

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF

ŘEZNÁ KERAMIKA A JEJÍ EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ

TITLE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. JAN HEČA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Anton Humár, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Jan Heča

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

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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 diplomové práce:

Řezná keramika a její efektivní využití

v anglickém jazyce:

Cutting ceramics and its effective use

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce je zaměřena na keramické řezné materiály z hlediska jejich rozdělení, označování, fyzikálních, mechanických a řezných vlastností, užití a současných trendů vývoje a výroby u renomovaných špičkových producentů nástrojů a nástrojových materiálů. Cílem práce je komplexní zpracování získaných technických poznatků a zejména vyhodnocení a porovnání pracovních podmínek (druh obráběného materiálu, řezné podmínky - vc, f, ap), které vybraní výrobci doporučují pro efektivní soustružnické aplikace svých druhů řezné keramiky.

Cíle diplomové práce:

1. Charakteristika řezné keramiky (druhy, výroba, značení, fyzikálně mechanické vlastnosti)
2. Řezná keramika v sortimentu výroby nejvýznamnějších domácích a světových producentů nástrojů a nástrojových materiálů
3. Hodnocení řezivosti nástroje
4. Doporučené pracovní podmínky pro efektivní využití řezné keramiky

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. BROOKES, K.J.A. Hardmetals and other Hard Materials. Second Edition. Shrewsbury, England: European Powder Metallurgy Association, 1992. 198 p. ISBN 0 9508995 3 4.
3. BROOKES, K.J.A. World Directory and Handbook of Hardmetals and Hard materials. Sixth Edition. East Barnet Hertfordshire, United Kingdom: International Carbide Data, 1996. 220+528 p. ISBN 0 9508995 4 2.
4. ČSN-ISO 3685. Zkoušky trvanlivosti při soustružení jednobřitým nástrojem. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993.
5. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing s. r.o., Praha. 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online].
Dostupné na [www](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf):
7. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Zář 2004. ISSN 1212-2572., s. 84-96.
8. KOČMAN, K. Speciální technologie obrábění. Druhé přepracované a doplněné vydání. Brno: PC-DIR Real, s.r.o. 1998, 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
9. LEICHTFRIED, G., SAUTHOFF, G., SPRIGGS, G.E. Refractory, Hard and Intermetallic Materials. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2002. 267 p. ISBN 3-540-42961-1.
10. Technické materiály a prospekty firem Ceratizit, Iscar, Kennametal, Korloy, Mitsubishi, Pramet Tools, Sandvik Coromant, Seco, Walter, Widia.
11. Odborné časopisy International Journal of Refractory Metals & Hard Materials (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/02634368>), Journal of Materials Processing Technology (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09240136>), Materials Science and Engineering: A (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/09215093>)

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

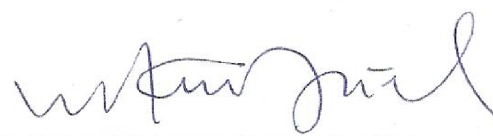
V Brně, dne 19.11.2010

L.S.



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu





prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce zabývající se řeznou keramikou a jejím efektivním využitím.

Úvod popisuje obecnou charakteristiku řezné keramiky, její historii a vývoj, jednotlivé druhy a výrobu. V této části jsou uvedeny i mechanicko-fyzikální vlastnosti s možným použitím v obrábění. V druhé části následuje přehled řezné keramiky v sortimentu vybraných světových výrobců. Další část je zaměřena na obecné hodnocení řezivosti řezných nástrojů a porovnání jiných materiálů. Čtvrtá část se zabývá porovnáním pracovních podmínek jednotlivých výrobců a jejich nástrojů určených k obrábění.

1.1.1 Klíčová slova

řezná keramika, oxidová keramika, nitridová keramika, vyztužená keramika, povlakovaná keramika, soustružení, nástrojové materiály, řezné podmínky

ABSTRACT

Thesis dealing with cutting ceramics and its efficient use.

Introduction describes the general characteristics of the cutting of ceramics, its history and development and production of various kinds. This section describes the mechanical and physical properties with potential application in machining. The second part is an overview of cutting-frame in the range of selected world leaders. Another section focuses on general assessment of the power of cutting tools and other materials comparison. The fourth part, is comparing the working conditions of producers and tools intended for cutting.

1.1.2 Key words

cutting ceramics, oxide ceramics, nitride ceramics, coated ceramics, turning, tool materials, cutting conditions

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Heča, Jan. *Řezná keramika a její efektivní využití*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 55s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Řezná keramika a její efektivní využití** vypracoval samostatně na základě uvedené literatury a pramenů, pod vedením vedoucího diplomové práce.

Dne 27.5.2011

.....
Bc. Jan Heča

Poděkování

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

OBSAH

ABSTRAKT	3
OBSAH	6
ÚVOD	9
1 CHARAKTERISTIKA ŘEZNÉ KERAMIKY	11
1.1 Historie	11
1.2 Druhy a značení	11
1.3 Výroba	12
1.3.1 Výroba oxidové keramiky	14
1.3.2 Výroba nitridové keramiky	14
1.3.3 Sialonová keramika	16
1.3.4 Výroba vyztužené keramiky	16
1.3.5 Simulace výroby metodou Monte Carlo	16
1.3.6 Vícevrstvé keramické materiály	17
1.4 Fyzikálně mechanické vlastnosti	18
1.4.1 Tvrdost	19
1.4.2 Pevnost v tlaku a ohybu	20
1.4.3 Teplotní vlastnosti	20
1.4.4 Křehkost	21
1.4.5 Lomová houževnatost	21
2 ŘEZNÁ KERAMIKA V SORTIMENTU NEJVÝZNAMĚJŠÍCH PRODUCENTŮ NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ	23
2.1 CeramTec	23
2.1.1 Oxidová keramika	23
2.1.2 Nitridová keramika	24
2.1.3 Povlakovaná keramika	25
2.2 Kennametal	25
2.2.1 Oxidová keramika	25
2.2.2 Nitridová keramika	26
2.2.3 Povlakovaná keramika	26
2.3 Saint Gobain Advanded Ceramics	27
2.3.1 Oxidová keramika	27
2.3.2 Nitridová keramika	27
2.4 Sandvik Coromant	28

2.4.1 Oxidová keramika	28
2.4.2 Nitridová keramika.....	28
2.4.3 Povlakovaná keramika	29
2.5 Ssangyong	29
2.5.1 Oxidová keramika	30
2.5.2 Nitridová keramika.....	30
2.6 Sumitomo	30
2.6.1 Oxidová keramika	31
2.6.2 Nitridová keramika.....	31
2.6.3 Povlakovaná keramika	31
2.7 Widia.....	31
2.7.1 Oxidová keramika	31
2.7.2 Nitridová keramika.....	31
3 HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI NÁSTROJE.....	32
3.1 Opotřebení nástroje.....	32
3.1.1 Formy opotřebení	33
3.2 Pravidla pro soustružení a frézování řeznou keramikou.....	37
3.2.1 Soustružení	37
3.2.2 Frézování	37
3.3 Vliv tvaru keramických VBD na jejich relativní pevnost.....	38
3.3.1 Nástrojový úhel špičky	38
3.3.2 Poloměr zaoblení špičky.....	38
3.3.3 Tloušťka vyměnitelné břitové destičky	39
3.3.4 Úprava ostří keramického řezného nástroje	39
3.4 Porovnání řezných materiálů.....	39
3.4.1 Oxidová keramika	41
3.4.2 Nitridová keramika.....	42
3.4.3 Sialonová keramika	42
3.4.4 Povlakovaná keramika	42
3.4.5 Vyztužená keramika.....	43
4 DOPORUČENÉ PRACOVNÍ PODMÍNKY PRO EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ.....	44
4.1 Základní rozdělení	44
4.2 Vyhodnocení pracovních podmínek.....	45
4.2.1 Srovnání pro skupinu K.....	45

4.2.2 Srovnání pro skupinu P	48
4.2.3 Srovnání pro skupinu S	49
4.2.4 Srovnání pro skupinu H.....	50
ZÁVĚR	51
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	53
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	56

ÚVOD

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

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

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

Slinuté karbidy jsou vyráběny z mnoha karbidů a pojiv. Nejpoužívanější je karbid wolframu (WC), karbid tantalu (TaC) a karbid titanu (TiC). Z pojiva se velmi často volí kobalt (Co). Je to nejpevnější materiál ve třídě mezi tvrdými nástrojovými materiály a proto může být použit pro obrábění s vysokými posuvovými rychlostmi, tak jako pro obtížné přerušované řezy. Nevýhodou je nemožnost použití pro vysoké rezné rychlosti, kvůli nízké stabilitě za vysokých teplot. K zvýšení výkonu a produkce slinutých karbidů se používá povlakování. Jsou využívány metody povlakování jako CVD (Chemical Vapour Deposition), PVD (Physical Vapour Deposition) a MTCVD (Middle Temperature CVD).

Řezná keramika je vyrobena rovněž jako slinuté karbidy, práškovou metalurgií. Je tvořena keramikou oxidovou, u které je základem Al_2O_3 a nebo nitridovou, se základem z nitridu křemíku Si_3N_4 . Keramika na bázi oxidu hlinitého vyniká svými vlastnostmi, zejména je to vysoká tvrdost a vysoká chemická odolnost za vysokých teplot, proto se využívá k obrábění velkými reznými rychlostmi, ale za nižších posuvových rychlostí, kvůli příliš nízké houževnatosti. Naproti tomu keramika na bázi nitridu křemíku má houževnatost na vyšší úrovni, proto je možné dosažení vyšších posuvových rychlostí při obrábění. Keramika je nejvíce preferována k obrábění šedých litin. U tvárných litin a ocelí je mnohem rychleji opotřebována.

Cermet je sloučeninou dvojice slov CERamic – METal, což jsou keramické částice v kovovém pojivu. Obsah tvoří tvrdé částice karbidu titanu (TiC), karbonitridu titanu (TiCN), popř. nitridem titanu (TiN) s kovovým pojivem (Ni, Mo). Cermety jsou používány nejčastěji při vyšších rezných rychlostech. Základní vlastností je nízká

ká hmotnost a houževnatost. Cermety jsou vhodné pro obrábění korozivzdorných ocelí.

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

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že neexistuje žádný univerzální materiál pro výrobu takového řezného nástroje, se kterým by bylo možné obrábět všechny druhy materiálů, bez uvažované technologie obrábění. Pro správné a tedy efektivní využití nástrojových materiálů je proto důležité podrobněji znát jejich mechanické a fyzikální vlastnosti.

1 CHARAKTERISTIKA ŘEZNÉ KERAMIKY

Moderní definicí je keramika obecně charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Tato definice zahrnuje nejen tradiční keramiku (porcelán, cement, cihly), ale i brousící materiály a řadu tzv. „nových“ (speciálních, konstrukčních, strojírenských, průmyslových, pokrokových, příp. jinak nazývaných) keramických látek.¹

Je to tedy polykrystalický materiál se zrny malých rozměrů, který obsahuje náhodné technologické defekty a mikrostrukturní nehomogenity a vyznačuje se zejména vysokou tvrdostí, nízkou houževnatostí a nízkou měrnou hmotností.

Řeznou keramikou se rozumí řezný materiál, který se používá především na obrábění velmi tvrdých materiálů a tento řezný materiál umožňuje i vysokorychlostní obrábění, kde odolává vysokým teplotám.²⁵

1.1 Historie

Keramika patřila spolu s dřevem, kostmi, kůží a kameny mezi vůbec první materiály, které pravěký člověk zpracovával.⁶

Pískovcové bloky, obsahující mikroskopické břity SiO_2 , se používaly až do nedávné minulosti na ostření nožů, nůžek a dalších nástrojů. Postupem času začaly být nahrazovány dokonalejšími materiály, jako SiC nebo diamant.¹

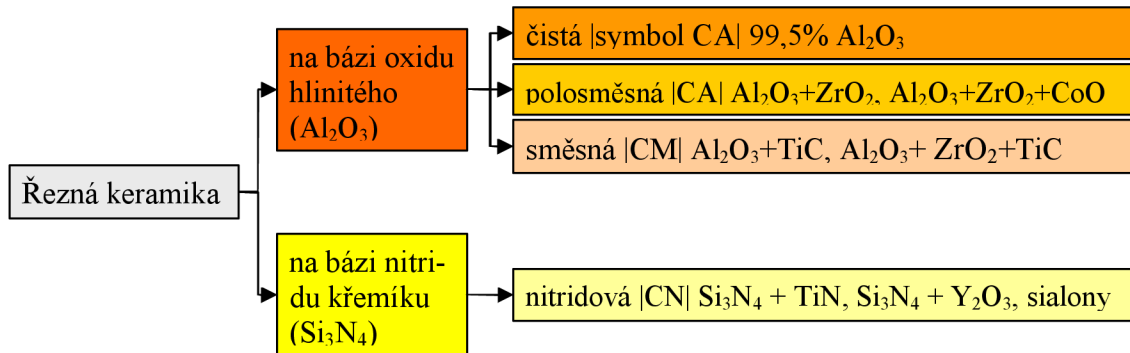
První úvahy s využitím Al_2O_3 , následné pokusy a uznané patenty na začátku 20. století, byly základem pro vývoj komerčně využitelného materiálu pro řezný nástroj s názvem „Degussit“. Byl vyvinut německou firmou Degussa v období 2. světové války. Nedokonalost v podobě vysoké křehkosti a malé odolnosti k vydrolování ostří, mělo za následek použití jen pro dokončovací operace a nepřerušovaný řez obrábění.

Počátkem 70. let byla vyrobena keramika na bázi $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$, která zaznamenala úspěch nejenom kvůli zlepšené odolnosti proti vydrolování, vyšší ohybové pevnosti a lomové houževnatosti, ale i snížením ceny řezného materiálu a vyšší produktivitě. K těmto výhodám přispěl přechod na výrobu metodou vysokoteplotního lisování.

Dalším mezníkem, bylo v 80. letech minulého století představení keramického kompozitu Al_2O_3 , vyztuženého vlákny SiC (tzv. whiskery). U těch se podařilo výrazně navýšit lomovou houževnatost a odolnost proti vydrolování ostří. V tomto období, po nalezení vhodných výchozích surovin, se začala vyrábět i keramika složená z $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$. Firma Lucas z Velké Británie, kde tento výrobek byl vyvinut, si jej nechala zaregistrovat pod obchodním názvem Sialon.

1.2 Druhy a značení

Dělení a značení keramických materiálů neurčuje konkrétní norma, všeobecně je přijímáno dělení na následující dva základní typy.



Většinu keramik lze povlakovat metodou CVD i PVD a vyrábět s vyztužujícími vlákny. Dle normy ČSN ISO 513 se povlakovaná keramika značí symbolem CC.¹

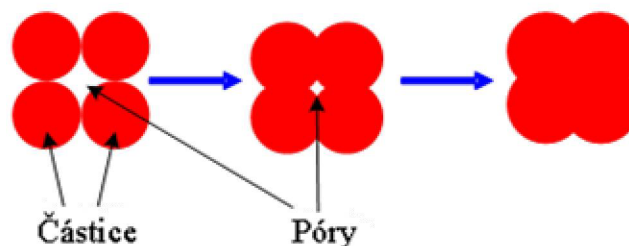
V obchodní praxi se používá značení dle zvyklostí jednotlivých výrobců.

1.3 Výroba

Výroba keramických součástí (např. břitových destiček) je podobná postupům pro vyhotovení slinutých karbidů, nebo cermetů. Rozdílný je pojivový materiál pro spojení zrn tvrdé fáze do jednoho tělesa, který u slinutých karbidů tvoří kobalt, u cermetů jím je nikl. Keramika žádný takový materiál neobsahuje. To znesnadňuje výrobu a klade tak vysoké nároky na výrobní zařízení.

Stručný postup výroby keramických materiálů:

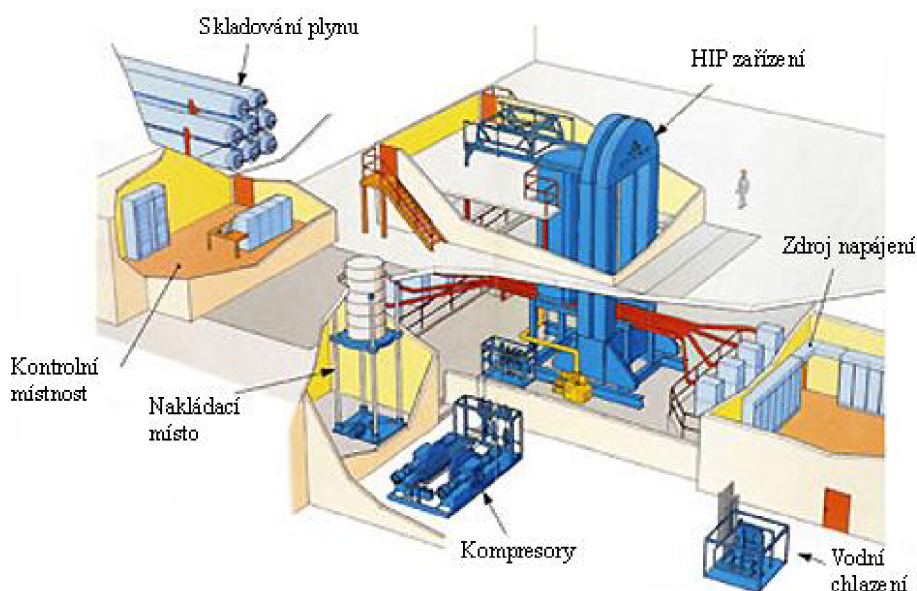
- *příprava směsi prášků,*
- *mletí,*
- *míchání* – tzv. aglomerace, což je mísení keramiky a přísad za mokra, nebo sucha,
- *tvarování* – především za studena, ale není výjimkou i za tepla,
- *sušení* – do 100°C , za účelem odstranění těkavých složek,
- *slinování* – nejdůležitější proces, jedná se o zhutnění za teplot okolo $0,5\div 0,9$ bodů tání materiálu (tab.1). Částice se tak spojí v celek,
- *tepelné zpracování,*
- *povrchová úprava.*



Obrázek 1-1 Slinování a jeho fáze

Pro zlepšení vlastností keramiky se používá metoda HIP (Hot Isostatic Pressing), což je vysokoteplotní izostatické lisování. Touto technologií probíhá v tlakové nádobě spékání a zároveň na součást působí tlak ve všech směrech. Naproti tomu u klasického vysokoteplotního lisování působí tlak jen v jednom směru.

HIP se provádí dvěma postupy. První představuje tzv. pouzdrová metoda, u které se připravený prášek uloží a odplyní do nerozpustné kapsle (složené ze skla, měkké oceli, korozivzdorné oceli atd.) a nebo se předem nachystaný, relativně hutný materiál slinuje bez použití kapsle. Výhoda první metody spočívá v celkem snadné výrobě hutného materiálu, ale naopak nevýhodou jsou poměrně složité pomocné procesy (formování kapsle, odplynění, odstranění kapsle po slinování atd.). Druhá metoda je velice produktivní, avšak těleso musí být předem slinuto na vysokou hustotu. Tato metoda HIP zapříčinila snížení ceny výroby (především velkosériové), spolu s tím se zvýšila produktivita a mechanické vlastnosti keramiky.²⁸



Obrázek 1-2 Schéma pracoviště HIP³¹

Hlavní výchozí materiály pro výrobu řezné keramiky jsou:

- Oxidy $\text{Al}_2\text{O}_3, \text{ZrO}_2$,
- Karbidy TiC, SiC ,
- Nitridy $\text{Si}_3\text{N}_4, \text{TiN}$.

Jedná se o chemicky stabilní látky odolné vysokým teplotám, tlakově pevné a velmi tvrdé.

Tabulka 1-1 Teploty tavení a tvrdosti vybraných keramik

Materiál	Teplota tavení [°C]	Tvrdost [HV]
Al_2O_3	2050	2000
ZrO_2	2700	1000
Si_3N_4	1900	-
SiC	2200	2500

1.3.1 Výroba oxidové keramiky

Základní surovinou pro výrobu oxidové keramiky je jemnozrný oxid hlinitý (Al_2O_3). K zabránění růstu zrn při slinování a usnadnění celého jeho procesu se k němu přidávají menší množství pomocných látek jako jsou např. oxidy zirkonia, yttria, chromu, titanu, niklu, hořčíku a karbidy těžkovitelných kovů jako je wolfram nebo titan.

Po mokrém semletí se tato směs rozprašováním vysuší, čímž se získá prášek schopný soudržnosti, který je následně lisován do požadovaného tvaru (břitové destičky). Lisování probíhá obvykle na lisech s oboustranným tlakem, aby se tak zajistilo dobré zhutnění polotovaru v celém jeho průřezu.

Keramické polotovary lze rovněž vyrábět lisováním izostatickým. To znamená lisováním za pomoci hydrostatického tlaku přes pružnou stěnu tvarovacího pouzdra. To nepropouští vodu a je zaplněno keramickým práškem. Z tohoto prášku jsou pak velmi často vytlačeny (tzv. extruzí) tyče s tvarem průřezu budoucích břitových destiček, které jsou následně pomocí diamantové okružní pilky rozděleny na jednotlivé destičky.

Po vylisování následuje slinování ve speciálních pecích, kde se spojí prášek a tuhé těleso do požadovaného tvaru. Po slinování následuje finální úprava dle požadovaných rozměrů a kvality povrchu.

1.3.2 Výroba nitridové keramiky

Výroba (slinování) nitridové keramiky je mnohem obtížnější než výroba keramiky oxidové. Zapříčiňuje to nižší samodifuze a teplota rozkladu ($2\,112\text{ °K}$). Proto je nutné při výrobě řezné keramiky na bázi Si_3N_4 přidávat k výchozímu prášku slinovací příměsi. Slinovací aditiva během ohřívání vytvoří s nitridem křemíku tekutou fázi, která podporuje proces zhutňování.

Omezení samodifuze kovalentní vazbou zabraňuje dosažení teoretické hustoty materiálu. Vyšší teploty sice mohou podporovat difusní proces, ale teplota, která je potřebná pro dostatečnou difuzi je tak vysoká, že materiál se před slinováním začíná rozkládat.¹

Způsob technologie výroby vytváří tyto druhy nitridu křemíku:

- reakčně vázaný nitrid křemíku (RBSN),
- slinutý nitrid křemíku (SSN),
- nitrid křemíku lisovaný za vysokých teplot (HPSN),
- nitrid křemíku vyrobený metodou HIP.

Reakčně vázaný nitrid křemíku (RBSN – reaction bonded silicon nitride)

se připravuje synteticky, nejčastěji přímou nitridací práškového křemíku. Teplota procesu je v rozmezí $1200\div 1600\text{ °C}$. Jako první se připraví kompaktní těleso z křemíkového prášku (lití, lisování, vstřikování). Navazuje nitridace. Tato exotermická reakce s dusíkem trvá i několik dní a musí být řízena, aby nedošlo k tavení křemíkových částic.

Si_3N_4 se zde objevuje převážně v $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$ mikrostruktuře a částečně s protáhlým zrnem $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$. Tento materiál má pórovitou strukturu a hustotu nižší jak 85 % teoretické hustoty. Vysoká pevnost je dána jeho čistotou. K výhodám této metody patří neomezený tvar výrobku a velmi malé změny rozměrů při následujícím slinování.

Slinutý nitrid křemíku (SSN – sintered silicon nitride)

Slinutý nitrid křemíku se vyrábí slinováním zhutňujícími přísadami, zejména oxidem hořečnatým (MgO), za teplot $1600\div 1800\text{ }^\circ\text{C}$ v dusíkové atmosféře o tlaku $1\div 10\text{MPa}$. Obsah přísad je $7\div 15\%$ objemu a mimo MgO je mohou tvořit Al_2O_3 , Y_2O_3 , či oxidy vzácných zemin. Při procesu vzniká tekutá taveninová fáze alfa-nitrid křemíku. Mezi zrny nitridu křemíku je zachována skelná fáze.

Množství přísad může způsobit zhoršené mechanické vlastnosti. Mezi výhody patří výroba beztlakovým slinováním, což umožňuje produkci neomezených tvarů.

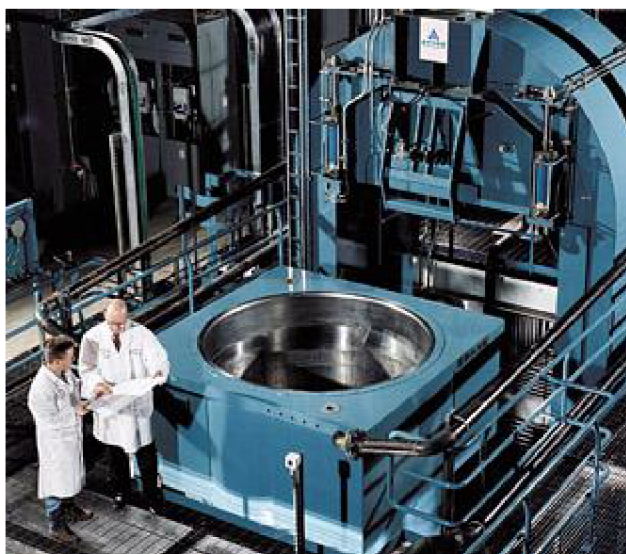
Nitrid křemíku lisovaný za vysokých teplot (HPSN – hot pressed silicon nitride)

Vyrábí se horkým lisováním prášku nitridu křemíku při teplotách $1550\div 1900\text{ }^\circ\text{C}$ a tlaku $15\div 50\text{MPa}$ se zhutňujícími přísadami MgO , Al_2O_3 , Y_2O_3 . Ty tvoří 2 až 3% objemu. Vysokoteplotní lisování vyžaduje daleko méně přísad než běžné slinování. Vyrobeneý materiál tak má vysokou hustotu a dobré mechanické vlastnosti.

Nevýhodami této metody je složitá výroba, omezený tvar výrobků, problémy při lisování více kusů současně. Sníženou přesnost rozměrů je dána izolováním lisovaného materiálu od stěn grafitové formy.

Nitrid křemíku vyrobený metodou HIP

HIP, neboli „vysokoteplotní izostatické lisování“ je používáno nejen k výrobě nitridové keramiky, ale i k výrobě slinutých karbidů. Těleso při vysoké teplotě čelí velkému tlaku plynu (200MPa) působícímu ze všech stran.



Obrázek 1-3 HIP (Hot Isostatic Press) zařízení od firmy Avure ³¹

Jako pracovní plyn se užívá nejčastěji argon, pro výrobky z Si_3N_4 bez pouzder především dusík. Oproti předchozí metodě je kvůli vyšším tlakům možné vyrobit produkty s menším obsahem přísad. To zároveň pomáhá k odstranění různých mikrostrukturních defektů. Výchozí materiál musí před použitím metody HIP obalen nepropustnou vrstvou materiálu, aby bylo zabráněno průniku plynu do pórů. K tomuto účelu se používá sklo, skelné nebo keramické prášky.

Výhodou této technologie je malý obsah přísad a minimum defektů v mikrostruktuře, což se pozitivně odráží v mechanických vlastnostech.

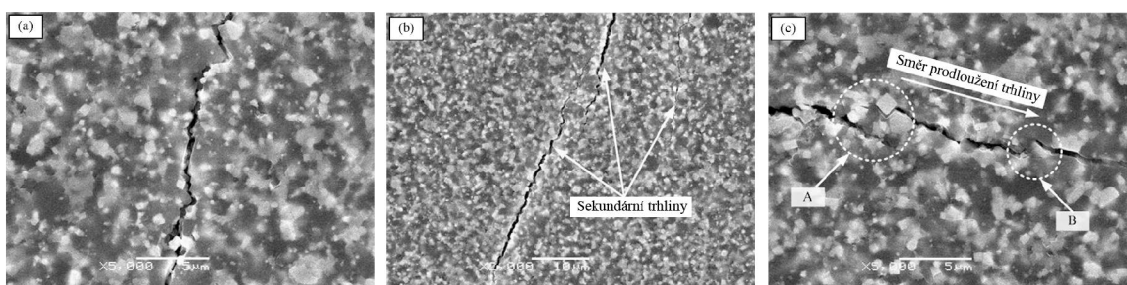
1.3.3 Sialonová keramika

V sialonech jsou v krystalové struktuře Si_3N_4 nahrazována Al^{3+} některá místa Si^{4+} a O^{2-} některá místa N^{3-} . V případě α -sialonů nahrazuje Al více Si než O nahrazuje N, a proto musí dojít k vykompenzování náboje (např. Mg, Ca, Y, Ce). U β -sialonů je stejný počet atomů N nahrazen stejným počtem atomů O a současně stejný počet atomů Si nahrazuje stejný počet atomů Al, tzn. že nejsou potřeba přídavné kationy k docílení elektroneutrálnosti.

Změnou složení v systému Si-Al-O-N lze vytvářet sloučeniny α a β sialonů a cíleně ovlivňovat tvrdost a lomovou houževnatost.²⁷

1.3.4 Výroba vyztužené keramiky

Vyztužená (nebo zpevněná, či kompozitní) keramika je vyráběna tím způsobem, že do základní matrice jsou přidávány zpevňující vlákna karbidu křemíku (SiC – „whiskery“). Základním parametrem whiskeru je délka, průměr a štiřlostní poměr l/d . Množství v materiálu ovlivňuje mechanické vlastnosti výrobků. Dojde-li k mechanickému porušení povrchu řezné keramiky, prasklina bude bezmezně růst až dojde k lomu a následnému znehodnocení materiálu. Whiskery dokáží tento jev dokázat omezit.



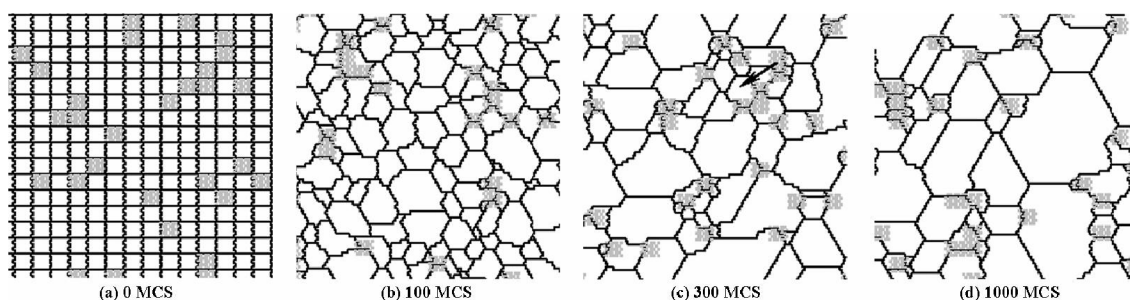
Obrázek 1-4 zamezení trhlin whiskery a) trhlina b) větvení trhliny c) přemostění trhliny²⁴

1.3.5 Simulace výroby metodou Monte Carlo

Monte Carlo je třída algoritmů pro simulaci systémů pomocí výpočetní techniky. Původní metoda byla vyvinuta ve 40. letech 20. století. Pro použití k simulaci výroby keramických materiálů byla upravena Andersenem a Srolovitzem (1984), jako 2D a pro pevnou fázi slinování prášku. Dnešní 2 fázové modely, což znamená např. Al_2O_3 (1. fáze) a přísadu SiC (2. fáze), jsou interpretovány prostorově a dosahují vysoké přesnosti k reálnému stavu.

Přesnost a efektivnost je dána:

- kvalitou generátoru náhodných čísel, resp. pseudonáhodných,
- výběrem racionálního algoritmu výpočtu,
- kontrolou přesnosti získaného výsledku.



Obrázek 1-5 Simulovaný vývoj struktury materiálu $\text{Al}_2\text{O}_3/10\%\text{SiC}$ metodou Monte Carlo (1MCS = 250 000 pc výpočtů)¹⁸

1.3.6 Vícevrstvé keramické materiály

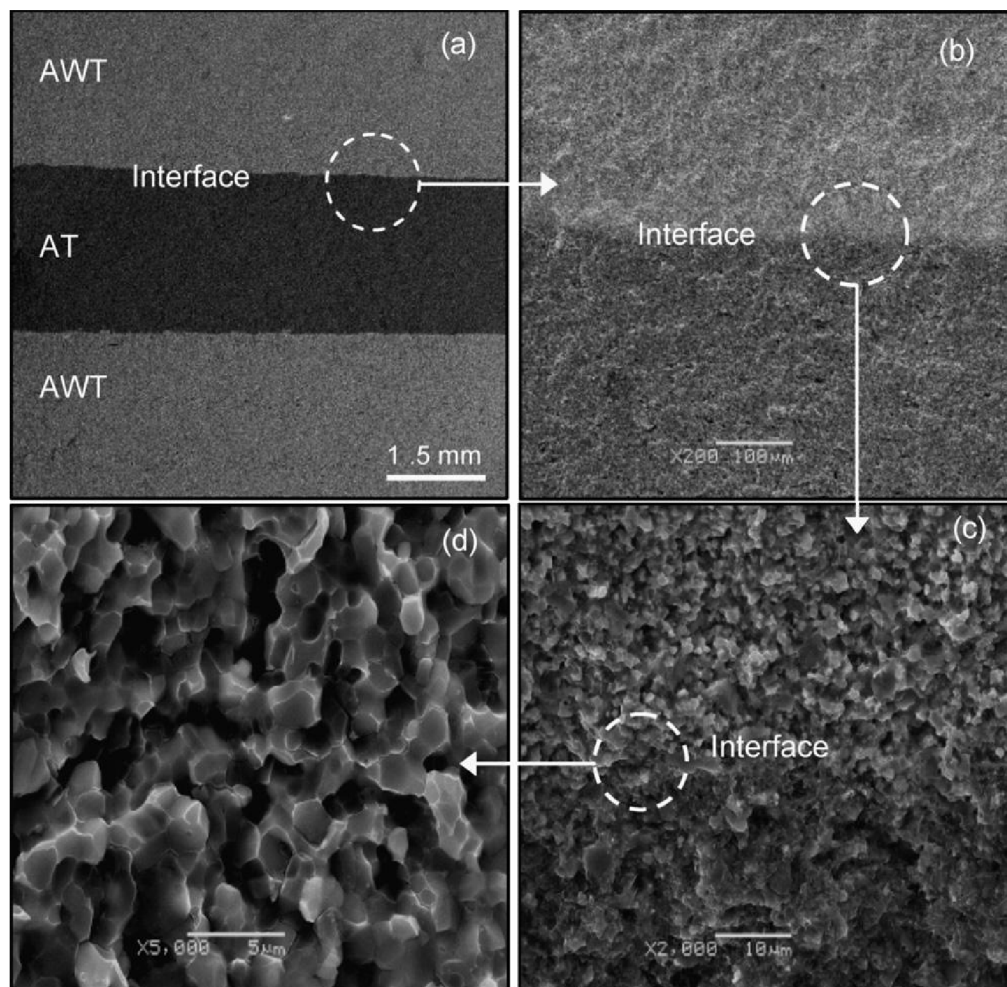
Výroba vícevrstvných keramických materiálů se používá k dosažení lepších vlastností povrchové vrstvy. Zvyšuje se tak tvrdost, odolnost opotřebení a také odolnost proti trhlinám.

Označení	LT-1	LT-2	LT-3	LT-4	LT-5	LT-6	LT-7
Struktura							
Vrstvy	3	3	3	3	5	7	9
Poměr tloušťky	0,5:1	1:1	2:1	8:1	1:1	1:1	1:1

Obrázek 1-6 Vícevrstvé keramické materiály s počtem a poměrem tloušťek vrstev²²

Vrstvy se nanášejí metodu CVD (Chemical Vapor Deposition), nebo PVD (Physical Vapor Deposition). Pro kvalitu nanesené vrstvy jsou důležité 3 základní parametry. Jsou to samotný povlak, substrát a nanášecí (styková) plocha, které spolu tvoří povlakovaný nástroj. Tyto parametry je potřebné zabezpečit systémem-smyčkou kontroly, aby bylo možné v kterémkoliv kroku reagovat na libovolnou fázi výroby.

Nejvíce se používá materiál povlaku z TiC , TiN , Al_2O_3 . Ty se kombinují a nanášejí ve více vrstvách. Detailní strukturu nanesených vrstev keramických materiálů $\text{Al}_2\text{O}_3+(\text{W},\text{Ti})\text{C}$ /AWT/ a $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$ /AT/, ukazuje obrázek 1-7. Zbytkové pnutí je poměrně složité určit pomocí výpočtů, vhodnější je použít metodu konečných prvků, která poskytuje přesnější údaje.



Obrázek 1-7 rozhraní vrstev $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-(W,Ti)C}$ $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ keramiky ²²

1.4 Fyzikálně mechanické vlastnosti

Hlavní roli v mechanických vlastnostech řezné keramiky hraje velikost zrn, póry ve struktuře, hranice zrn, stejnosměrnost, množství trhlin atd. Cílem při výrobě je proto co nejmenší zrno, velmi úzké spektrum rozdělení zrn a homogenita materiálu.

Mezi přednosti řezné keramiky patří:

- tvrdost,
- pevnost v tlaku,
- vysoký modul pružnosti,
- malá měrná hmotnost,
- vysoká tepelná odolnost (oproti SK),
- stálá pevnost v ohybu i za vysokých teplot,
- chemická stálost,
- odolnost proti opotřebení.

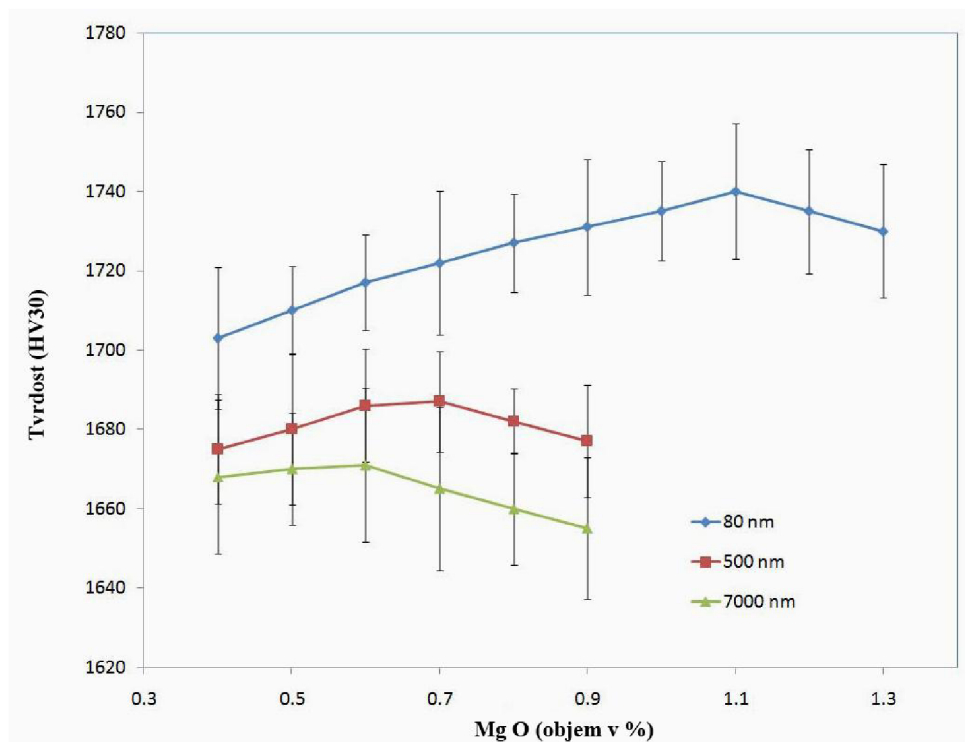
Další informace, jako struktura, teplotní vodivost délková roztažnost a tvárnost, pak dokreslují mechanické vlastnosti, které pomáhají k určení vhodné aplikace nástroje.

Tabulka 1-2 Srovnání mechanických vlastností řezných materiálů

Řezný materiál	Tvrdość [HV]	Pevnosť v tlaku [MPa]	Pevnosť v ohybu [MPa]	Teplotní odolnosť [°C]
Rychlořezná ocel	750-800	2500-3500	2000-3000	560-610
Slinuté karbidy	1300-2000	4000-5600	900-2200	900-1100
Řezná keramika	2000-2800	3500-4500	450-1000	1300-1600
Kubický nitrid bóru	4500	4000	600	1500
Diamant	7000	3000	300	320-720

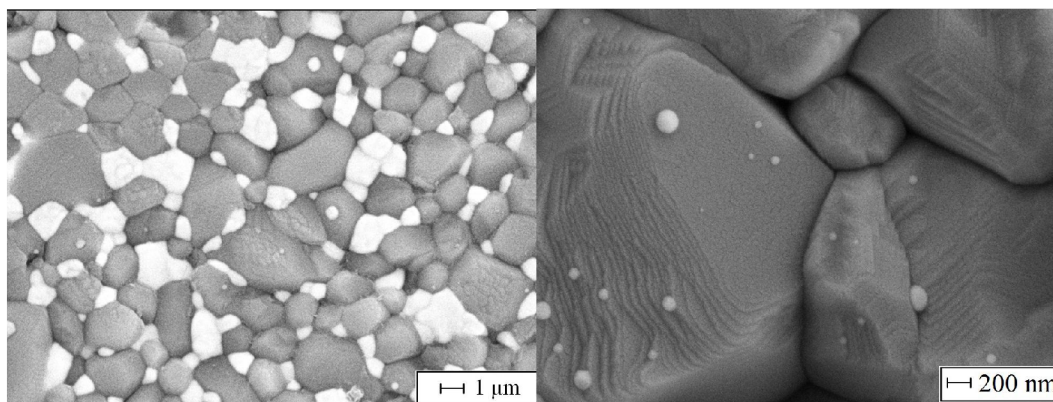
1.4.1 Tvrdość

Keramika patří mezi nejtvrdší materiály vůbec, z čehož vyplývá i vysoká odolnosť opotřebení. Dle Mohamada Hasmaliza a kol.⁷, mikrostrukturní pozorování ukazují, že velikost zrna Al_2O_3 závisí na velikosti částic MgO, a to přímo souvisí s tvrdostí materiálu. Menší velikost částic MgO navozuje lepší opotřebení a mechanické vlastnosti. Analýza odolnosti proti opotřebení ukázala, že řezné vložky s MgO (velikost částic 80 nm) vykazují menší opotřebení. Tyto destičky také vynikají nejvyšší tvrdostí podle Vickerse o hodnotě 1740 HV.



Obrázek 1-8 závislost tvrdosti keramiky na velikosti a objemu částic MgO⁷

Z grafu vyplývá, že tvrdost je nejvyšší pro zrna o průměru 80nm a objemu 1,1 % MgO. To znamená i vyšší hustotu vzorku.



Obrázek 1-9 Mikrostruktura $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ vzorků; (vlevo) 80 nm MgO, (vpravo) 80 nm MgO s 30.000 zvětšení⁷

1.4.2 Pevnost v tlaku a ohybu

U keramiky se pro její křehkost neudává pevnost v tahu. Naměřené hodnoty by totiž měli velký rozptyl, kvůli obtížné kontrole trhliny.

Pevnost v ohybu je na nízké hodnotě. Pevnost v tlaku nabývá u oxidové i směsné keramiky vysokých hodnot. Při volbě obráběcího nástroje proto musíme brát tuto skutečnost na zřetel. Volíme řeznou geometrii nástroje tak, aby při obrábění byla destička zatížena více tlakovými silami a méně ohybovými. Naproti tomu u nitridové keramiky je výhoda, že pevnost v ohybu je na relativně vysoké úrovni, pevnost v tlaku je nižší.

Hodnota ohybové pevnosti, podobně jako u ostatních materiálů, s narůstající teplotou sice klesá. Ve srovnání s kovy je na nižší úrovni, ale její hodnota je poměrně stálá a zachovává si ji i za vysokých teplot.

Ovlivnění pevnost keramiky se děje především díky těmto faktorům:

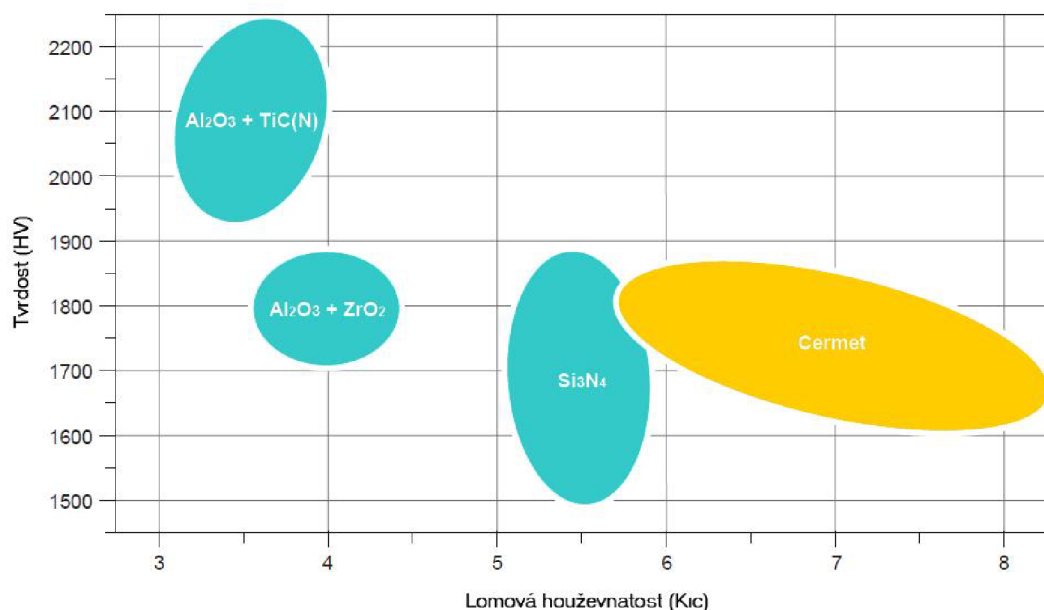
- vady a koncentrace napětí v mikrostruktuře,
- povrchové mikrotrhlinky a vady,
- strukturní poškození atomárních a submikrometrických rozměrů,
- trhlinky a vady vzniklé nesprávným technologickým postupem.

1.4.3 Teplotní vlastnosti

Charakteristickým znakem keramiky je poměrně vysoká teplotní odolnost. Tato přednost následně ovlivňuje vlastnosti jako tvrdost a pevnost, které si tak drží svou tepelnou stabilitou. Mezi nejstabilnější patří oxidová keramika. Kvůli těmto vlastnostem, dávají řezným materiálům velkou odolnost proti difúznímu opotřebení. Velmi podobně je na tom nitridová keramika. Ta navíc při obrábění za vysoké řezné rychlosti, reaguje s železem obrobku některých ocelových materiálů, za vzniku silicidu železa.

Tabulka 1-3 Vlastnosti řezných keramik²⁹

Materiál	Tvrdość [GPa]	Modul pružnosti v tahu [GPa]	Lomová houževnatost [Mpa.m ^{1/2}]	Součinitel délkové 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

Obrázek 1-10 Srovnání mechanických vlastností jednotlivých keramických materiálů³⁵

1.4.4 Křehkost

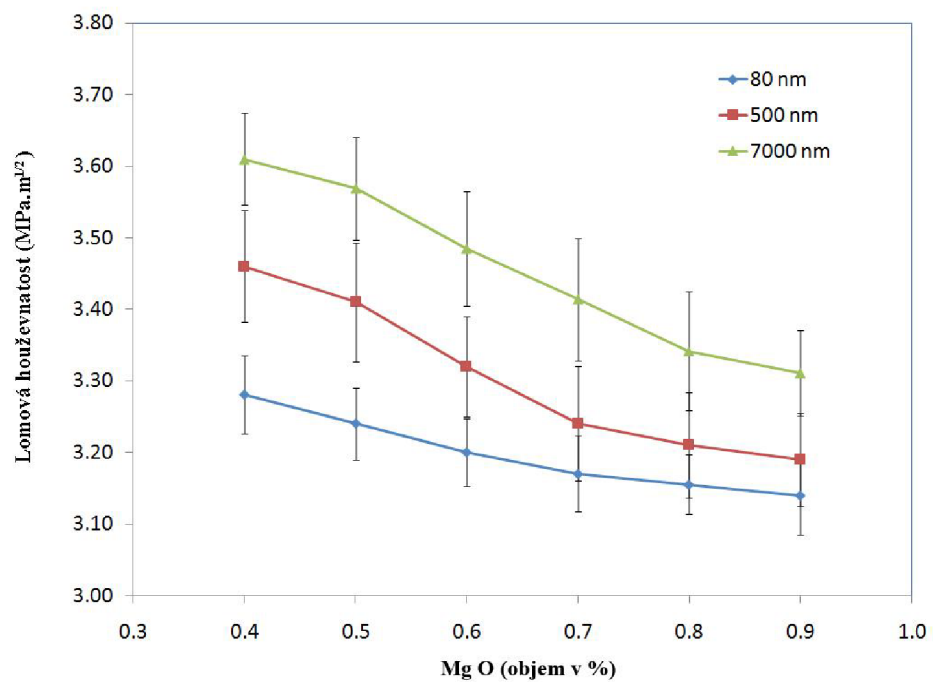
Křehkost je nejtypičtější mechanickou vlastností keramiky. Ta totiž není prakticky schopna absorpce energie a tedy plastické deformace. Porušuje se křehkým lomem. Na vině jsou póry obsažené ve struktuře, nebo nedostatečné slinutí.

Další příčiny neschopnosti plastické deformace jsou:

- špatná manévrovatelnost dislokací při jejich současné dobré pohyblivosti,
- nízká pohyblivost dislokací při jejich současné dobré manévrovatelnosti,
- kombinace výše uvedených příčin.

1.4.5 Lomová houževnatost

Iontově kovalentní vazby v keramických materiálech mají za následek nízkou lomovou houževnatost, což je odolnost materiálu vůči růstu trhlin.

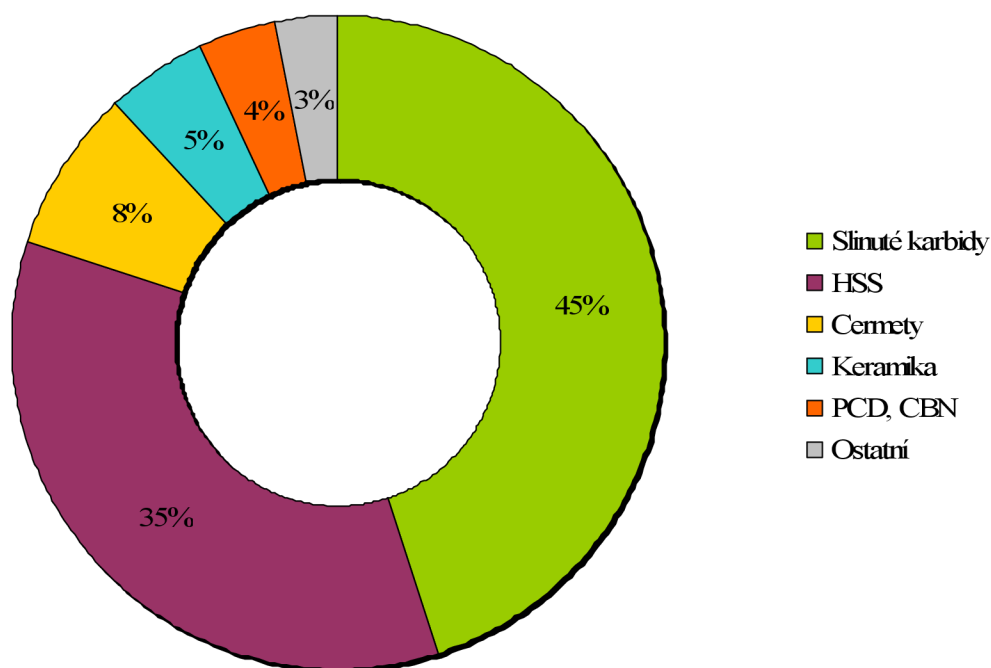


Obrázek 1-11 Ukázka závislosti objemu částic MgO v Al_2O_3 a lomové houževnatosti pro velikosti zrn 80,500,7000nm⁷

Z grafu je patrné, že lomová houževnatost klesá s narůstajícím objemem MgO a vyšší hustotou. Vyšších hodnot by se dosáhlo při dopování SiC (whiskery), kdy s objemem tato hodnota roste.

2 ŘEZNÁ KERAMIKA V SORTIMENTU NEJVÝZNAMĚJŠÍCH PRODUCENTŮ NÁSTROJOVÝCH MATERIÁLŮ

Výsadního postavení v oblasti obrábění celosvětově zaujímá slinutý karbid a řezná keramika je nasazována pouze v oblastech, kde nelze produktivně využít slinutý karbid. Ta nemá za úkol nahradit dosud používané řezné materiály, ale pouze rozšířit možnosti volby pro hospodárnější úběr materiálu. Přesto se jedná o významný materiál používaný k obrábění a je tak součástí sortimentu mnoha známých světových výrobců. Mezi vyrobenými nástroji zaujímá 4. místo s 5 % podílem. K předním značkám patří Ceramtec, Kennametal, Krupp Widia, Sandvik Coromant, Seco, Sumitomo, NGK, Ssangyong.



Obrázek 2-1 Světová produkce řezných materiálů

2.1 CeramTec

Kořeny společnosti jsou integrální součástí globální historie technické keramiky. Tato historie zahrnuje více než 115 roků výroby. Společnost CeramTec, náležející ke koncernu Rockwood Holdings Inc. se sídlen v Princetonu, USA. Rockwood Holdings, se zaměřuje na specializované chemické a vysoce výkonné materiály. Popis a hodnoty byly zpracovány z katalogu výrobce, viz. seznam zdrojů č.34.

2.1.1 Oxidová keramika

Čistá keramika

Oxidová keramika používaná pro soustružení a drážkování litiny.

SN60 (K05) – řezný materiál s velmi dobrou odolností proti opotřebení a odolností teplotním rázům. Ideální pro zapichování a soustružení litiny v nepřerušovaném řezu. Při obrábění se nechladí kapalinou.



Obrázek 2-2 Ukázka řezných nástrojů firmy CeramTec³⁴

SN80 (P10÷15, K10÷15) – je keramika užívaná k hrubování-soustružení legované litiny. Má vysokou odolnost opotřebení a houževnatost. Aplikace pro hluboký řez.

Směsná keramika

Keramika z hliníku a titanu se znamenitou odolností vůči vysokým teplotám a dobrou pevností. Používá se především pro soustružení a frézování kalené oceli a litiny.

SH2 (K01÷10, H01÷10) – směsná keramika nabízející velmi homogenní sub-mikronovou strukturu se zlepšenými mechanickými a řeznými vlastnostmi. Použití pro jemné soustružení a konečné úpravy ocelí, kalených ocelí a litin v nepřetržitém řezu.

SH3 (K10) – nabízí odolnost opotřebení, velmi dobrou houževnatost a vysokou úroveň stability. Hodí se pro obrábění hřídele. Kromě toho poskytuje přesvědčivé výsledky v dokončovací šedé litiny a tvárné litiny, a to v nepřetržitém i přerušovaném řezání.

2.1.2 Nitridová keramika

Keramika používající se pro hrubé soustružení a vrtání litiny. Je vhodná i pro obrábění při obtížných řezných podmínkách jako je obrábění s přerušovaným řezem a

obrábění s měnící se hloubkou řezu. Má zvýšenou odolnost proti opotřebení a teplotním rázům.

SL100 (K25) – tato nitridová keramika je určena pro soustružení, vrtání, frézování litiny při vysokých řezných rychlostech.

SL200 (K20÷30) – keramický materiál vhodný pro hrubé soustružení za velmi nepříznivých řezných podmínek. Je to materiál s velmi vysokou pevností a dobrou odolností vůči opotřebení. Používá se hlavně pro hrubování šedé litiny.

SL500 (K10÷30) – univerzální keramika vyrobená z velmi čisté suroviny pokročilou slinovací technologií. Pevnosti a lomová houževnatost je ve standardních mezích. Především se využívá hrubování, dokončování šedé litiny.

SL506 (K10÷15)– vynikající nitridová keramika pro výkonné obrábění. Jedná se o materiál s vysokou životností a maximální tvrdostí.

2.1.3 Povlakovaná keramika

SL250C (K20)– nitrid křemíku s povlakem, který se řadí mezi běžné materiály pro soustružení tvárné litiny.

SL550C (K10÷25)– je to nitrid křemíku potažený vícevrstevným povlakem TiN-Al₂O₃, určený především pro hrubování, polodokončovací obrábění. Díky povlaku této keramiky, je zaručen zvýšený výkonový potenciál zejména při soustružení litiny souvislým, nebo přerušovaným řezem.

SL554C (K10÷25)– povlakovaná keramika využívaná pro těžké přerušované řezy tvárných a šedých litin.

2.2 Kennametal

Americká společnost, která se zabývá výrobou nekonečné škály nejmodernějších nástrojů obráběcích materiálů. Byla založena v roce 1938 je zastoupena v 60 zemích celého světa, např. Německu, Rakousku, Izraeli, Egyptě apod. Roční tržby činí skoro 2mld USD. V České republice je značka Kennametal zastoupena firmou Jan Havelka, která je distributorem i mnoha dalších značek. Obchodní zastoupení najdeme v Jablonci, Milovicích a Chrudimi. Popis a hodnoty byly zpracovány z katalogu výrobce, viz. seznam zdrojů č.36.

2.2.1 Oxidová keramika

Čistá keramika

K060 (K01÷05, P01÷05) – jedná se o čistou bílou oxidovou keramiku, využívanou především pro soustružení.

Směsná keramika

K090 (K01÷05, M10÷25, P10÷15)– typ černé keramiky, užívané pro operace soustružení a frézování.

KY1615 (H05÷15) – vysoce výkonná keramika. Je vhodná k obrábění tvrdých materiálů. To je umožněno jemnozrnnou složkou Al₂O₃+TiCN, která má výjimečnou

odolností vůči opotřebení. Výborná je aplikace při soustružení na hrubo, kde mohou u materiálů nastat nepředpokládané komplikace.

2.2.2 Nitridová keramika

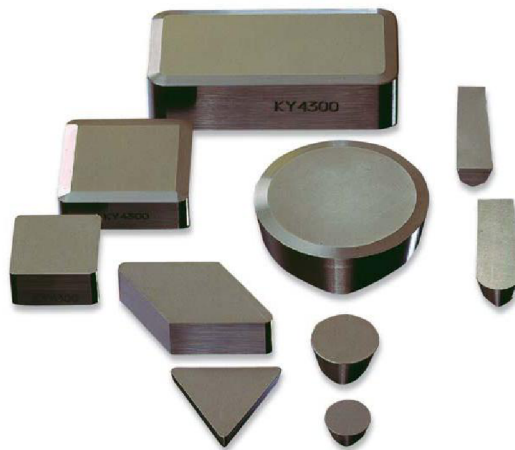
KY1310 (K01÷15) – keramika sialonová s velkou trvanlivostí. Byla speciálně vyvinuta pro vysoké řezné rychlosti při souvislém řezu šedé litiny. Tato keramika má velmi jemnou strukturu a je odolná proti otěru. Použití především při dokončovacích úpravách. Je odolná řezné rychlosti přesahující $3700 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

KY1540 (M10÷25, S05÷20) – tato keramika vyniká tvrdostí, houževnatostí a možností pracovat při vyšších posuvech a hloubkách řezu, než podobné řezné materiály. Tvoří jej tzv. sialonový keramický materiál, vyztužený whiskery. Používá se pro obrábění slitin za vysokých teplot. Je to keramika, kterou se obrábí žáruvzdorné slitiny.

KY2100 (S01÷15)– keramika s vysokou odolností proti opotřebení. Ideální pro vysokorychlostní soustružení a frézování. Vhodná pro dokončovací obrábění tvrdých žárovevých a žáruvzdorných slitin (až do 48 HRC).

KY3500 (K10÷35) – jedná se o čistý nitrid křemíku, s výbornou houževnatostí. Umožňuje použití pro soustružení s velkými posuvy. Využívá se pro obrábění šedé litiny i pro obrábění šedé litiny za obtížných řezných podmínek, nevylučuje přerušovaných řezů.

KY4300 (S10÷25)– materiál pro třískové obrábění žáruvzdorných slitin a materiálů s vyšší pevností. Jde o vyztuženou keramiku.



Obrázek 2-3 Kennametal KY 4300 v různých provedeních ³⁶

2.2.3 Povlakovaná keramika

KY3400 (K05÷20)– je to čistý nitrid křemíku s CVD povlakem. Povlak zaručuje výbornou odolnost opotřebení. Navíc vlastní výbornou houževnatost, proto se užívá převážně k běžnému obrábění šedé a tvárné litiny.

KY4400 (H01÷10)– jedná se o jemnozrný materiál, se základem z Al_2O_3 – TiN. Na ten je nanesen povlak TiN ke zlepšení odolnosti proti opotřebení. Využívá se pro obrábění vysokými řeznými rychlostmi pro kalené ocele a litiny o víc jak 45HRC.

2.3 *Saint Gobain Advanced Ceramics*

Saint-Gobain Advanced Ceramics, s.r.o., Turnov je největším výrobcem odvětví keramiky společnosti Saint-Gobain ve střední Evropě.

SGAC, s.r.o. Turnov vznikla v srpnu roku 1999, kdy společnost Saint-Gobain Céramiques Avancées Desmarquest odkoupila veškeré aktivity týkající se keramiky (a R&D) od české firmy Dias Turnov, s.r.o.

Popis a hodnoty byly zpracovány z katalogu výrobce, viz. seznam zdrojů č.40.

2.3.1 Oxidová keramika

Čistá keramika

DISAL 100 (K05) - čistá oxidová keramika (99% Al₂O₃) - vyniká tvrdostí a odolností proti opotřebení za vysokých řezných teplot až 1200 °C. S výhodou lze použít řezných rychlostí až 1000 m/min, zvláště při obrábění šedé litiny a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem.

Polosměsná keramika

DISAL 210, 220 (K10÷15, P10÷15) - vyniká kromě tvrdosti a odolnosti proti opotřebení za vysokých teplot i zvýšenou houževnatostí. Je vhodná pro obrábění šedé, sférické i temperované litiny, konstrukčních, zušlechtěných i rychlořezných ocelí lehkým přerušovaným řezem.

Směsná keramika

DISAL 320 (H01÷10, K01÷10) - vyniká vysokou tvrdostí a zvýšenou odolností proti šokům, což umožňuje obrábění s částečně přerušovaným řezem i použití chladicí kapaliny. Lze použít pro obrábění tvrzené litiny a kalených ocelí (do 64 HRc), včetně středního a jemného frézování.

2.3.2 Nitridová keramika

DISAL 420, 460 (K05÷25) – vyniká velmi vysokou houževnatostí při zachování vysoké tvrdosti a umožňuje obrábění běžným přerušovaným řezem i použití chladicí kapaliny. Tento druh keramiky je zvláště vhodný pro obrábění všech druhů litin, včetně litiny s kůrou. Je také nejvhodnější pro frézování (hrubování) k dosažení maximálních řezných výkonů.

Tabulka 2-1 Srovnávací tabulka s předními výrobci řezné keramiky ³¹

Výrobce/materiál	Disal 100, 210, 220	Disal 320	Disal 420, 460
Ceramtec	SN 60, SN80	SH 20 F	SL 100 – SL 500
Hertel	AC 5	MC 2	NC 1
Kennametal	K 060	K 090	KY 2000, KY 3000
Krupp Widia	WIDALOX G	WIDALOX R, H	WIDIANIT
Sandvik Coromant	CC 620	CC 650	CC 680

Pokračování tabulky 2-1

Výrobce/materiál	Disal 100, 210, 220	Disal 320	Disal 420, 460
Seco	SECORAMIX 30	REVOLOX	
Sumitomo	W 80	NB 90 S	
NGK	CX 3, HC 1	HC2, HC6	SX 5, SX 8
Ssangyong	CZ 200	ST 100 – ST300	SN 26, SN 500

2.4 Sandvik Coromant

Je švédskou firmou, která patří na vedoucí pozice v oblasti výroby high-tech řezných nástrojů a materiálů. Má zastoupení ve více než 130 zemích světa. Tržby v roce 2010 dosahovaly k 16 mld. USD. V České republice je zastoupena firmou Sandvik CZ s.r.o. Popis a hodnoty byly zpracovány z katalogu výrobce, viz. seznam zdrojů č.39.

2.4.1 Oxidová keramika

Polosměsná keramika

CC620 (K01) – je čistá oxidová keramika na bázi oxidu hlinitého s malým přídavkem oxidu zirkonu, který jí dodává zvýšenou houževnatost. Tato keramika je určena pro vysoké řezné rychlosti při obrábění litiny a oceli za stabilních podmínek. Při práci s touto keramikou musíme používat chladicí kapaliny.

Směsná keramika

CC650 (K01, H02, S05) – je směsná keramika na bázi oxidu hlinitého s přídavkem karbidu titanu. Doporučuje se zejména pro dokončování litiny, kalené oceli, tvrzené litiny a tepelně odolných superslitin, kde se vyžaduje kombinace odolnosti proti opotřebení a dobrých tepelných vlastností.

CC670 (S15, H10) – jedná se o oxidovou keramiku vyztuženou karbidem křemíku, kde jsou whiskery náhodně rozmístěny v nosném materiálu. Je zvláště vhodná pro vysokorychlostní obrábění tepelně odolných superslitin a tvrzených materiálů s vysokými nároky na spolehlivost nebo houževnatost.

2.4.2 Nitridová keramika

CC680 – je keramika vhodná především pro obrábění žárovevých slitinových ocelí na bázi niklu. Je doporučována k používání při přerušovaných řezech.

CC690 (K10) – jedná se o keramiku na bázi nitridu křemíku, která se vyznačuje velkou houževnatostí a odolností vůči opotřebení. Doporučuje se pro obrábění vysokými rychlostmi, především však pro poločistě obrábění a hrubování šedé, temperované i tvárné litiny. Je dobře využitelná při přerušovaných řezech a řezech za obtížných podmínek.

CC6080 (S10) – jde o vysoce výkonnou sialonovou keramiku s výbornou chemickou stabilitou a odolností proti mechanickému namáhání, která byla vyvinuta novým technologickým procesem produkce řezných destiček s lepšími výkonnostními vlastnostmi. Vyznačuje se dobrým odporem a je doporučována pro operace s déletrva-

jíciemi řezy v konstantních hloubkách. Je rovněž vhodný pro obrábění materiálů, kde je nutná chemická odolnost. Dosahuje vysoké produktivity při obrábění žáruvzdorných slitin a slitin na bázi niklu. Hodí se k obrábění vysokými rychlostmi a při jeho použití se doporučuje užívání chladicí kapaliny.

CC6090 (K10) – jde o keramiku z čistého nitridu křemíku s vynikající odolností vůči vysokým teplotám vznikajících při obrábění. Je velmi vhodná pro hrubování až dokončování šedé litiny za stabilních podmínek. Tento druh keramiky lze používat při přerušovaných řezech, vysokých teplotách a odporů. Má relativně nízké výrobní náklady. Na začátku práce se doporučují menší posuvy a rychlosti.

2.4.3 Povlakovaná keramika

GC1690 (K10) – je keramika, která se skládá z podkladu z nitridu křemíku a tenkého podkladu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiN}$ o tloušťce $1\mu\text{m}$. Díky svým vlastnostem je tento druh keramiky vhodný pro lehké hrubování, střední obrábění a dokončovací operace u litiny.

GC6050 (H05) – je povlakovaná jemnozrná řezná keramika s vysokou tvrdostí při vysokých teplotách a dobrou houževnatostí. Má vysokou odolnost proti chemickému opotřebení v měkkých oblastech obrobku, proto je ideální volbou pro soustružení smíšených obrobků, z měkkých i tvrdých částí. Tento druh keramiky nabízí výjimečnou nákladovou efektivitu při soustružení povrchů střední kvality nebo při obrábění tvrdých/měkkých obrobků. Snadno se zjišťuje opotřebení díky povlaku TiN.

2.5 *Ssangyong*

Ssangyong od svého vzniku v roce 1962 rychle vyrostl v průmyslový holding. V současnosti pole působnosti zaujímá několik odvětví. Keramické materiály dodává převážně pro automobilový průmysl. Portfolio zahrnuje dostatečné množství keramických materiálů pro dodávky zboží do 50 zemí světa. Popis a hodnoty byly zpracovány z katalogu výrobce, viz. seznam zdrojů č.35.



Obrázek 2-4 Ukázka výrobků firmy Ssangyong ³⁵

2.5.1 Oxidová keramika

Směsná keramika

ST100 (K01÷10, P01÷10) – univerzální směsná oxidová keramika ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$) s velmi dobrou rázovou odolností za vysokých teplot. Vhodná pro soustružení litin, ocelí a tvrdých materiálů.

ST300 (K01÷10, P01÷10) – směsná oxidová keramika ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$) s excelentní odolností proti opotřebení. Vhodná na soustružení litin, ocelí a tvrdých materiálů.

ST500 (K01÷10, P01÷10) – směsná oxidová keramika ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$) s jemnou mikrostrukturou a velmi dobrou rázovou odolností za vysokých teplot. Používá se pro dokončovací soustružení litin, ocelí a tvrdých materiálů.

SD200 (K01÷10) – směsná keramika na bázi oxidu hliníku ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$) s výbornou rázovou odolností za vysokých teplot. Vhodná především pro dokončovací soustružení litin. Je možné použít chlazení kapalinou.

SZ200 (K01÷15, P05÷10)– směsná oxidová keramika ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$). Má přednost ve vysoké chemické stabilitě. Určena pro dokončovací soustružení litin a ocelí.

SZ300 (K01÷15, P05÷10)– jde o tvrdší alternativu SZ200 na bázi oxidu hliníku ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2+\text{Cr}_2\text{O}_3$). Vhodná pro dokončovací soustružení litin a ocelí.

2.5.2 Nitridová keramika

SN26 (K01÷10) – keramika na bázi nitridu křemíku, která má vlastní odolnost proti opotřebení, dobrou houževnatost a rázovou odolnost za vysokých teplot. Používá se pro soustružení i frézování ocelí a litin, především pro hrubovací aplikace. Lze použít pro plynulý i přerušovaný řez.

SN300 (K01÷10) – tužší alternativa k SN400. Tato keramika má dobrou houževnatost a rázovou odolnost za vysokých teplot. Vhodná pro hrubování a vysokorychlostní obrábění litin s plynulým nebo přerušovaným řezem.

SN400 (K01÷10)– nitridová keramika (Si_3N_4), která má výbornou odolnost proti opotřebení při vysokých rezných rychlostech. Tato keramika se používá pro hrubovací soustružení a vysokorychlostní obrábění šedé litiny s možností přerušovaného řezu.

SN500 (K01÷10)– tvrdší alternativa SN400 s vylepšenou odolností proti opotřebení při vysokých rezných rychlostech. Nejvhodnější použití je pro vysokorychlostní soustružení litin.

SN800 (K01÷10)– keramika na bázi nitridu křemíku s odolností ostří proti vylamování a dobrou vrubovou houževnatostí. Pro vysokorychlostní soustružení a frézování žáruvzdorných materiálů. Využitelná k hrubování.

2.6 Sumitomo

Japonská firma patřící do světové špičky výrobců břitových destiček z rezné keramiky. Působí ve všech důležitých světadílech a zemích. Za zakladatele je považováno

ván Masamoto Isem, podle kterého je vytvořen kodex chování firmy. Popis a hodnoty byly zpracovány z katalogu výrobce, viz. seznam zdrojů č.37.

2.6.1 Oxidová keramika

NB90S (P01) – černá keramika, vyráběna unikátním procesem, kvůli kterému vyniká odolností proti opotřebení. Využívá se především pro dokončovací operace soustružení kalené oceli.

WX2000 (S01÷10) – materiál vyztužený whiskery pro obrábění superslitin. Výjimečná odolnost opotřebení a vydrolování. Nadstandardní tuhost nástroje. Vhodný pro hrubovací i dokončovací vysokorychlostní aplikace.

2.6.2 Nitridová keramika

NS260 (K01÷10) – nitridová keramika s velmi jemným zrnem v mikrostruktuře, v důsledku speciálního a velmi čistého výrobního procesu. To přispívá k velmi vysoké odolnosti proti opotřebení a odolnosti chemicko-fyzickému poškození. Využitelný k hrubému soustružení a frézování litiny.

NS30 – je nitridový keramický materiál, vyráběný ojedinělým procesem, který zvyšuje tuhost materiálu. Zároveň se zvyšuje odolnost opotřebení, čímž je prodloužena životnost nástroje. Tento druh keramického materiálu se používá pro soustružení a frézování litiny.

2.6.3 Povlakovaná keramika

NS260C (K01÷10) – bílá keramika na Si_3N_4 pokryta směsí Al_2O_3 a Ti. Tento povlak přináší keramice tvrdost a vysokou odolnost proti opotřebení.

2.7 *Widia*

Patří k velkoproducentům rezných nástrojů. Její produkty se počítají na tisíce. Firma se snaží o výrobu kompletního portfolia nástrojů. Součástí Kennametal Inc. Popis a hodnoty byly zpracovány z katalogu výrobce, viz. seznam zdrojů č.38.

2.7.1 Oxidová keramika

CW2015 (K05÷10) – černá, míchaná keramika na bázi oxidu hlinitého a karbo-nitridu titanu. Má dobrou pevnost kombinovanou s vysokou odolností proti otěru. Využívá se pro tvrzené železné kovy a dokončovací operace při obrábění šedé litiny.

CW3020 (S15÷25) - keramika obsahující whiskery s maticí $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiCw}$. Jemnozrná křemíkokarbidové whiskery přinášejí vynikající pevnost při obrábění záruvzdorných materiálů a litin o vysoké tvrdosti.

2.7.2 Nitridová keramika

CW5025 (K10÷20) – keramický materiál na bázi nitridu křemíku. Má výjimečnou pevnost. Tato keramika je vhodná pro obtížné hrubovací obrábění s přerušovaným řezem. Možnost vysoce výkonného soustružení. Materiál je využíván jak při obrábění šedých litin s použitím chladicí kapaliny, tak i bez ní.

3 HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI NÁSTROJE

Řezné materiály ovlivňují produktivitu, výrobní náklady a kvalitu výroby. Jejich význam je charakterizován podmínkami, ve kterých nástroj pracuje. Náročnost výroby, vystavení intenzivnímu mechanickému a tepelnému namáhání, vede k otupení břitu, nebo totálnímu poškození nástroje.² Řezný materiál proto musí být tvrdší, než materiál obráběný, aby se mohl uskutečnit řezný proces a bylo možné odřezávat třísku.

V dnešní době se také klade důraz na zkracování výrobních časů a zvyšující se jakost výrobků. Největší vliv na celkový výrobní čas při obrábění mají řezné podmínky a samozřejmě jejich zvyšováním se tento čas zkracuje. K tomu je třeba, aby řezný materiál splňoval hlavní požadavky jako⁶:

- odolnost opotřebení,
- houževnatost nástrojového materiálu,
- tvrdost za tepla,
- odolnost tepelnému šoku,
- tepelná roztažnost,
- tepelná vodivost.

Řezné vlastnosti keramických materiálů závisí především na fyzikálně mechanických vlastnostech, jako např. velikost zrn a rovnoměrnost jejich rozložení, pevnost v ohybu a tlaku, hustota a zbytková pórovitost, tvrdost, odolnost proti opotřebení a odolnost proti tepelným rázům.

Velikost zrna a jejich rovnoměrnost rozložení má výrazný vliv téměř na všechny mechanické vlastnosti řezné keramiky, a proto ovlivňuje i řezivost nástroje. Minimální opotřebení pak vykazují břitové destičky s přesahem 98,5 % teoretické hustoty a velmi jemnou zrnitostí. Zápolem je sklon k vydrolování a vylamování ostří.

Zrnitost není jediná vlastnost, na které by záviseli řezné vlastnosti keramických břitových destiček. Důležité je i spektrum rozložení velikostí jednotlivých zrn slinutého tělesa. Zrnitost ovlivňuje i ohybovou pevnost keramiky, která bývá navyšována snížením střední velikosti zrna.

3.1 *Opotřebení nástroje*

Opotřebení nástroje je složitý proces, který závisí na mnoha faktorech, zejména na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu, druhu obráběné operace a řezu (plynulý nebo přerušovaný), geometrii nástroje řezných podmínkách apod. Mezi hlavní druhy opotřebení patří abraze, adheze, difúze, oxidace, plastická deformace a křehký lom. U keramických břitových destiček se však díky svým vlastnostem vyskytuje pouze abraze, oxidace a křehký lom.

Opotřebení břitu nástroje vzniká především jeho mechanickým zatěžováním a projevuje se zde abrazivní účinek tvrdých částic třísky a oxidů železa Fe_2O_3 za působení vysoké teploty. V důsledku toho dochází k odbrušování a mikrovylamování čas-

tic na ploše hřbetu - tzv. fazetka opotřebení na hřbetě. Dále vzniká výmol na čele a sekundární (oxidační) hřbetní rýha nástroje.

U řezné keramiky vede zvyšování teploty řezání ke vzniku a šíření trhlinek, které vznikají při opracování povrchu bříty (broušení, honování).

V důsledku toho dochází k vylamování částiček bříty. Velmi nepříznivá je kombinace mechanického a tepelného namáhání, která často vede k jejímu náhlému porušení křehkým lomem, protože řezná keramika není schopna v oblasti řezných teplot plastické deformace.

Hlavním problémem u řezné keramiky je vznik mikrotrhlin, které společně s mechanickým a tepelným namáháním mohou vést až k náhlému porušení břitové destičky. Z tohoto důvodu se hledají cesty jak ochránit řezný klín:

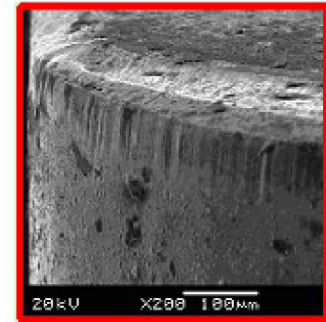
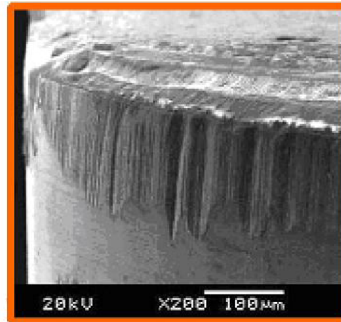
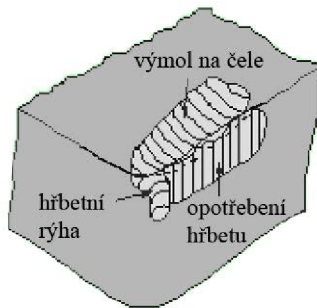
- změna složení (např. přidáním ZrO_2 , TiN, TiC, TiCN),
- vyztužení whiskery,
- zkvalitnění výroby (zvýšením homogenity, jemnozrnnost, malý výskyt defektů),
- využití povlakových vrstev (pomocí metod CVD, PVD, PACVD),
- snížení tepelného zatížení bříty,
- dodržení základních zásad použití (tuhost soustavy stroj-nástroj-obrobek,
- odstranění kůry obráběného polotovaru - odlitky, výkovky,
- sražení hran,
- snížení hodnoty posuvu při najíždění a vyjíždění z řezu; správná volba,
- geometrie; tvaru a velikosti břitové destičky.

3.1.1 Formy opotřebení

Pro měření opotřebení se využívá dvou hlavních metod (přímé a nepřímé).

Přímé měření opotřebení:³³

- měření změn opotřebení rozměrů bříty v závislosti na čase (na mikroskopu),
- měření hmotnostního úbytku nástroje (konvenčně, nebo radioizotopovou metodou).

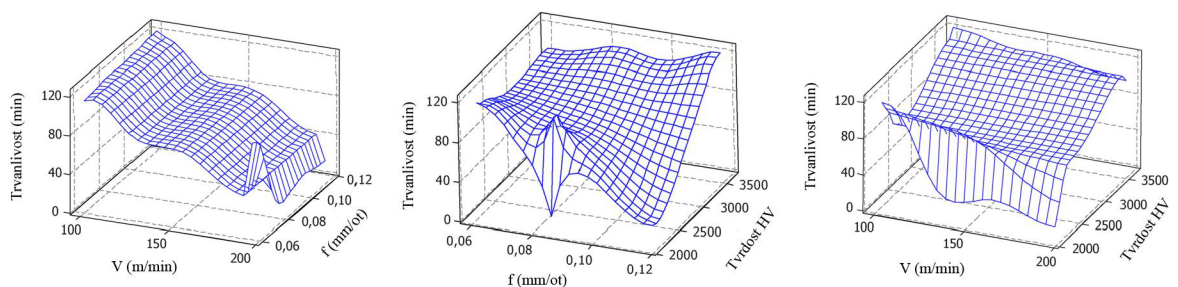


Model opotřebení keram. nástroje Nepovlakovaný keramický nástroj PVD - povlakovaný keram. nástroj
Obrázek 3-1 Detail opotřebení břitové destičky⁸

Nepřímé měření opotřebení:³³

- měření změny velikosti sil působících při obrábění,
- měření nárůstu výkonu potřebného k obrábění,
- měření změny teploty obrobku, nástroje nebo třísek,
- sledování výskytu ostřin na hranách obrobku,
- sledování výskytu lesklých proužků na obrobeném povrchu, zhoršení drsnosti povrchu,
- měření změn rozměrů obrobené součásti,
- měření nadměrné hlučnosti při obrábění,
- analýza vibrační soustavy stroj-nástroj-obrobek rozborem chvění a kmitání.

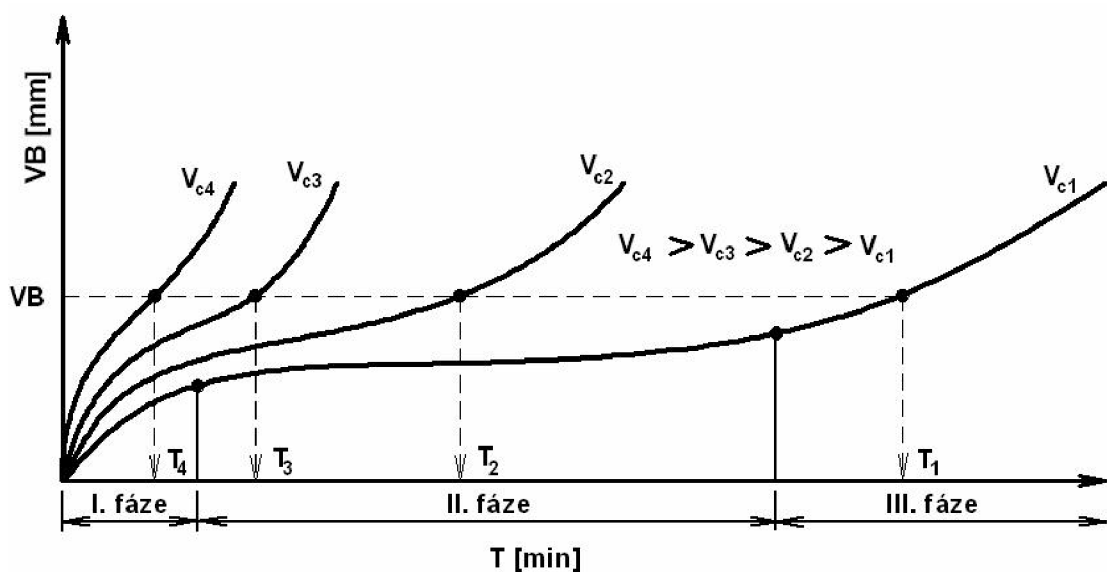
Trvanlivost můžeme definovat jako součet všech čistých časů řezání, tj. od počátku řezání až po opotřebení břitu rezného nástroje, podle předem stanoveného zvoleného kritéria. Tato hodnota musí být stanovena tak, aby po celou dobu trvanlivosti nástroje měl obrobek požadované rozměry, tvar a kvalitu povrchu. Trvanlivost nástroje, podobně jako jeho opotřebení, závisí na metodě obrábění, materiálových vlastnostech obrobku a nástroje, nebo rezných podmínkách. Životnost je zamýšlena jako součet všech časů trvanlivostí, tedy doba od prvotní činnosti do vyřazení nástroje. To určuje obvykle velikost opotřebení břitu, drsnost obráběného povrchu, schopnost dodržení úchylek a rozměrů, nebo velikost rezné síly.



Obrázek 3-2 Trvanlivosti řezné keramiky v různých závislostech¹⁹

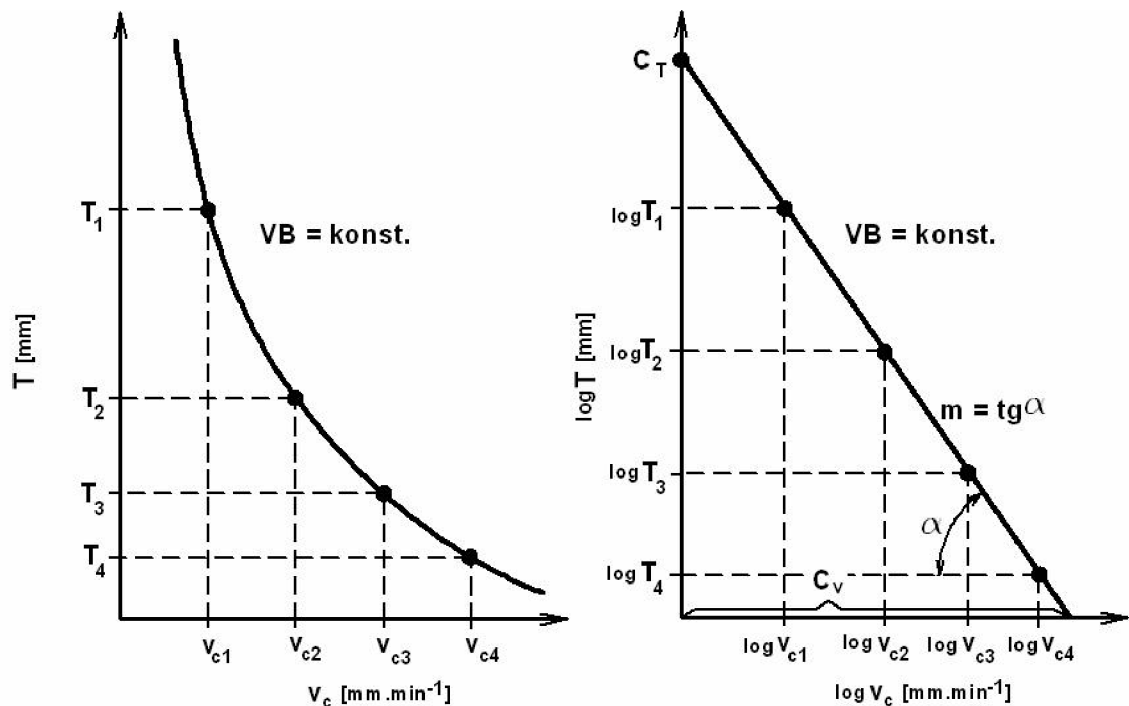
V převážné míře se opotřebení řezného nástroje projeví na zhoršené kvalitě obrobeneho povrchu. Větší opotřebení nástroje může také znamenat zvětšení stykové plochy mezi obrobkem a nástrojem, tím zvýšení tlaku a hrozbou zadírání, nebo křehkému lomu nástroje, tzn. jeho následnou destrukcí.

Nejpoužívanější a velmi jednoduchou metodou hodnocení opotřebení je analýza pomocí křivek opotřebení (obr. 3-3). Měřenou veličinou je nejčastěji šířka opotřebení fazetky na hřbetě VB, kde se zpravidla určuje pásmo záběhu (I. fáze), pásmo běžného opotřebení (II. fáze) a pásmo zrychleného opotřebení (III. fáze). Vzešlé křivky se využívají k stanovení dílčích účinků kvality bříty, řezných podmínek, řezného prostředí, v závislosti na trvanlivosti bříty (T). Časový rozvoj hloubky výmolu na čele nástroje, má zpravidla parabolický průběh bez normálního pásma opotřebení.



Obrázek 3-3 Časové křivky rozvoje šířky opotřebení fazetky na hřbetu v závislosti na řezné rychlosti ³³

Řezná rychlost má největší vliv na trvanlivost nástroje. Ve vyhodnocení trvanlivosti a určení křivek se postupuje takovým způsobem, že se stanoví konstantní hodnota vybraného kritéria (fazetka na hřbetě VB, hloubka výmolu na čele KT) a tomuto jsou z časových křivek odečteny hodnoty trvanlivosti T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , jímž odpovídají zvolené řezné rychlosti v_{c1} , v_{c2} , v_{c3} , v_{c4} (obr. 3-4 vlevo). Body o souřadnicích $v_{c1} - T_1$, $v_{c2} - T_2$, $v_{c3} - T_3$, $v_{c4} - T_4$ jsou poté zaznamenány do diagramu s logaritmickými souřadnicemi T a v_c , kde vytvoří obvykle lineární závislost, která odpovídá zvolené hodnotě VB (obr. 3-4 vpravo).



Obrázek 3-4 Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti (vlevo), závislost trvanlivosti v závislosti na řezné rychlosti v logaritmickém tvaru (vpravo) ³³

Matematicky získaná T - v_c závislost (Taylorův vztah) se popisuje následujícími základními vztahy: ³³

$$v_c = T^m = C_v, \quad v_c = \frac{C_v}{T^{1/m}}, \quad T = \frac{C_T}{v_c^m}$$

Je možné pak tuto závislost využít i pro přepočítání trvanlivostí ve tvaru:

$$T_1 = v_1^m = T_2 = v_2^m = C_T$$

Konstantu C_T pro daný materiál, obrobek a řezné podmínky f , a_p lze vyčíst na ose T pro $v_c = 1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Velikost konstanty C_v na ose v_c pro trvanlivost $T = 1 \text{ min}$. Exponent m vyjadřuje směrnici vytvořené přímky ($m = \text{tg} \alpha$).

Aby platnost vztahů T - v_c závislosti byla splněna, musí se dodržet následující podmínky:

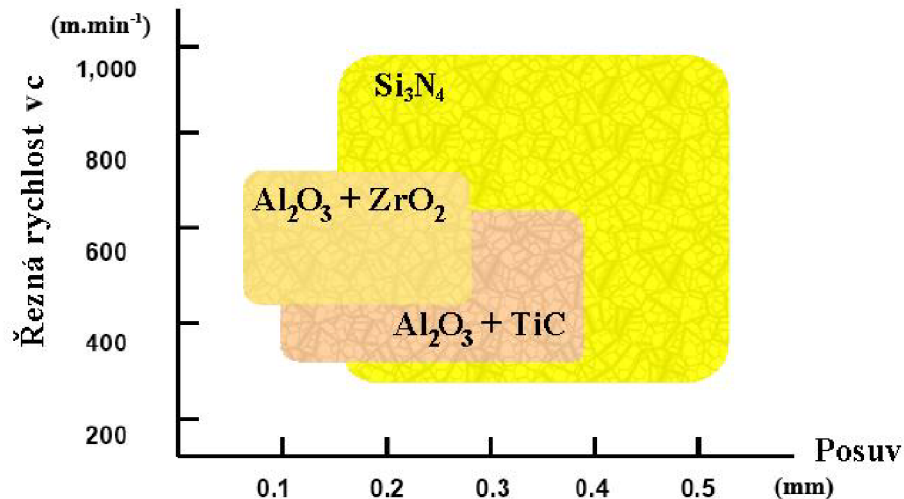
- šířka záběru ostří $a_p = \text{konst.}$,
- posuv na otáčku $f = \text{konst.}$,
- opotřebení $VB = \text{konst.}$,
- stroj a jeho chlazení, mazání, nebo stav polotovaru, atd. = konst.

Konstanty i exponent „ m “ jsou ovlivněny mnoha činiteli, kvůli tomu se jejich hodnoty také mění. Významná je hodnota exponentu m , která se proměňuje s vlastnostmi materiálu břitů nástroje. Výše tohoto exponentu ukazuje, jaká velká je citlivost nástrojového materiálu na změnu řezné rychlosti.

3.2 Pravidla pro soustružení a frézování řeznou keramikou

3.2.1 Soustružení

Pracovní podmínky pro soustružení keramickými materiály, uvádějí producenti v katalogích svých výrobků. Důležitou roli hraje otázka chlazení. U naprosté většiny VBD z keramiky, je chlazení pomocí kapaliny zakázáno. Při obrábění tvrdých materiálů je nutné volit nízkou hloubku řezu (a_p)



Obrázek 3-5 Řezné podmínky soustružení pro keramiku⁶

Pro efektivní a hospodárné využití keramických VBD při soustružení je vhodné dodržovat tato základní pravidla:⁴

- před začátkem obrábění se doporučuje srazit hrany,
- pro hrubování zvolit VBD kruhového tvaru nebo malý úhel nastavení hlavního ostří,
- úhel nastavení 85° má za následek malou řeznou sílu a dobrou stabilitu, zejména při soustružení načisto břitovými destičkami čtvercového tvaru,
- vhodně naplánovat (naprogramovat) dráhu nástroje, aby nedocházelo k velkému kolísání zatížení břitu,
- zásadně je nutné dát přednost obrábění za sucha,
- stabilita je nejdůležitějším faktorem, který se vztahuje k celému procesu obrábění, počínaje břitem, přes držák nástroje, až po obráběcí stroj.

3.2.2 Frézování

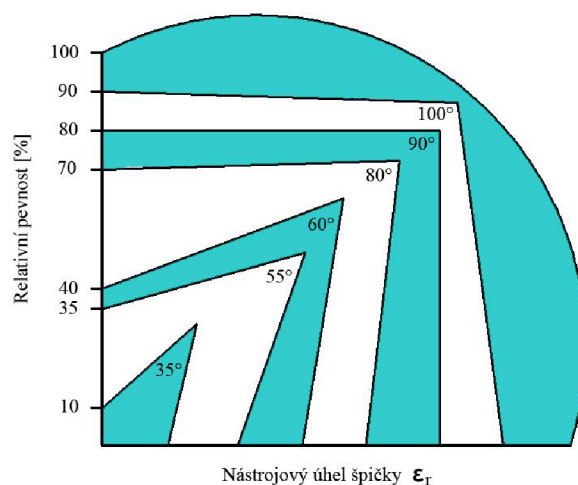
První druhy keramických materiálů ještě nebyly takové kvality, aby je bylo možné použít pro přerušovaný řez, to znamenalo použití zejména pro soustružení. Vývojem a zlepšením mechanických vlastností se dosáhlo toho, že je v dnešní době možné použít materiál i k přerušovanému řezání, tedy i frézování. Aby se dosáhlo tu-

hé soustavy stroj/nástroj/obrobek a zamezilo tak vibracím, jsou frézovací hlavy osazeny vícero břity.

3.3 Vliv tvaru keramických VBD na jejich relativní pevnost

3.3.1 Nástrojový úhel špičky

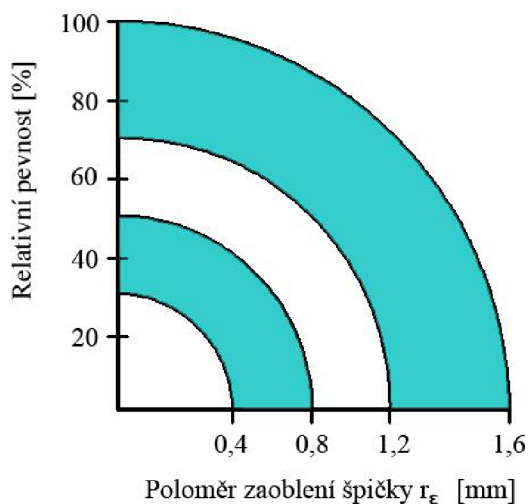
Relativní pevnost keramického nástroje je ovlivněna i tvarem břitové destičky. Z obrázku 3-6 lze vyčíst, že s klesajícím úhlem, který mezi sebou svírá nástrojová rovina hlavního a vedlejšího ostří (nástrojový úhel špičky ϵ_r) břitové destičky, má za následek klesající relativní pevnost. Z tohoto obrázku také vyplývá, že relativně nejvíce pevná bude břitová destička kruhového tvaru. Aby bylo dosaženo maximální pevnosti břitové destičky, používá se co nejpevnější tvar, vhodný pro zvolené obrábění.



Obrázek 3-6 Relativní pevnost keramické VBD v závislosti na nástrojovém úhlu špičky ³⁰

3.3.2 Poloměr zaoblení špičky

Poloměr zaoblení špičky určuje, čím větší je jeho hodnota, tím větší je relativní pevnost vyměnitelné břitové destičky. V praxi není možné provádět všechny operace soustružení nástrojem o velkém poloměru zaoblení špičky. Tyto se používají především pro hrubovací úkony. Malé poloměry jsou určeny pro dokončovací operace.



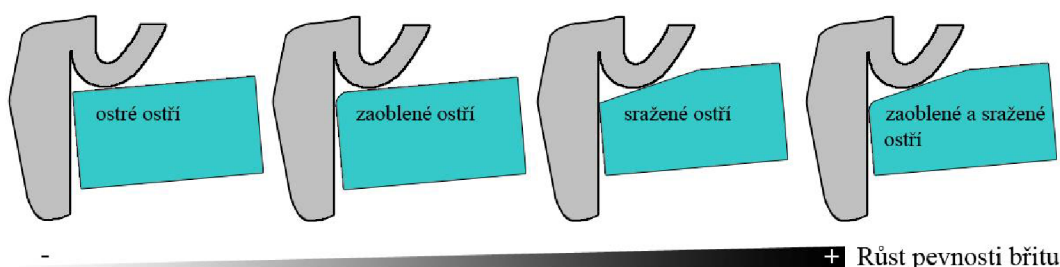
Obrázek 3-7 Relativní pevnost keramické VBD v závislosti na poloměru zaoblení špičky ³⁰

3.3.3 Tloušťka vyměnitelné břitové destičky

Zvýšení rázové houževnatosti a prodloužení životnosti nástrojů znamená výhoda větší tloušťky vyměnitelné břitové destičky. Tyto důsledky pak pomáhají k větším obráběcím výkonům. Tloušťka VBD také navyšuje bezpečnost práce.

3.3.4 Úprava ostří keramického řezného nástroje

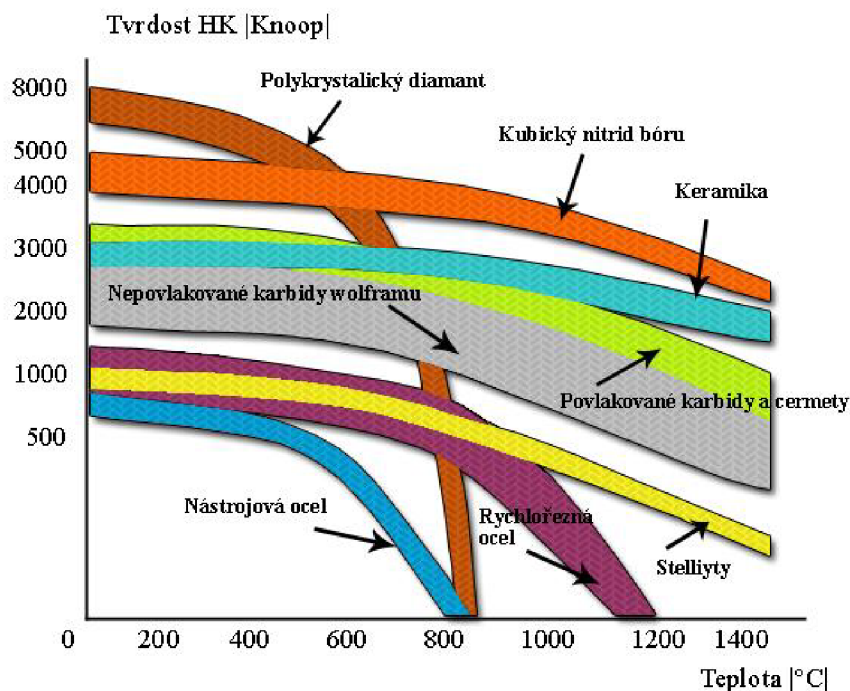
Změny na nástroji, provedené sražením ostří (vytvoření negativní fazetky na čele), se zvyšuje pevnost břitu. Výsledná síla při obrábění, působící na sražené ostří, se rozprostře do větší plochy materiálu řezného nástroje, než by tomu bylo u nástroje bez této úpravy. Tyto změny (uvedené na obr. 3-8) rozšiřují možnou aplikaci nástrojů z řezné keramiky (např. obrábění přerušovaným řezem, obrábění licí kůry obrobku).



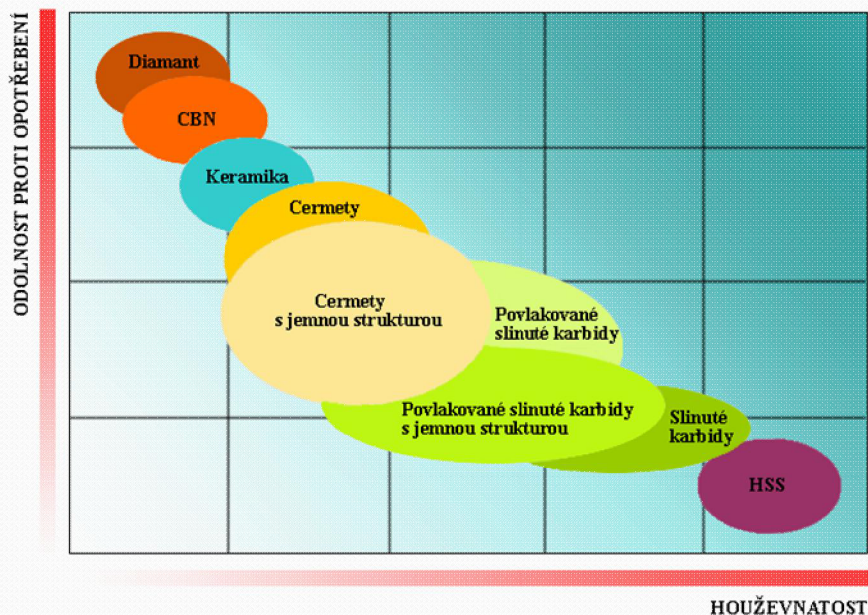
Obrázek 3-8 Úprava ostří keramického řezného nástroje

3.4 Porovnání řezných materiálů

V porovnání s ostatními řeznými materiály má keramika konkurenci v polykrystalickém diamantu a polykrystalickém nitridu bóru. Ty disponují lepší odolností tvrdostí a řezné rychlostí. Převyšuje je však v odolnosti vysokým teplotám. Ostatní materiály mají hodnoty horší. Vybrané vlastnosti a porovnání ukazuje obr. 3-9 a 3-10.



Obrázek 3-9 Srovnání řezných materiálů v závislosti tvrdosti na teplotě



Obrázek 3-10 Řezné materiály a jejich houževnatost s odolností opotřebení ⁶

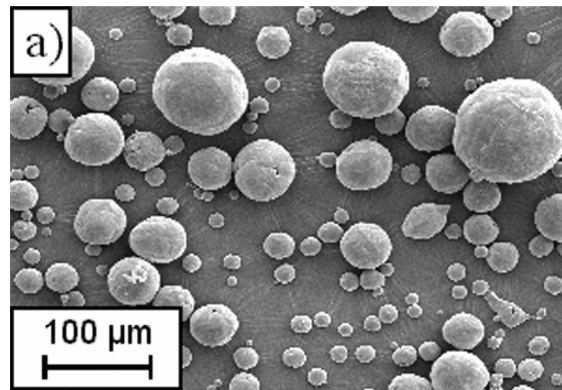
Tabulka 3-1 Hlavní oblasti využití nástrojů z řezné keramiky²⁷

Materiál	Použití
Al_2O_3	Běžné soustružení, vrtání a drážkování litiny.
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiCw}$	Obrábění žárovzdorných slitin. Hrubování a jemnění superslitin, oceli a litiny. Přerušované řezy.
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$	Soustružení tvrdé slitiny zušlechťených ocelí do tvrdosti 64HRC na velmi jemný povrch. Běžné soustružení, vrtání a drážkování litiny. Dokončovací obrábění žárovzdorných superslitin, litiny a oceli.
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$	Soustružení šedé, tvárné a kujné litiny, vytvrzené na 300HB. Obrábění uhlíkové, legované a nástrojové oceli, vytvrzené na 38HRC.
Sialony	Hrubé obrábění superslitin na bázi niklu pro letecké motory a pro použití v agresivním prostředí. Řezy vyžadují vysoký posuv, rychlost nebo hloubku. Litiny při vysokých rychlostech.
Si_3N_4	Hrubé soustružení a frézování litiny v těžkých podmínkách. Soustružení žárovzdorných slitin na bázi niklu.

3.4.1 Oxidová keramika

Čistá keramika

Čistá keramika obsahuje až 99,5% oxidu hlinitého Al_2O_3 . Je doporučována zejména pro dokončovací soustružení šedé litiny, uhlíkových a nízkoaloyovaných ocelí při použití řezné rychlosti vyšší než $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Barva čisté keramiky tvářené za studena je bílá, kdežto barva u keramiky tvářené za tepla je šedá.



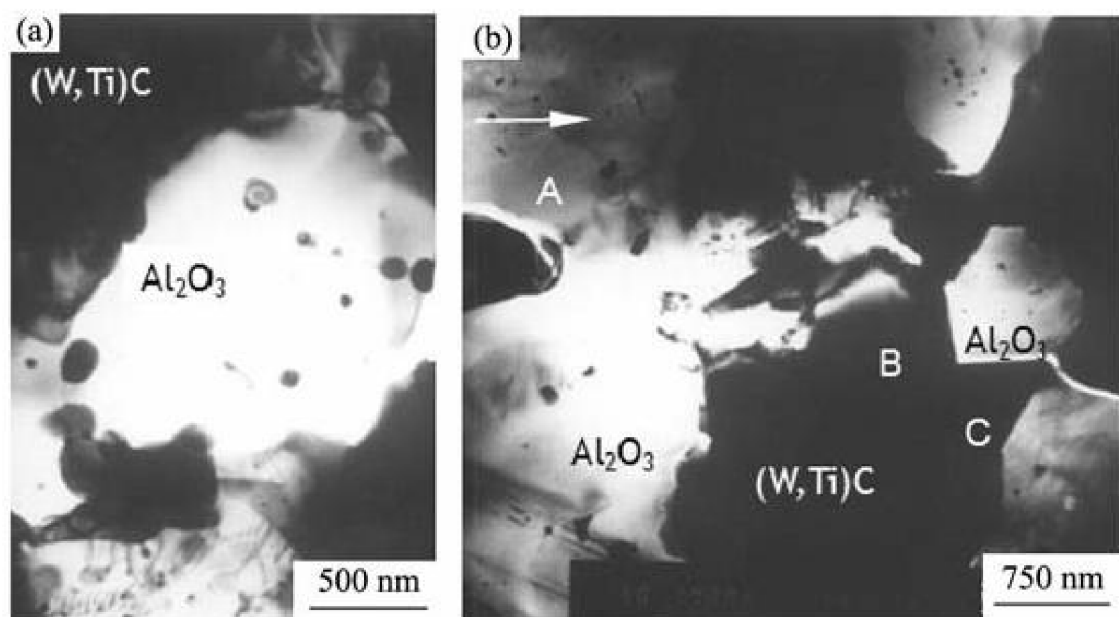
Obrázek 3-11 Mikrostruktura Al_2O_3

Polosměsná keramika

Polosměsná keramika vzniká přidáním dalších přísad do čisté keramiky. Polosměsná keramika se nejčastěji používá k výrobě vyměnitelných břitových destiček. Ty mají při zahřátí černou barvu.

Směsná keramika

Materiál ze směsné keramiky má oproti čisté keramice mnohem větší odolnost proti teplotním a mechanickým rázům.



Obrázek 3-12 mikrostruktura morfologie prvku vyztužené keramiky ²³

Doporučuje se hlavně pro frézování šedé litiny a oceli, pro soustružení na čisto a jemné soustružení ocelí cementačních, ocelí zušlechtěných a tvrzené litiny.

3.4.2 Nitridová keramika

Keramika na bázi nitridu křemíku má relativně vysokou odolnost proti mechanickému opotřebení břitu a je vhodná zejména pro dokončovací a hrubovací práce na šedé litině s hrubou licí kůrou. Doporučuje se pro přerušované řezy, je odolná proti teplotním rázům a vhodná pro opracování žárovečných slitin na bázi niklu. Keramika na bázi Si_3N_4 je charakteristická vysokým stupněm tvrdosti při teplotách, které slinutý karbid nesnese.

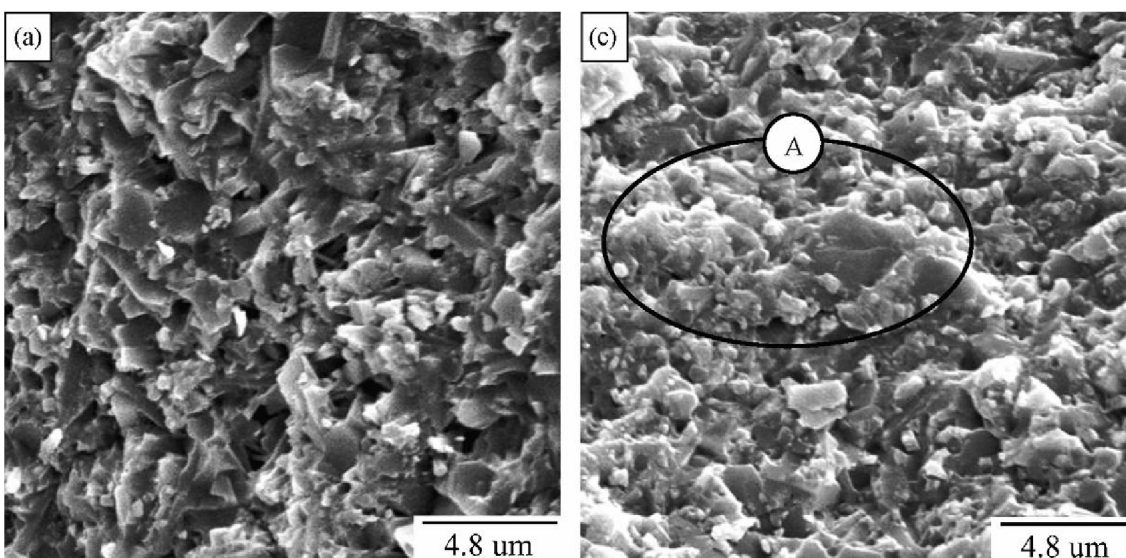
Břítové destičky z řezné keramiky na bázi nitridu křemíku jsou vhodné zejména pro opracování šedé litiny za studena i při chlazení, řeznými rychlostmi až $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

3.4.3 Sialonová keramika

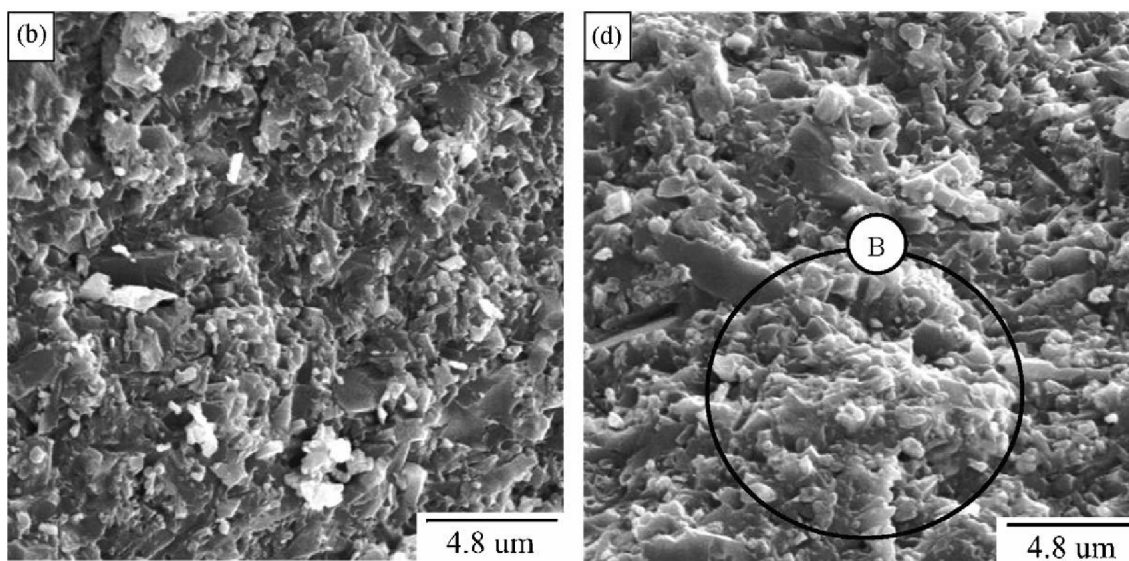
Tento materiál má obvykle vysokou hustotu, ale v důsledku přísad jako jsou např. BeO , CeO_2 , ZrO_2 , nebo YO , se může objevit částečné zhoršení mechanických vlastností za vysokých teplot. Největší výhodou této technologie je možnost produkce výrobků, které mají neomezené tvary.

3.4.4 Povlakovaná keramika

Zlepšení mechanických vlastností řezných keramik se dá docílit povlakováním CVD a PVD. Díky povlakované vrstvě získává keramika mimo jiné např. vyšší tvrdost, odolnost proti šíření povrchových trhlin, odolnost vůči otěru atd. Si_3N_4 a povlak $\text{TiN} + \text{Al}_2\text{O}_3$, který zvyšuje odolnost keramiky vůči mechanickému opotřebení.



Obrázek 3-13a Si_3N_4 s TiN v objemu a) 1% b) 5% c) 10% d) 15%



Obrázek 3-143b Si_3N_4 s TiN v objemu a) 1% b) 5% c) 10% d) 15%

3.4.5 Vyztužená keramika

Vyztužená keramika představuje relativně nový materiál. Tento materiál obsahuje vlákna whiskerů o průměru 1 mikrometr, ale jeho délka může být až 20-ti násobkem průměru. Tyto vlákna jsou z karbidu křemíku a mají vysokou pevnost. Destičky z vyztužené keramiky se vyznačují velice vysokou tvrdostí, zvýšenou houževnatostí, pevností v tahu a odolností proti tepelným výkyvům. Podíl whiskerů v rezné keramice činí maximálně 30%. Barva těchto destiček bývá zpravidla zelená. Vyztužená keramika je úspěšně využívána při obrábění žáruvzdorných slitin, kalené oceli, šedé litiny a při obrábění přerušovaným řezem.

4 DOPORUČENÉ PRACOVNÍ PODMÍNKY PRO EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ

4.1 Základní rozdělení

Podle normy ISO 513:2004 se obráběné materiály rozdělují do 6 hlavních skupin, z nichž se každá dělí na další aplikační podskupiny. Hlavní skupiny jsou rozděleny dle materiálů, které jsou obráběny. Ty se rozlišují písmeny a barvami. Jednotlivé skupiny jsou označeny písmenem hlavní skupiny a klasifikačním číslem (01, 05, 10, 15, 20, 25, 30). Uspořádání aplikačních skupin si výrobci rezných materiálů zvolili podle relativního opotřebení a pevnosti. Nižší číslo značí, že je možné obrábět vyšší rychlostí a materiál má vyšší otěruvzdornost. Vyšší číslo znamená růst rychlosti posuvu a pevnost rezného materiálu.

Rozdělení aplikačních skupin dle ISO 513:2004:

- P (označení barvou – modrá),
- M (žlutá),
- K (červená),
- N (zelená),
- S (hnědá),
- H (šedá).

Skupina P

je určena k obrábění materiálů, tvořící dlouhou třísku. K těm patří uhlíkové oceli, slitinové a feritické korozivzdorné oceli. Proces řezání doprovází velké rezné síly a také významné opotřebení na čele nástroje. Zabránění difúzi při vysokých teplotách zaručuje přísada TiC, která je příčinou výmolů na čele nástroje.

Skupina M

tato skupina má univerzální použití a určuje materiály, které tvoří střední, nebo delší třísku, jako lité oceli, korozivzdorné austenitické oceli, austeniticko-feritické oceli, tvárné litiny. Řezné síly jsou v pásmu středních až vysokých hodnot. Dochází zde k vydrolování ostří.

Skupina K

je určena pro obrábění takových materiálů, které tvoří krátkou drobnou třísku, především litina, temperovaná litina, nebo litina s globulárním grafitem. Opotřebení hlavně abrazivním otěrem a adhezí. Řezné síly jsou nízké.

Skupina N

pro obrábění materiálů z neželezných kovů. Tzn. hliník a další neželezné kovy, plus jejich slitiny a nekovové materiály.

Skupina S

je vhodná k obrábění tepelně odolných slitin na bázi železa, niklu, kobaltu, titanu a těžce obrobitelných slitin z titanu.

Skupina H

tato skupina je používána pro obrábění vysoce tvrdých ocelí, kalených ocelí a tvrzených nebo kalených litin.

4.2 Vyhodnocení pracovních podmínek

V následujících tabulkách je provedeno srovnání řezné keramiky různých světových výrobců z hlediska druhu obrábění a doporučených řezných podmínek. Navazuje se tak na část 2. Řezná keramika v sortimentu nejvýznamnějších světových výrobců. Pro toto srovnání ovšem nebylo možné získat údaje kompletního seznamu výrobců. V přehledu jsou tak uvedeny produkty s dostupnými daty od producentů.

Pro přehledné zobrazení výsledků jsou tabulky řazeny následujícím způsobem:

- zařazení ŘK různých výrobců v rámci skupiny (K, P, S, H)
- doporučené řezné podmínky v rozsahu 01-10,
- doporučené řezné podmínky v rozsahu 10-20,
- doporučené řezné podmínky v rozsahu 20-30.

4.2.1 Srovnání pro skupinu K

Tato skupina zahrnuje největší počet producentů a jejich výrobků. Největší zastoupení mají CeramTec, Kennametal, Ssangyong, které vyrábí přes 65% srovnávaných materiálů.

Tabulka 4-1 Zařazení ŘK různých výrobců v rámci skupiny K

Výrobce	Typ	K01	K05	K10	K15	K20	K25	K30
CeramTec	SN60							
	SH2							
	SH3							
	SN80							
	SL550C							
	SL506							
	SL500							
	SL554C							
	SL200							
Kennametal	K090							
	KYK1310							
	KY3400							
	KY3500							
	KY4300							

Pokračování tabulky 4-1

Výrobce	Typ	K01	K05	K10	K15	K20	K25	K30
Saint Gobain	D100							
	D320							
	D420							
	D460							
Sandvik Coromant	CC620							
	CC650							
	CC690							
	CC6090							
Ssangyong	ST100							
	ST200							
	ST500							
	SZ200							
	SD200							
	SN26							
	SN300							
	SN400							
Sumitomo	NS260							
	NS260C							
Widia	CW2015							
	CW5020							

Z rozdělení dle aplikačních podskupin vyplývá, že výrobci využívají velkého rozsahu K01 až K30. Nejčastěji pak K01÷K15, které produkuje zejména Ssangyong. Hned 29 materiálů čítá podskupina K10.

Tabulka 4-2 Doporučené řezné podmínky v rozsahu K01-K10

Výrobce	Typ	Druh obrábění	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Šířka záběru a_p [mm]	Posuv na otáčku f [mm]
Kennametal	KY1310	Hrubování Dokončování	600÷1000	0,1÷0,6	0,2÷2,5
	K060		300÷900	0,3÷1,0	0,1÷0,4
	K090		300÷900	1,0÷3,0	0,1÷0,4
	KY3400	Dokončování	350÷800	0,1÷0,3	0,2÷2,5
CeramTec	SN60	Dokončování	150÷1200	0,3÷1,0	0,2÷0,6
	SH2	Dokončování	150÷1200	0,3÷1,0	0,2÷0,6
Sandvik Coromant	CC620	Hrubování	320÷510	0,25÷5,0	0,1÷0,45
		Dokončování		0,2÷5,0	0,05÷0,45
	CC650	Dokončování	320÷510	0,2÷5,0	0,05÷0,45
Ssangyong	ST100	Hrubování	150÷800	2,0÷5,0	0,2÷0,4
	ST300	Dokončování	200÷1200	0,1÷0,5	0,05÷0,3
	ST500				
	SD200	Hrubování	200÷700	2÷5	0,2÷0,4

Pokračování tabulky 4-2

Výrobce	Typ	Druh obrábění	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Šířka záběru a_p [mm]	Posuv na otáčku f [mm]
Ssangyong	SD200	Dokončování	200÷800	0,1÷0,5	0,05÷0,25
	SZ200	Hrubování	150÷1100	<5	0,3÷0,8
	SZ300	Dokončování	250÷1200	<1	0,15÷0,4
	SN26 SN300 SN400 SN500	Hrubování	150÷250	<5	0,2÷0,4
	SN800	Dokončování	150÷450	<1	0,1÷0,2
Sumitomo	NS260	Hrubování	250÷800	0,4÷1	0,3÷0,8
	NS260C	Dokončování	300÷850	0,1÷0,5	0,05÷0,3
Widia	CW2015	Dokončování	250÷900	0,5÷4,0	0,2÷0,4

V rozsahu K01÷K10 byla možnost srovnání množství výrobců a jejich keramických materiálů. Řezné rychlosti se pohybují v rozmezí $v_c=150÷1200$ m.min⁻¹, šířka záběru $a_p=0,1÷5,0$ mm a posuv na otáčku $f=0,05÷2,5$ mm

Tabulka 4-3 Doporučené řezné podmínky v rozsahu K10÷K20

Výrobce	Typ	Druh obrábění	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Šířka záběru a_p [mm]	Posuv na otáčku f [mm]
CeramTec	SN80	H	100÷1000	0,3÷1,0	0,2÷0,6
	SH3	D	150÷1200	0,2÷1,0	0,08÷0,7
	SL500		300÷1500	<1,0	0,15÷0,9
	SL506		500÷1500	<0,5	0,15÷0,45
	SL550C		150÷700	0,5÷2,0	0,1÷0,6
	SL554C		200÷800	<1,5	0,1÷1,0
Kennametal	KY1310	Hrubování Dokončování	600÷1000	0,1÷0,6	0,2÷2,5
	KY3500	Hrubování Dokončování	600÷1000	0,1÷0,7	0,2÷2,5
	KY3400	Dokončování	350÷800	0,1÷0,3	0,2÷2,5
Sandvik Coromant	CC690 CC6090	Hrubování Dokončování	400÷800	1,0÷7,0	0,2÷0,7
	Ssangyong	SZ200	Hrubování	150÷1100	<5,0
SZ300		Dokončování	250÷1200	<1,0	0,15÷0,4
Widia	CW5025	Hrubování	250÷900	0,5÷4,0	0,2÷0,4

Také v rozsahu K10÷K20 bylo možné porovnat dostatek výrobků. Řezná rychlost se nachází v rozsahu $v_c=150\div1500$ m.min⁻¹, šířka záběru $a_p=0,1\div5,0$ mm, posuv na otáčku $f=0,08\div2,5$ mm.

Tabulka 4-4 Doporučené řezné podmínky v rozsahu K20-K30

Výrobce	Typ	Druh obrábění	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Šířka záběru a_p [mm]	Posuv na otáčku f [mm]
Ceramtec	SL500		300÷1000	<0,5	0,25÷0,9
	SL550C		150÷700	0,5÷2,0	0,1÷0,6
	SL554C		200÷800	<1,5	0,1÷1,0
Kennametal	KY3500	Hrubování	600÷1000	0,1÷0,7	0,2÷2,5
		Dokončování			

V tabulce 4-4 jsou jen dvě firmy a čtyři jejich materiály. Z přehledu vyplývá, že řezná rychlost v_c je od 150÷1000 m.min⁻¹. Šířka záběru $a_p=0,1\div2,0$ mm a posuv na otáčku $f=0,1\div2,5$ mm.

4.2.2 Srovnání pro skupinu P

Další materiálovou skupinou je, které využívají keramické materiály, je skupina P. Rozdělení je zobrazeno v tabulce 4-5. Řezné podmínky pro P01÷P30 jsou pak shrnuty v tab. 4-6.

Tabulka 4-5 Zařazení ŘK různých výrobců v rámci skupiny P

Výrobce	Typ	P01	P05	P10	P15	P20	P25	P30
CeramTec	SN80							
Kennametal	K060							
	K090							
Saint Gobain	D210							
Ssangyong	ST100							
	ST200							
	ST500							
	SZ200							
Sumitomo	NB90S							

Tabulka 4-6 Doporučené řezné podmínky v rozsahu P01-P30

Výrobce	Typ	Druh obrábění	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Šířka záběru a_p [mm]	Posuv na otáčku f [mm]
CeramTec	SN80	H	150÷700	>1,5	0,3÷0,45
Ssangyong	ST100/ ST300/ ST500	H	150÷400	2÷5	0,2÷0,5

Pokračování tabulky 4-6

Výrobce	Typ	Druh obrábění	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Šířka záběru a_p [mm]	Posuv na otáčku f [mm]
Ssangyong	ST100/ ST300/ ST500	D	50÷200	0,1÷0,5	0,005÷0,2
	SZ200	D	300÷1200	0,1÷0,5	0,05÷0,3
Sumitomo	NB90S	D	320÷450	0,13÷1,5	0,05÷0,3

Uvedení výrobci produkují své materiály pouze v rozsahu P01÷P15. Řezné podmínky pro soustružení pak uvádějí čtyři výrobci. Jejich rozsahy jsou pro řeznou rychlost $v_c=150\text{m.min}^{-1}$, šířku záběru $a_p=0,1\div 5$ mm a posuv na otáčku $f=0,005\div 0,5$ mm.

4.2.3 Srovnání pro skupinu S

Další srovnávanou, je skupina s označením S (žárovzdorné a žárovevné materiály). V přehledu je obsazena výrobci Kennametal, Sandvik Coromant, Sumitomo a Widia. Nejčastější zastoupenou podskupinou je S10 a S15.

Tabulka 4-7 Zařazení RK různých výrobců v rámci skupiny S

Výrobce	Typ	S01	S05	S10	S15	S20	S25	S30
Kennametal	KYK1540							
	KYK2100							
	KY4300							
Sandvik Coromant	CC650							
	CC670							
	CC6080							
Sumitomo	WX2000							
Widia	CW3020							

Tabulka 4-8 Doporučené řezné podmínky v rozsahu S01-S30

Výrobce	Typ	Druh obrábění	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Šířka záběru a_p [mm]	Posuv na otáčku f [mm]
Kennametal	KY1540	D	105÷350	0,5÷1,5	0,05÷0,5
	KY2100	D	140÷350	0,5÷1,6	0,05÷0,6
	KY4300	D	105÷350	0,5÷1,5	0,05÷0,5
Sandvik Coromant	CC650		160÷400	-	0,1÷0,2
	CC670		150÷600	-	0,05÷0,35
	CC6080		230÷420	-	0,1÷0,3
Widia	CW3020	D	170÷370	0,5÷4,0	0,1÷0,5

Řezné rychlosti nedosahují takových hodnot, jako u skupiny K. Řezné podmínky jsou v intervalech $v_c=105\div 600$ m.min⁻¹, $a_p=0,5\div 4,0$ mm, $f=0,05\div 0,6$ mm.

4.2.4 Srovnání pro skupinu H

Řezná keramika se používá i při obrábění zušlechťovaných ocelí. V této skupině se nachází výrobky tří srovnávaných firem. Podskupina S05 a S10 registrují nejvíce materiálů.

Tabulka 4-9 Zařazení ŘK různých výrobců v rámci skupiny S

Výrobce	Typ	S01	S05	S10	S15	S20	S25	S30
Kennametal	KY1615							
	KY4400							
Saint Gobain	D320							
Sandvik Coromant	CC650							
	CC670							
	GC6050							

Tabulka 4-10 Doporučené řezné podmínky v rozsahu H01-H30

Výrobce	Typ	Druh obrábění	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Šířka záběru a_p [mm]	Posuv na otáčku f [mm]
Kennametal	KY1615		90÷140	0,25÷4,0	0,1÷0,4
	KY4400		45÷190	0,1÷1,6	0,06÷0,25
CeramTec	SH2	H,D	30÷300	0,5÷4,0	0,06÷0,3
Sandvik Coromant	CC650		30÷150	1,5÷4,0	0,06÷0,3
	CC670		50÷170	0,1÷0,45	0,05÷0,25
	GC6050		50÷190	0,1÷0,4	0,05÷0,25

Při porovnání podmínek soustružení je patrné, že materiály jsou si velmi podobné. Řezné podmínky se pohybují od minima do maxima řezné rychlosti $v_c=30÷300$ m.min⁻¹, šířky záběru $a_p=0,1÷4,0$ mm a posuvu na otáčku $f=0,05÷0,4$ mm.

ZÁVĚR

Řezná keramika patří na 4.místo z hlediska produkce celého spektra řezných nástrojů. Patří tak mezi netradiční řezné materiály a je využívána přibližně v 5 % z celkového objemu řezných materiálů. Použití je zaměřeno především k obrábění velmi tvrdých materiálů a umožňuje vysokorychlostní obrábění, při kterém odolává vysokým teplotám. Objem použití je větší v automobilovém, leteckém, nebo kosmickém průmyslu.

Výrobní proces byl v průběhu let zdokonalován, čímž bylo dosaženo lepších fyzikálně-mechanických vlastností, zvýšení produkce a snížení ceny materiálu. V poslední době je využívána výpočetní technika k simulaci celé výroby, což dále posunuje tento proces. Řezná keramika je vyrobena práškovou metalurgií bez pojivového materiálu. Přednostmi při obrábění tvrdých materiálů jsou vysoká tvrdost, odolnost proti opotřebení a odolnost proti vysokým teplotám. Z uvedených vlastností je velmi důležitou tvrdost za vysokých teplot, které mohou dosáhnout k 1200°C. K pozitivním charakteristikám patří dále pevnost v tlaku, stálá pevnost v ohybu při vysokých teplotách, chemická stabilita, nebo dobrá odolnost proti opotřebení. Jsou známé dva základní druhy keramiky, a to s hlavním podílem Al_2O_3 (oxidu hlinitého) a Si_3N_4 (nitridu křemíku). Materiál je možné vylepšit o vlákna SiC (whiskery). Dalším posunem v kvalitě je produkce vícevrstvých materiálů.

Řezná keramika, jako vysoce výkonný řezný materiál potřebuje mít k pracovní činnosti dodrženy zásady, bez kterých není možné dodržet efektivnost využití. K těmto podmínkám patří zejména tuhost mezi strojem-nástrojem a obrobkem, k zamezení kmitání a tím poškození břitu nástroje. Dále musí být zajištěn výkonný obráběcí stroj s dostatečným rozsahem posuvů a otáček s možnou plynulou změnou těchto parametrů.

Současnou produkcí nástrojů z řezné keramiky se zabývá přes dvě desítky více či méně známých firem. Obeznámení s těmi, které se řadí k předním světovým výrobcům, obsahuje tato diplomová práce. Cílem bylo představit portfolio vyráběných keramických materiálů a následně porovnání pracovních řezných podmínek (řezná rychlost, šířka záběru ostří, posuv na otáčku) dle druhu obráběného materiálu. Tyto podmínky jsou výrobci doporučené pro efektivní využití při soustružnických aplikacích. Srovnáno bylo sedm výrobců (CeramTec, Kennametal, Saint Gobain, Sandvik Coromant, Ssangyong, Sumitomo, Widia). Jejich srovnání ukázalo rozdíly, mnohdy minimální, v doporučených pracovních podmínkách.

Největší možnost srovnání přinesla skupina K, která je určena pro obrábění takových materiálů, které tvoří krátkou drobnou třísku, především se jedná o litiny, temperované litiny, nebo litiny s globulárním grafitem. V této skupině byla soustředěna převážná část produkovaných materiálů všech porovnávaných firem.

Vývoj nových nástrojových materiálů s vyšší odolností proti opotřebení, trvanlivosti a řezivosti (a s těmito vlastnostmi souvisejícím vysokým úběrem obráběného materiálu) je problém, jehož řešení nebude patrně nikdy ukončeno. Nejdůležitější vlastností kvalitního materiálu pro řezné nástroje je vysoká tvrdost, a to i za zvýšených teplot, spojená s vysokou houževnatostí. Protože u všech technických materiálů

na bázi kovů s narůstající tvrdostí obvykle klesá houževnatost, je zřejmé, že takovýmto požadavkům nemůže vyhovět žádný soudobý běžný materiál. Přestože výzkumné týmy výrobců nástrojů na celém světě velmi intenzivně na tomto problému pracují, je málo pravděpodobné, že v dohledné době bude objevena zcela nová tvrdá látka, jejíž fyzikální a mechanické vlastnosti naplní uvedené protichůdné požadavky a umožní tak její úspěšnou aplikaci v oblasti řezných nástrojů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha, MM publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
2. KOČMAN, K. – PROKOP, J.. *Technologie obrábění*, Brno, CERM s.r.o., 2001, ISBN 80-214-1996-2, 270s.
3. MOHYLA, M. *Nekonvenční strojírenské materiály I.*, Ostrava, VŠB 1994, ISBN 80-7078-236-6, 133s.
4. PTÁČEK, L. a kolektiv. *Nauka o materiálu II.*, Brno, CERM s.r.o. 2002, ISBN 80-7204-248-3, 392s.
5. KOČMAN, K.. *Speciální technologie obrábění*, Brno, PC-DIR Real s.r.o. 1998, ISBN 80-214-1187-2, 213s.
6. Ateam. *Řezná keramika* [online]. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 4.10.2010. 25 s. Prezentace. 6. Západočeská univerzita v Plzni . Dostupné z WWW: <www.ateam.zcu.cz/keramika.pdf>.
7. ZAHIRANI, Ahmad Azhar, et al. Effect of MgO particle size on the microstructure, mechanical properties and wear performance of ZTA-MgO ceramic cutting inserts. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. V tisku, K dispozici online 10 February 2011, ISSN 0263-4368.
8. SOKOVIC, M., BARISIC, M., SLADIC, S. Model of quality management of hard coatings on ceramic cutting tools. *Journal of Materials Processing Technology*. Volume 209, Issue 8, 21 April 2009, Pages 4207-4216, ISSN 0924-0136.
9. ADAM KHAN, M., SENTHIL KUMAR, A. Machinability of glass fibre reinforced plastic (GFRP) composite using alumina-based ceramic cutting tools. *Journal of Manufacturing Processes*. Volume 13, Issue 1, January 2011, Pages 67-73, ISSN 1526-6125.
10. GRZESIK, W., RECH, J., ZAK, K., CLAUDIN, C. Machining performance of pearlitic-ferritic nodular cast iron with coated carbide and silicon nitride ceramic tools. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Volume 49, Issue 2, February 2009, Pages 125-133, ISSN 0890-6955.
11. GAITONDE, V.N., KARNIK, S.R., FIGUEIRA, L., PAULO DAVIM, J. Machinability investigations in hard turning of AISI D2 cold work tool steel with conventional and wiper ceramic inserts. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. Volume 27, Issue 4, July 2009, Pages 754-763, ISSN 0263-4368.
12. XU, C.H., FENG, Y.M., ZHANG, R.B., ZHAO, S.K., XIAO, X., YU, G.T. Wear behavior of Al₂O₃/Ti(C,N)/SiC new ceramic tool material when machining tool steel and cast iron. *Journal of Materials Processing Technology*. Volume 209, Issue 10, 1 June 2009, Pages 4633-4637, ISSN 0924-0136.
13. KURAMA, S., SCHULZ, I., HERRMANN, M. Wear properties of α- and α / β-SiAlON ceramics obtained by gas pressure sintering and spark plasma sintering. *Journal of the European Ceramic Society*. Volume 31, Issue 5, May 2011, Pages 921-930, ISSN 0955-2219.
14. GRZESIK, W. Wear development on wiper Al₂O₃ - TiC mixed ceramic tools in hard machining of high strength steel. *Journal of Materials Processing Technology*. Volume 209, Issues 9-10, 24 April 2009, Pages 1021-1028, ISSN 0043-1648.

15. ZOU, B., HUANG, C.Z., LIU, H.L., CHEN, M. Preparation and characterization of $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{TiN}$ nanocomposites ceramic tool materials. *Journal of Materials Processing Technology*. Volume 209, Issue 9, 1 May 2009, Pages 4595-4600, ISSN 0924-0136.
16. LIU, B.Q., HUANG, C.Z., GU, M.L., LIU, H.L. In situ growth of $\text{TiC}_x\text{N}_{1-x}$ whiskers in Al_2O_3 matrix for ceramic cutting tools. *Materials Chemistry and Physics*. Volume 113, Issues 2-3, 15 February 2009, Pages 613-615, ISSN 0254-0584.
17. ZHAO, Jun, YUAN, Xunliang, ZHOU, Yonghui. Cutting performance and failure mechanisms of an $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{WC}/\text{TiC}$ micro- nano-composite ceramic tool. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. Volume 28, Issue 3, May 2010, Pages 330-337, ISSN 0263-4368.
18. FANG, B., HUANG, C.Z., LIU, H.L., XU, C.H, SUN, S. Monte Carlo simulation of grain-microstructure evolution in two-phase ceramic tool materials. *Journal of Materials Processing Technology*. Volume 209, Issue 9, 1 May 2009, Pages 4568-4572, ISSN 0924-0136.
19. SAHIN, Y. Comparison of tool life between ceramic and cubic boron nitride (CBN) cutting tools when machining hardened steels. *Journal of Materials Processing Technology*. Volume 209, Issue 7, 1 April 2009, Pages 3478-3489, ISSN 0924-0136.
20. ZOU, Bin, HUANG, Chuanzhen, CHEN, Ming. Study on the mechanical properties, microstructure and oxidation resistance of $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}_3\text{N}_4\text{W}/\text{Ti}(\text{C}_7\text{N}_3)$ nanocomposites ceramic tool materials. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. Volume 27, Issue 1, January 2009, Pages 52-60, ISSN 0263-4368.
21. WANG, Zhi, WU, Zhanjun, SHI, Guodong. The oxidation behaviors of a ZrB₂-SiC-ZrC ceramic. *Solid State Science*. Volume 13, Issue 3, March 2011, Pages 534-538, ISSN 1293-2558.
22. JIANXIN, Deng, et al. Fabrication and performance of $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{W},\text{Ti})\text{C} + \text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiC}$ multilayered ceramic cutting tools. *Materials Science and Engineering: A* Volume 527, Issues 4-5, 15 February 2010, Pages 1039-1047, ISSN 0921-5093.
23. XU, Chonghai, et al. Rare earth ceramic cutting tool and its cutting behavior when machining hardened steel and cast iron. *Journal of Rare Earths*. Volume 28, Supplement 1, December 2010, Pages 492-496, ISSN 1002-0721.
24. ZHAO, Jun, YUAN, Xunliang, ZHOU, Yonghui. Processing and characterization of an $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{WC}/\text{TiC}$ micro- nano-composite ceramic tool material. *Materials Science and Engineering: A* Volume 527, Issues 7-8, 25 March 2010, Pages 1844-1849, ISSN 0921-5093.
25. Řezná keramika a kubický nitrid boru. MM Průmyslové spektrum. 9/2003. s. 42. [online]. [cit. 20. únor 2009]. Dostupný z WWW: (<http://www.mmspektrum.com/clanek/rezna-keramika-a-kubicky-nitrid-boru>)
26. Izostatické lisování za tepla. MM Průmyslové spektrum. 7/2005. s.48. [online]. [cit. 27.únor 2009]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/izostaticke-lisovani-za-tepla>>.
27. BRIGGS, Heft. *Engineering Ceramics in Europe and the U.S.A* Worchesrter: Enceram Menith Wood, 2003, 275s.

28. PŘIKRYL, Zdeněk; MUSILÍKOVÁ, Rosa. *Teorie obrábění*. Praha: SNTL Alfa Praha, 1972. 240s
29. KRISHNAMURTHY, R., SIVASANKARAN, V. Chapter 8-Machining of část iron with advanced ceramic tools. *Key Engineering Materials*. 96 (1994). pp. 221-253
30. *Metalcutting tools and systems*. GREENLEAF – EXCELERATING SOLUTIONS. USA. 2005. 800-458-1850.
31. Avure [online]. KENT Washington : 24.leden 2007 [cit. 2011-05-05]. Hot Isostatic Press for Kinzoku Giken. Dostupné z WWW: <<http://www.avure.com/news/archive/avure-technologies-to-build-worlds-largest-hot-isostatic-press-for-kinzoku-giken-co.-ltd-of-japan.asp>>.
32. Saint Gobain [online]. 2007 [cit. 2011-05-05]. Výrobky. Dostupné z WWW: <<http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210&lang=cs>>.
33. FOREJT, M. PIŠKA, M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
34. CERAMTEC. *Ceramic inserts for turning*. [online]. [cit. 25. května 2011]. Dostupné z WWW: <<http://pdf.directindustry.com/pdf/ceramtec/ceramic-inserts-for-turning/5715-41651-2.html>>.
35. SSANGYONG CEMENT INDUSTRIAL LTD. *Ceramic insert*. [online]. [cit. 25. května 2011]. Korea. 2007. Dostupné z WWW: <http://www.cerabit.com/Product/Product_Info.asp?Pro_Kind_Code=10>.
36. KENAMETAL. Cast Iron Turning Guide. 96s. [online]. [cit. 25. květen 2011]. Dostupné z WWW: <http://www.kenametal.com/images/pdf/US/KMTL-Cast_Iron_Turning_Guide.pdf>.
37. SUMITOMO. Sumi Tool. [online]. [cit. 25. květen 2011]. Dostupné z WWW: <http://www.sumitool.com/sumi_english/>.
38. WIDIA. *WIDIA Advances 2012 Catalog*. 470s. [cit. 25. květen 2011]. Dostupné z WWW: <http://www.widia.com/images/widia/pdfs/A-10-02470_WIDIA_Advances2012_complete_mm.pdf>.
39. AB Sandvik – Coromant. *New cutting tools and solutions*. [online]. [cit. 25. května 2011]. Dostupné z WWW: <<http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/supplement/111/ENG/C-2900-134.pdf>>.
40. SAINT GOBAIN. Břítové destičky z řezné keramiky. Turnov. [online]. [cit. 25. května 2011]. Dostupné z WWW: <<http://www.sgacturnov.cz/index.php?content=210&lang=cs>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

zkratka/symbol	jednotka	popis
C_T	-	konstanta pro T-vc závislost
C_v	-	konstanta pro T-vc závislost
CVD		Chemical Vapour Deposition
HIP		Hot Isostatic Pressing
HV	MPa	tvrdost podle Vickerse
J	$\text{mm} \cdot \text{m}^{-1}$	intenzita opotřebení
K_{IC}	$\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$	lomová houževnatost
PVD		Physical Vapour Deposition
R_m	MPa	pevnost v tahu
SK		slinutý karbid
T	min	trvanlivost
VB	mm	šířka fazetky opotřebení na hřbetě nástroje
VBD		vyměnitelná břitová destička
ap	mm	šířka záběru ostří
f	mm	posuv na otáčku
iR	-	index řezivosti
m	-	exponent pro T-vc závislost
v_c	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	řezná rychlost
v_T	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	řezná rychlost daného řezného nástroje při zvolené trvanlivosti T na zvoleném materiálu obrobku
$v_{T(et.)}$	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	řezná rychlost etalonového nástroje při stejné trvanlivosti T na stejném materiálu obrobku