5$	0,40	0,25÷0,9	SL 500
	800	500÷1200	$\geq 2,5$	0,50	0,35÷1,0	SL 508
	900	500÷1200	$\geq 1,5$	0,40	0,30÷0,8	SL 654C
250÷280	700	300÷1200	$\geq 1,5$	0,40	0,25÷0,9	SL 500
	800	500÷1200	$\geq 2,5$	0,50	0,35÷1,0	SL 508
	900	500÷1200	$\geq 1,5$	0,40	0,30÷0,8	SL 654C
Hrubování s přerušovaným řezem						
140÷210	800	400÷1200	$\geq 1,5$	0,40	0,25÷0,7	SL 500
	800	500÷1200	$\geq 2,5$	0,50	0,35÷0,8	SL 508
	800	500÷1200	$\geq 1,5$	0,40	0,35÷0,6	SL 654C
220÷240	700	400÷1200	$\geq 1,5$	0,40	0,25÷0,7	SL 500
	800	500÷1200	$\geq 2,5$	0,50	0,35÷0,8	SL 508
	800	500÷1200	$\geq 1,5$	0,40	0,35÷0,6	SL 654C
250÷280	700	300÷1000	$\geq 1,5$	0,45	0,25÷0,7	SL 500
	800	500÷1000	$\geq 2,5$	0,45	0,35÷0,8	SL 508
	800	500÷1000	$\geq 1,5$	0,45	0,30÷0,6	SL 654C
Dokončovací operace s nepřerušovaným a přerušovaným řezem						
140÷280	800	400÷1200	$\geq 1,0$	0,25	0,15÷0,35	SL 500
	1000	500÷1500	$\geq 0,5$	0,30	0,15÷0,45	SL 508
	1000	500÷1500	$\geq 0,5$	0,30	0,15÷0,45	SL 654C

3.2. GREENLEAF

Greenleaf Corporation je předním vývojářem technologie řezných nástrojů a nabízí vysoce kvalitní keramické a kompozitní keramické materiály, které mohou být navrženy pro specifické druhy obrábění. Greenleaf staví na šedesáti letech inovací, které se soustředí na podporu zákazníků s produktivním řešením pro každou situaci. Jejich výrobky se objevují ve všech hlavních segmentech průmyslu jako je automobilová a železniční průmysl, obrábění, lékařství atd. Produkty společnosti Greenleaf jsou navrženy pro optimální výkon navzdory široké škále materiálů za nejpřísnějších obráběcích podmínek. Má sídlo v Saegertownu v Pensylvánii. ⁹ Na obrázku 3.3 je logo firmy Greenleaf.



Obr. 3.3 Logo firmy Greenleaf ⁸

3.2.1. Směsná oxidová keramika¹⁰

GEM-7 – Jsou to kompozitní keramiky Al_2O_3+TiC a používají se při obrábění tvrdých slitin.

GEM-19 – Tyto keramiky jsou pro ekonomické hrubování a dokončovací operace litin a používají je převážně starší stroje.

3.2.2. Nitridová keramika¹⁰

HSN-100 – Řezná keramika s vynikající tuhostí a s vysokou řeznou rychlostí. Je vhodná pro soustružení a frézování všech druhů litin.

HSN-200 – Je to nejnovější povlakovaná řezná keramika nabízející vynikající tuhost, dlouhou trvanlivost nástroje a vynikající povrchovou úpravu při vysokých řezných rychlostech. Je ideální pro soustružení a frézování tvárných litin.

CSN-100 a **CSN-200** – Jsou vyrobeny nízkoteplotním lisováním nitridu křemíku a nabízeny ve čtvercové variantě a její použití je při vysokorychlostním obrábění šedých litin.

3.2.3. Vyztužená nitridová keramika¹⁰

WG-300 – Tato řezná keramika vyztužená whiskery má vynikající odolnost proti opotřebení a odolnost proti nárazům při rychloposuvu. Je velmi efektivní při obrábění super slitin na bázi niklu a kobaltu a dalších tvrdých materiálů.

WG-600 – Je to druhá generace keramických kompozitních řezných nástrojů vyztužených whiskery a vyniká v dokončovacích operacích vysokopevnostních slitin.

3.3. SAINT-GOBAIN ADVANCED CERAMICS

Tuto společnost vznikla v roce 1665 ve Francii jako výrobce zrcadel. Dnes je ovšem Saint-Gobain výrobní společností, která zaměstnává přibližně 170 tisíc zaměstnanců a z toho samotná výrobní divize keramiky má asi 16 tisíc zaměstnanců. Firma Saint-Gobain má pobočku i v České republice v Turnově, kde se zabývají třemi výrobními aktivitami, přičemž nejdůležitější je výroba speciální technické keramiky, jako jsou řezné nástroje v podobě vyměnitelných břitových destiček pro obrábění kovů.²¹ Na obrázku 3.4 je logo firmy.



Obr. 3.4 Logo firmy Saint-Gobain²¹

3.3.1. Oxidová keramika ²²

DISAL 100 – Její čistota je 99 % Al_2O_3 a je charakterizována jako řezný materiál s vynikající tvrdostí a odolností proti opotřebení za vysokých řezných teplot kolem 1200 °C. Výchozí materiály, které se pomocí ní obrábí, jsou šedé litiny a konstrukční oceli nepřerušovaným řezem při vysokých řezných rychlostech až 1000 m/min.

3.3.2. Směsná oxidová keramika ²²

DISAL 210, 220 – Má shodné vlastnosti jako DISAL 100, ale přidáním ZrO_2 a CoO se zvýší houževnatost. Je ideální pro obrábění šedých, sférický i temperovaných litin, rychlořezných, zušlechťených a konstrukčních ocelí lehkým přerušovaným řezem.

DISAL 320 – Je to směsná keramika $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$ a mezi její hlavní výhody patří vysoká tvrdost, zvýšená odolnost proti šokům. Tento druh řezné keramiky je vhodný pro obrábění tvrdých litin a ocelí kalených do 64 HRC částečně přerušovaným řezem i s použitím procesní kapaliny.

3.3.3 Nitridová keramika ²²

DISAL 420, 460 – Řezný materiál, který je charakteristický vysokou houževnatostí při zachování vysoké tvrdosti. Je vhodný pro obrábění všech druhů litin (i s kůrou) běžným přerušovaným řezem i s použitím procesní kapaliny a pro hrubování.

ZÁVĚR

Řezná keramika jakožto nástrojový materiál má oproti rychlořezným ocelím a slinutým karbidům jen malé zastoupení, a to asi 5 % z celkového objemu řezných materiálů. Výroba řezné keramiky je ovšem časově a technologicky hodně náročná. Jsou u ní kladeny vysoké nároky hlavně na výrobní zařízení a dodržování technologického postupu.

Výroba prvních keramických řezných nástrojů je datována v první polovině 20. století. Tehdejší keramické nástroje však byly velmi křehké a jejich mechanické vlastnosti byly špatné. Postupem času se objevenými technologiemi výroby zdokalovaly a v současnosti jsou mechanické vlastnosti keramických řezných nástrojů vylepšovány vlákny whiskerů a také povlakovány.

Vlastnosti a mikrostruktura řezných keramik je různá a závisí na přidání obsahu různých prvků. Každý prvek má určitý vliv na výsledné mechanické vlastnosti řezné keramiky. Přidáním určitého množství yttria se zvýšila pevnost v ohybu, lomová houževnatost, mikrostruktura se příliš nezměnila, ale poklesla trochu tvrdost. Přísada ZrO_2 o daném množství má zase za následek zjemnění mikrostruktury, zvýšení lomové houževnatosti, pevnosti v ohybu a tvrdosti. Přídavky tuhých maziv CaF_2 v matrici Al_2O_3/TiC sice vedou k poklesu v pevnosti v ohybu, lomové houževnatosti a tvrdosti v porovnání s normálním kompozitem Al_2O_3/TiC , ale jejich výhoda je v tom, že mají lepší odolnost proti opotřebení, menší součinitel tření v závislosti na řeznou rychlost a na jejich povrchu nevznikají rýhy, škrábance a ani výmoly. Multivrstvé řezné keramické nástroje s vysokým poměrem tloušťek zase vykazují vysoké hodnoty lomové houževnatosti a tvrdosti ve srovnání s materiálem bez vrstev. Strukturální složka cBN/ β -Sialon, jenž byla použita při výrobě keramického kompozitu, se kladně projevila u mechanických vlastností snížením relativní hustoty, zvýšením tvrdosti podle Vickerse, pevnosti v ohybu a lomové houževnatosti.

Jedním s cílů bakalářské práce byl porovnat sortiment u různých celosvětových producentů a výrobců. Byli vybráni tři výrobci, a to Cermatec, Greenleaf a Saint-Gobain. Nejprve byl zhotoven základní přehled všech druhů řezných keramik, a poté doplněn o doporučené řezné podmínky od firmy Ceramtec.

Jelikož výroba řezných nástrojů z uvedených materiálů stagnuje a nepředpokládá se objevení nějakého nového materiálu, který by zásadním způsobem ovlivnil proces obrábění kovů, tak se celosvětoví výrobci snaží vylepšovat a zdokaloovat stávající řezné nástroje a materiály.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AIM PRODUCTS. *Ceramic whiskers*. [online]. [cit. 2012-03-23]. Dostupné z: <http://www.home.earthlink.net/~tcaim/product.htm#whiskers>.
2. CAI, K.-F., MCLACHLAN, D.-S., AXEN, N., MANYATSA, R. Preparation, microstructures and properties of Al₂O₃-TiC composites. *Ceramic International*. 2002, 28, s. 217-222. ISSN: 0272-8842.
3. CERAMTEC NORTH AMERICA CORPORATION. Laurens, South Carolina, USA. *About Us*. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.ceramtec.com/about-us/>.
4. CERAMTEC NORTH AMERICA CORPORATION. Laurens, South Carolina, USA. *Catalogue - Ceramic inserts for turning*. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://www.ceramtec.de/files/wz_spk-drehwerkzeuge_de_en_fr.pdf.
5. ČEP, R. *Technologie II., 1.díl*. [online]. [cit. 2012-03-14]. Skripta Technologie II., 1. díl., 122 s. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf.
6. ČEP, R. Výkonné řezné materiály. *MM průmyslové spektrum*. 2003, roč. 3, č. 4, s. 20. ISSN: 1212-2572.
7. ENCYCLOPEDIA BRITANNICA. [online]. [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/media/263/Hot-isostatic-pressing-a-pressure-assisted-method-for-sintering-advanced>.
8. GREENLEAF CORPORATION. Saegertown, Pennsylvania, USA. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://www.greenleafcorporation.com>.
9. GREENLEAF CORPORATION. Saegertown, Pennsylvania, USA. *About Us*. [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: http://www.greenleafglobalsupport.com/webapp/wcs/stores/servlet/AboutUs_10001_10001_-1.
10. GREENLEAF CORPORATION. Saegertown, Pennsylvania, USA. *Catalogue – Ceramic insert grade description*. [cit. online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <http://www.greenleafglobalsupport.com/wcsstore/Greenleaf/upload/docs/CeramicGrades.pdf>.
11. HAMERNÍK, JAN. *Technické materiály*. [online]. [cit. 2012-04-21]. Dostupné z: http://jhamernik.sweb.cz/technicke_materialy.htm.
12. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. MM publishing s.r.o., 2008. 235s. ISBN: 978-80-254-2250-2.
13. HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online]. [cit. 2012-02-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rez_ne_nastroje_v2.pdf.

14. JIANXIN, D., TONGKUN, C., XEUFENG, Y., JIAHUA, L. Self-lubrication of sintered ceramic tools with CaF₂ additions in dry cutting. *International Journal of machine tool & manufacture*. 2006, 46, s. 957-963. ISSN: 0890-6955.
15. JIANXIN, D., ZHENXING, D., DONGLING, Y., HUI, Z., XING, A., ZHAO, J. Fabrication and performance of Al₂O₃/(W,Ti)C + Al₂O₃/TiC multilayered ceramic cutting tools. *Materials Science and Engineering*. 2010, A 527, s. 1039-1047. ISSN: 0921-5093.
16. KOČMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno. Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2001. 270s. ISBN 80-214-1996-2.
17. KŘÍŽ, A. *Prášková metalurgie*. Studijní opory. ZČU Plzeň, Oddělení povrchového inženýrství. 2005. [online]. [cit. 2012-02-19]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/praskova_metalurgie.pdf.
18. KŘÍŽ, A. *Keramika*. Studijní opory. ZČU Plzeň, Oddělení povrchového inženýrství. 2005. [online]. [cit. 2012-02-14]. Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/praskova_metalurgie.pdf.
19. LI, W., ZHANG, X., HONG, CH., HAN, W., HAN, J. Preparation, microstructure and mechanical properties of ZrB₂-ZrO₂ ceramics. *Journal of European Ceramic Society*. 2009, 29, s. 779-786. ISSN: 0955-2219.
20. MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Výkonné řezné materiály*. [online]. [cit. 2012-02-24]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vykonne-rezne-materialy.html>.
21. SAINT-GOBAIN ADVANCED CERAMICS, s. r. o., Turnov. Česká republika. *O firmě*. [online]. [cit. 2012-04-26]. Dostupné z: <http://www.sgacturnov.cz/index.php?content=100&lang=cs>.
22. SAINT-GOBAIN ADVANCED CERAMICS, s. r. o., Turnov. Česká republika. *Výrobky*. [online]. [cit. 2011-02-04]. Dostupné z: <http://www.sgacturnov.cz/index.php?content=210&lang=cs>.
23. SAF ELECTRONIC CO., LTD., SHANGHAI. *Material – Zirconia toughened alumina*. [online]. [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: <http://www.saf-electronics.com/en/Material.asp?ID=17>.
24. SAF ELECTRONIC CO., LTD., SHANGHAI. *Material – Aluminium oxide*. [online]. [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: <http://www.saf-electronics.com/en/Material.asp?ID=20>.
25. TANGER, s.r.o., Ostrava. *Metal 2005 – Systém tenká vrstva-substrát v aplikaci na řezných nástrojích*. [online]. [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: http://www.metal2012.com/files/proceedings/metal_05/papers/69.pdf.
26. TECHNICKÝ TÝDENÍK. *Řezné nástroje (2)*. [online]. [cit. 2012-02-22]. Dostupné z: <http://techtydenik.cz/reznenastroje.php?part=2>.

27. XU, CH., HUANG, CH., AI, X. Toughening and strengthening of advanced ceramics with rare earth additives. *Ceramic International*. 2006, 32, s. 423-429. ISSN: 0272-8842.
28. YE, F., HOU, Z., ZHANG, H., LIU, L., ZHOU, Y. Spark plasma sintering of cBN/ β -SiAlON composites. *Materials Science and Engineering*. 2010, A 527, s. 4723-4726. ISSN: 0921-5093.
29. YE, F., HOFFMANN, J.-M., HOLZER, S., IWASA, M. Microstructural development of Y- α /(β)-sialons after post heat-treatment and its effect on mechanical properties. *Ceramic International*. 2004, 30, s. 229-238. ISSN: 0272-8842.
30. YE, F., LEI, T.-C., ZHOU, Y. Interface structure and mechanical properties of Al₂O₃-20vol%SiCw ceramic matrix composite. *Materials Science and Engineering*. 2000, A 281, s. 305-309. ISSN: 0921-5093.
31. ZHAO, J., YUAN, X., ZHOU, Y. Processing and characterization of an Al₂O₃/WC/TiC micro- nano-composite ceramic tool material. *Materials Science and Engineering*. 2010, A 527, s. 1844-1849. ISSN: 0921-5093.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Popis
AWT	$\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{W},\text{Ti})\text{C}$
AT	$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$
CBN	Kubický nitrid boru
CVD	Chemické nanášení povlaku
HIP	Hot Isostatic Pressing – Vysokoteplotní isostatické lisování
HRA, HRC	Tvrдость podle Rockwella
HV	Tvrдость podle Vickerse
MTCVD	Středně – teplotní CVD metoda
MWPCVD	Mikrovlnní plazmatická CVD metoda
PACVD	Plazmaticky aktivovaná CVD metoda
PECVD	Plazmaticky aktivovaná CVD metoda
ŘK	Řezná keramika
SPS	Spark Plasma Sintering – Slinováním v jiskrovém plazmatu