

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ŘEZNÁ KERAMIKA A JEJÍ EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ

CUTTING CERAMICS AND ITS EFFECTIVE USE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. KATEŘINA FIALOVÁ

VEDOUČÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

BRNO 2008

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na řeznou keramiku a její efektivní využití.

Úvodní část práce obsahuje podrobnou charakteristiku keramických řezných materiálů z hlediska jejich dělení, fyzikálně mechanických vlastností, způsobu výroby a značení.

Hlavní část je zaměřena na řeznou keramiku ve výrobním sortimentu předních světových výrobců nástrojových materiálů a hodnocení řezivosti konkrétních materiálů těchto výrobců. K tomuto účelu je zpracována podrobná analýza doporučených řezných podmínek, zaměřená na efektivní využití keramických řezných materiálů.

Technicko-ekonomický rozbor potvrzuje, že současné efektivní aplikace nástrojové keramiky jsou omezeny pouze na vybrané případy obrábění litin, ocelí a slitin.

Klíčová slova

řezná keramika, oxidová keramika, nitridová keramika, povlakovaná keramika, nástrojové materiály

ABSTRACT

The diploma work is focused on the ceramic tool materials and its effective use.

The introductory part of the work contains the detail characteristic of the ceramic tool materials from the point of view of their dividing, physic-mechanical properties, production methods and marking.

The main part of the work is focused on judging of the ceramic portion at the production assortment of the top World producers of tool materials and to evaluation of cutting ability of the particular materials of these producers. The detail analysis of recommended cutting conditions, which is aimed to an effective use of the ceramic materials, had been worked up for this purpose.

The technical economic analysis confirms, that the present effective applications of ceramic are limited only for specific cases of machining cast irons, steels and alloys.

Key words

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

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FIALOVÁ, Kateřina. *Řezná keramika a její efektivní využití: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 62 s., 1 příloha. doc. Ing. Anton Humár, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Řezná keramika a její efektivní využití** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....
Bc. Kateřina Fialová

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH	6
ÚVOD	8
1 Charakteristika řezné keramiky	10
1.1 Druhy a značení řezné keramiky	10
1.2 Historický vývoj keramických řezných materiálů	10
1.3 Výroba keramických materiálů	11
1.3.1 Výroba oxidové keramiky	12
1.3.2 Výroba nitridové keramiky	13
1.3.3 Výroba vyztužené keramiky	15
1.4 Vlastnosti keramiky	16
1.4.1 Porovnání keramiky s ostatními řeznými materiály	20
1.5 Použití řezné keramiky	22
1.5.1 Oxidová keramika	22
1.5.2 Nitridová keramika	24
1.5.3 Sialonová keramika	24
1.5.4 Povlakovaná keramika	25
1.5.5 Vyztužená keramika	25
1.5.6 Soustružení řeznou keramikou	27
1.5.7 Frézování řeznou keramikou	28
2 Výrobci řezné keramiky	29
2.1 Saint Gobain Advanced Ceramics s.r.o., Turnov, cz	29
2.2 Sandvik Coromant	30
2.3 Ceramtec	32
2.4 Kennametal	34
2.5 Romay Corporation	36
2.6 Ceratizit	37
2.7 NGK Spark Plug	37
2.8 Iscar	38
2.9 HH Tools	39
2.10 Sumitomo	40
2.11 Widia	41
2.12 Toshiba Tungaloy	41
2.13 Agi VR/Wesson	42
3 Hodnocení řezivosti nástroje	43
3.1 Opotřebení řezného nástroje	43
3.2 Trvanlivost a životnost nástroje	45
3.2.1 Kritérium minimálních výrobních nákladů	46

3.2.2 Kritérium maximální výrobnosti	46
3.3 Řezivost nástroje	46
4 Doporučené pracovní podmínky řezných keramik	47
4.1 Obrábění litin	47
4.2 Obrábění ocelí	51
5 Technicko-ekonomické hodnocení	53
ZÁVĚR	56
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	58
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	61
PŘÍLOHA	62

ÚVOD

Obrábění je opracování materiálu pomocí odebrání přebytečného materiálu ve formě třísky. Děje se pomocí obráběcích strojů (soustruhy, frézky, apod.) a obráběcích nástrojů (soustružnické nože, frézy, apod.).

V současné době se pro obrábění převážně používají řezné nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami. U břitových destiček je hlavní pozornost výrobců nástrojů zaměřena především na vlastní tvar destičky, tvar jejich jednotlivých částí (ostří, špička, utvářec, upínací otvor, atd.) a materiál řezné části nástroje.

V současné době je na trhu poměrně velký počet materiálů používaných pro řezné nástroje. Jsou to zejména rychlořezné oceli, slinuté karbidy, cermety, řezná keramika, supertvrdé materiály a další. K základním požadavkům na nástrojový materiál patří jeho tvrdost, pevnost v ohybu, houževnatost a odolnost proti otěru. Tyto vlastnosti musí nástrojový materiál zachovat při vysokých teplotách po dostatečně dlouhou dobu. Integrálním vyjádřením vlastností řezného materiálu je jeho řezivost. Hodnocení řezivosti materiálů se provádí obvykle podle řezných rychlostí, při kterých mohou nástroje pracovat bez větších změn jejich tvrdosti.

Slinuté karbidy (SK) jsou nejpevnějšími materiály mezi tvrdými nástrojovými materiály. Používají se především pro obrábění vysokými posunovými rychlostmi, ale v důsledku nízké termochemické stability se nemohou použít pro vysoké řezné rychlosti. Vyrábějí se z různých karbidů (WC, TiC, TaC, NbC) a kovového pojiva (nejčastěji Co). Mezi základní druhy SK patří typ P-WC, TiC, Co; typ M-WC, TiC, Co a typ K-WC, Co. Pro zlepšení vlastností a řezivosti jsou SK často opatřeny jedním nebo několika povlaky z TiC, TiCN, TiN. Výsledkem jsou materiály pro velmi široké použití, za vysokých řezných i posunových rychlostí, při vysokém úběru obráběného materiálu a přerušovaném řezání.

Cermety jsou řezné materiály vyráběné rovněž práškovou metalurgií. Název cermet vznikl složením prvních tří písmen slov „ceramics“ (keramika) a „metal“ (kov), čímž se označuje nástrojový materiál, jehož mechanické vlastnosti vykazují výhodnou kombinaci tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu. Cermety obsahují tvrdé části (TiC, TiN, TiCN, TaN) v kovovém pojivu (Ni, Mo). Využívají se hlavně při vyšších řezných rychlostech. Jsou charakteristické nízkou hmotností a houževnatostí. Dobře se uplatňují při obrábění nerezavějících ocelí.

Supertvrdé materiály, jako jsou polykrystalický diamant (PD) a polykrystalický kubický nitrid bóru (PKNB) mají velmi vysokou tvrdost a odolnost vůči opotřebení. Jejich nevýhodou je však možnost chemické reakce s obráběnými materiály, malá možnost změny tvaru nástroje a vysoká cena. Používají se hlavně pro obrábění neželezných slitin, keramiky, superslitin, litin a kalených ocelí.

Kubický nitrid bóru je zvláště tvrdý materiál, jehož tvrdost se blíží diamantu. Segmenty z kubického nitridu bóru tvoří obvykle část břitové destičky zhotovené ze slinutého karbidu.

Polykrystalický diamant je tvořen jemnými krystaly diamantu, spojenými za vysokých teplot a tlaků. Segmenty z polykrystalického diamantu jsou pevně zakotveny v břitové destičce ze slinutého karbidu.

Řezná keramika patří mezi špičkové materiály používané pro třískové obrábění. Pro svoje mechanické vlastnosti, jako je vysoká tvrdost za tepla, chemická odolnost apod., je používána zejména pro obrábění šedé i tvárné litiny a cementované i nástrojové oceli. Řezná keramika na bázi Al_2O_3 je pro svoji vysokou tvrdost za tepla a termochemickou stabilitu i nízkou houževnatost používána pro obrábění vysokou rychlostí a nízkými posuvy. Keramika na bázi Si_3N_4 má vyšší houževnatost a vydrží vyšší posuvovou rychlost než keramika Al_2O_3 , ale její užití je omezeno na obrábění šedé litiny, protože při obrábění ocelí a tvárné litiny vykazuje rychlé opotřebení. Zlepšení mechanických vlastností a tím i rozšíření aplikačních oblastí umožňuje vyztužení břitových destiček z řezných keramik pomocí whiskerů SiC.

Z výše uvedeného je zřejmé, že neexistuje žádný universální materiál, který by se mohl použít pro různé řezné nástroje bez ohledu na metodu obrábění, obráběný materiál a pracovní podmínky. Je proto velmi důležité znát mechanické a fyzikální vlastnosti každého nástrojového materiálu a stanovit tak jeho optimální efektivní využití z hlediska nákladů a produktivity.

1 CHARAKTERISTIKA ŘEZNÉ KERAMIKY

Pod pojmem řezná keramika rozumíme především špičky soustružnických nožů, fréz a vrtáků, které jsou osazeny řeznými destičkami a používají se hlavně pro obrábění kovů²³.

Keramika je polykrystalický materiál se zrný malých rozměrů, který obsahuje náhodné technologické defekty a mikrostrukturní nehomogenity a vyznačuje se zejména vysokou tvrdostí, nízkou houževnatostí a nízkou měrnou hmotností¹.

Keramické materiály jsou anorganické nekovové materiály, které obsahují kovové a nekovové prvky vázané především iontovými nebo iontově-kovalentními vazbami. Tato definice zahrnuje nejen tradiční keramiku (porcelán, cement, cihly atd.), ale i brousící materiály a tzv. „nové“ keramické materiály, jako je oxidová keramika, ferity, feroelektrika, nitridy, karbidy, boridy a další. Většina látek zařazovaných pod pojem „nová keramika“ jsou látky krystalické, které na rozdíl od tradiční keramiky neobsahují skelnou fázi³.

1.1 Druhy a značení řezné keramiky

Řezná keramika se dělí zhruba na dvě základní skupiny podle chemického složení, vlastností a doporučeného použití. Jedná se o:¹

- keramika na bázi oxidu hlinitého: - čistá
- polosměsná
- směsná
- keramika na bázi nitridu křemíku

Tyto dva základní typy keramik mohou dále tvořit základ pro další druhy keramik, jako je keramika vyztužená, sialonová, povlakovaná apod..

Podle ČSN ISO 513 (22 0801) se pro rozdělení a značení keramických řezných materiálů používají symboly:²

CA – oxidová keramika na bázi Al_2O_3

CM – směsná keramika na bázi Al_2O_3 s přísadou neoxidických komponentů

CN – neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku Si_3N_4

CC – povlakovaná keramika CA, CM, CN

1.2 Historický vývoj keramických řezných materiálů

Pravděpodobně první keramický nástroj používal člověk již v době kamenné a i mnohem později byly bloky pískovce používány např. pro ostření nožů, břitev, nůžek a dalších nástrojů. V pozdějších dobách se vyráběly pískovcové kotouče, které sloužily jako hlavní brousící materiál.

I když počáteční pokusy o užití keramického materiálu na řezný nástroj se datuje do období 20. let minulého století, první keramický materiál na bázi Al_2O_3 , použitelný pro řezný nástroj byl vyvinut v Německu během II. světové

války. Z důvodu jeho vysoké křehkosti a malé odolnosti proti vydrolování ostří bylo jeho použití omezeno pouze pro dokončovací operace obrábění s nepřerušovaným řezem. Úspěšnému rozšíření keramického nástroje v této době také bránil nedostatek vhodných obráběcích strojů.

Začátkem 70. let byl vyvinut nový typ keramiky (na bázi $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$), vyráběný metodou vysokoteplotního lisování. Tento keramický řezný materiál již měl lepší odolnost proti vydrolování, vyšší ohybovou pevnost a lomovou houževnatost. Výrobní proces byl postupně změněn z vysokoteplotního lisování na vysokoteplotní izostatické lisování (HIP), což mělo za následek snížení ceny řezného materiálu a zvýšení produktivity.

V polovině 80. let minulého století vědci vyvinuli keramické kompozity Al_2O_3 vyztužené z 20-30% vláky whiskerů (SiC). I když jejich ohybová pevnost je stejná jako u keramik typu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$, tak lomová houževnatost a odolnost proti vydrolování ostří je výrazně lepší. Výsledkem jsou materiály s vynikajícími řeznými vlastnostmi při obrábění superslitin, kde hrozí právě vydrolování a vylamování ostří. V tomto období se začala vyrábět i tzv. keramika sialonová ($\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Y}_2\text{O}_3$). Největší její výhodou je její vysoká houževnatost¹.

1.3 Výroba keramických materiálů

Proces výroby kompaktních keramických součástí (a tedy i vyměnitelných břitových destiček pro řezné nástroje) je velmi podobný procesu výroby součástí ze slinutých karbidů a cermetů²¹.

Hlavními výchozími materiály pro výrobu řezné keramiky jsou především oxidy Al_2O_3 , Y_2O_3 , ZrO_2 , karbidy TiC, TiN a nitrid Si_3N_4 . Jsou to stabilní látky s vysokou tvrdostí, pevností a odolností vůči vysokým teplotám¹. Teploty tavení a tvrdosti podle Vickerse HV jsou pro vybrané materiály uvedeny v tab. 1.1.

Tab.1.1. Teploty tavení a tvrdosti HV pro vybrané materiály¹

Materiál	Teplota tavení T_t [°C]	Tvrdost HV [MPa]
Al_2O_3	2050	2000
ZrO_2	2700	-
Si_3N_4	1900	1000
SiC	2200	2500
KBN	-	4700

Pro novou keramiku je charakteristické to, že je vyráběna z poměrně čistých surovin a často z čistých výchozích chemikálií, jako keramika syntetická.

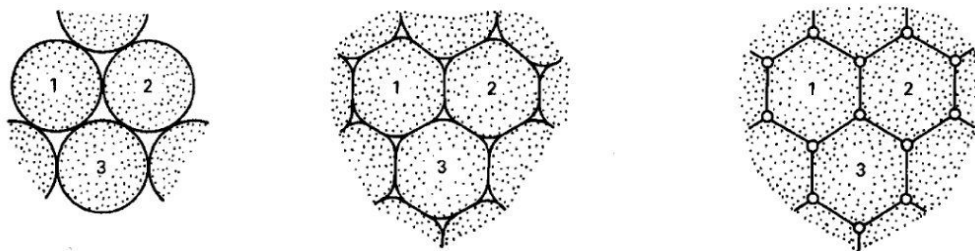
Většina progresivních keramik se vyrábí slinováním keramických práškových surovin. Základními kroky při výrobě keramiky jsou:

1. úprava práškového materiálu;
2. tvarování;
3. sušení;
4. zahřívání tvarovaných keramických dílů na dostatečně vysokou teplotu, tzv. slinování;
5. tepelné zpracování a povrchová úprava.

Keramické prášky se obvykle nejprve upravují aglomerací, protože aglomerované prášky se lépe tvarují než neaglomerované. Keramické materiály neobsahují žádný materiál, který by tvořil pojivo zrn tvrdé fáze, proto přidáváme přísady, které vytvářejí kapalnou fázi. Přidáním přísad dosáhneme lepšího zhutnění výrobku. Tvarování se provádí zejména za studena, ale výjimkou není ani tvarování za horka.

Dalším krokem při výrobě je sušení keramiky. Provádí se obvykle při teplotách pod 100°C a může trvat i více než 24 hodin. Účelem sušení keramiky je odstranit těkavé složky z plastického keramického dílu před slinováním.

Slinování je zhutňovací proces, kdy navzájem se dotýkající částice krystalů vlivem tepla slinou, tj. spojí se do kompaktního pevného celku. Při slinování dochází ke zmenšování měrného povrchu novým tvořením nebo růstem krystalu, zmenšování pórů, odbourávání nerovnovážného stavu v mřížce krystalu výchozího prášku. Jedná se o difúzní procesy a rekrytalizační procesy, které probíhají v celé hmotě. Velikost zrn, rovnoměrnost struktury a relativní hustota udávají řezné keramiky její mechanické vlastnosti^{1,3,4}. Průběh slinování je patrný z obr. 1.1.



Obr. 1.1: Průběh slinování zrn keramiky

Operace finálního dokončování jsou prováděny obráběním případně povlakováním.

1.3.1 Výroba oxidové keramiky¹

Základní surovinou pro výrobu oxidové keramiky je velmi čistý a jemnozrný oxid hlinitý – Al_2O_3 . K usnadnění slinování a zabránění růstu zrna se k němu přidávají menší množství pomocných látek jako jsou např. oxidy zirkonia, yttria, chromu, titanu, niklu, hořčíku, kobaltu a molybdenu a karbidy těžkovatelných kovů jako je wolfram nebo titan.

Po mokrému semletí se tato směs vysušuje rozprašováním, přičemž se získá soudržný prášek, který je lisován do požadovaného tvaru. Lisování probíhá obvykle na lisech s oboustranným tlakem, aby bylo zajištěno dobré zhutnění polotovaru v celém jeho průřezu.

Keramické polotovary lze rovněž vyrábět lisováním izostatickým, což se děje pomocí hydraulického tlaku kapaliny působícího na elastickou, pro kapalinu a plyn nepropustnou stěnu tvarovacího pouzdra zaplněného keramickým práškem, vstřikovacím lisováním nebo litím. Velmi často jsou z prášku tvarovány tyče mající průřez budoucích břitových destiček, které jsou později pomocí diamantové okružní pilky rozřezány na jednotlivé destičky.

Po vylisování následuje slinování ve speciálních pecích, kde se prášek vytvaruje do tuhého tělesa požadovaného tvaru. Po slinování následuje broušení na konečné rozměry a požadovanou kvalitu povrchu.

1.3.2 Výroba nitridové keramiky¹

Výroba nitridové keramiky je mnohem obtížnější než výroba keramiky oxidové. Příčinou je nižší samodifúze a teplota rozkladu. Proto musíme při výrobě rezné keramiky na bázi nitridu křemíku přidávat k výchozímu prášku slinovací přísady. Slinovací aditiva vytvoří s nitridem křemíku během ohřevu tekutou fázi, která podporuje zhutňovací proces.

Další problémy při slinování nitridu křemíku způsobuje kovalentní vazba mezi atomy křemíku a dusíku, která omezuje možnost samodifúze a tím zabraňuje dosažení teoretické hustoty materiálu. Vyšší teploty sice mohou podporovat difúzní proces, ale teplota, která je potřebná pro dostatečnou difúzi je tak vysoká, že materiál se před slinováním začíná rozkládat.

Podle způsobu výroby rozlišujeme tyto druhy nitridu křemíku:

- slinutý nitrid křemíku
- reakčně vázaný nitrid křemíku
- nitrid křemíku vyrobený metodou HIP
- nitrid křemíku lisovaný za vysokých teplot

Slinutý nitrid křemíku

Slinutý nitrid křemíku se vyrábí slinováním zhutňujícími přísadami za teplot 1600 – 1800°C v dusíkové atmosféře o tlaku 1 – 10MPa. Metoda je založena na zhutňování slinutého nitridu křemíku pomocí MgO. Při procesu vzniká tekutá taveninová fáze alfa – nitrid křemíku. Mezi zrný nitridu křemíku pak zůstává zachována skelná fáze.

Reakčně vázaný nitrid křemíku

Reakčně vázaný nitrid křemíku se připravuje synteticky, nejčastěji přímou nitridací křemíku. Čistý nitrid křemíku se vyskytuje ve dvou krystalografických formách. Hlavní fází v tomto výrobním procesu je alfa – nitrid křemíku s malým obsahem beta – nitridu křemíku. Tento materiál je čistý, pórovitý s hustotou menší než 85% teoretické hustoty a má vysokou pevnost.

Reakčně vázaný nitrid křemíku se připravuje tvarováním čistého křemíkového prášku a reakčním slinováním keramického tělesa v dusíkové atmosféře. K výhodám této metody patří neomezený tvar výrobku a velmi malé změny rozměrů při následujícím slinování, takže lze vyrobit součásti s velmi úzkými rozměrovými tolerancemi.

Nitrid křemíku lisovaný za vysokých teplot

Vyrábí se horkým lisováním prášku nitridu křemíku se zhutňujícími přísadami při teplotách 1700 - 1900°C a tlaku 20 – 50 MPa. K výrobě se používá lisovací forma, která je předehřátá na slinovací teplotu. Tlak je většinou buzen hydraulicky a nebo lisy s pákovým přenosem síly, jejichž výhodou je

jednoduché udržování konstantního tlaku. Vysokoteplotní lisování vyžaduje daleko méně přísad než běžné slinování. Takto vyrobený materiál má vysokou hustotu a dobré mechanické vlastnosti. Nevýhodami této metody je složitost výrobního zařízení, problémy při lisování více kusů současně, omezený tvar výrobku, izolování lisovaného materiálu od stěn grafitové formy, a tím snížena rozměrová přesnost hotových výrobků.

Nitrid křemíku vyrobený metodou HIP

Metoda HIP je používána nejen k výrobě nitridové keramiky, ale i k výrobě slinutých karbidů. Je to vysokoteplotní izostatické lisování, kdy je slinované těleso při vysoké teplotě vystaveno velkému tlaku plynu (200 MPa) působícímu ze všech stran. Tento proces se provádí ve slinovací peci, která je vyobrazena na obrázku 1.2.

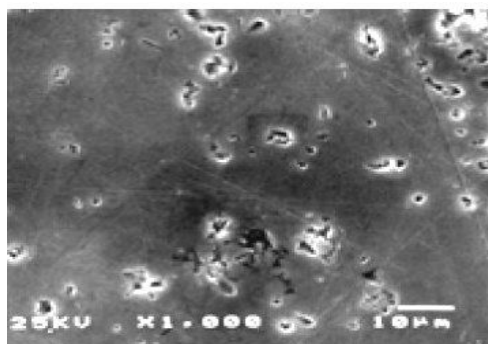
Jako pracovní plyn se užívá nejčastěji argon nebo dusík. Aplikace vyšších tlaků se srovnání s předchozí metodou umožňuje vyrábět produkty s menším obsahem přísad, které mají lepší mikrostrukturu. Vysoký tlak rovněž pomáhá odstraňování různých mikrostrukturních defektů. Protože výchozí materiály mají otevřenou pórovitost, musí být před aplikací metody HIP obaleny nepropustným materiálem, který zabrání přístupu plynu do pórů. Z materiálů, které se k tomuto obalování užívají, můžeme uvést sklo nebo skelné a keramické prášky.

Nahrazením atomu křemíku a dusíku atomy hliníku a kyslíku v keramice na bázi beta – nitridu křemíku, vzniká významná skupina keramických materiálů, která se nazývá sialony. Tyto materiály mají vysokou pevnost a poměrně velkou lomovou houževnatost, a to i za teplot až 1300°C.

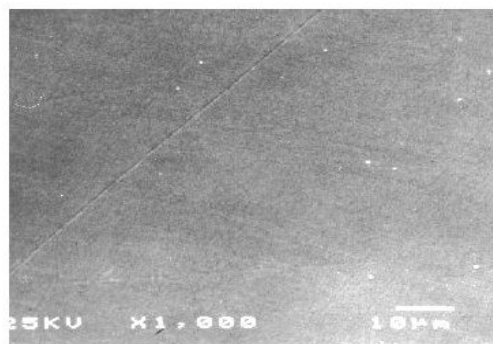


Obr. 1.2: Slinovací pec užívaná u metody HIP

Horké izostatické lisování je technologicky nejnáročnější metodou zhutňování keramik, ale umožňuje vyrobit materiál s výrazným snížením pórovitosti, s vysokou pevností a dobrými mechanickými vlastnostmi. Na obrázku 1.3 je znázorněna změna struktury oxidové keramiky před a po HIP.



Před HIP



Po HIP

Obr. 1.3: Změna struktury oxidové keramiky před a po HIP

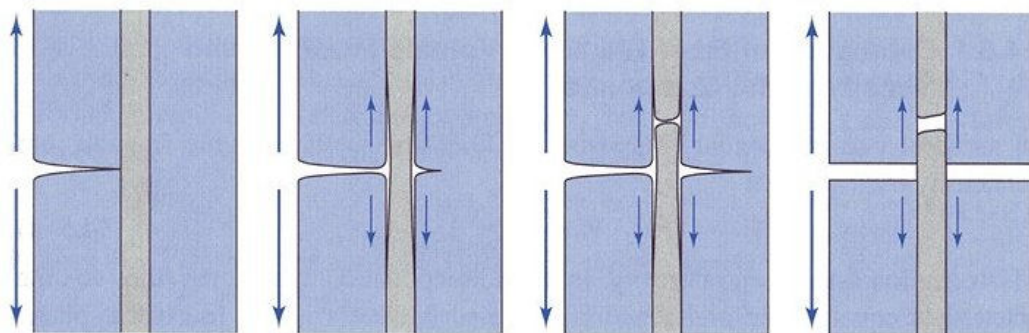
Změna vlastností vybraných materiálů vyrobených metodou HIP a slinování je uvedeno v tab. 1.2.

Tab.1.2. Změna vlastností keramických materiálů po aplikaci metody HIP¹

Materiál	Hustota ρ [g.cm ⁻³]		Tvrdość HRA [MPa]	
	Slinování	HIP	Slinování	HIP
Al ₂ O ₃	3,94	3,97	93,3	94,5
Al ₂ O ₃ +TiC	4,27	4,37	94,2	95,0
Sialon	3,24	3,26	92,7	92,7

1.3.3 Výroba vyztužené keramiky¹

Vyztužená, zpevněná nebo-li kompozitní keramika je vyráběna tak, že do základní matrice jsou přidávána vlákna karbidu křemíku případně whiskery. Vzhledem k technologii výroby se pevnost těchto vláken blíží hranici teoretické pevnosti a proto výrazně zpevňují i materiál, ve kterém jsou rovnoměrně rozptýleny. Dojde-li k mechanickému porušení povrchové vrstvy řezné keramiky, prasklina se bude nezadržitelně šířit až dojde k lomu a následnému znehodnocení materiálu. Díky whiskerovým vláknům lze však tento proces značně zpomalit, jak je názorně vidět na obr. 1.4.

Obr. 1.4: Princip vláknového vyztužení¹⁹

1.4 Vlastnosti keramiky

Významnou roli v ovlivňování vlastností řezné keramiky mají jednotlivá zrna, póry a hranice zrn s ohledem na velikost, množství, počet, tvar, utvoření, rozdělení a stejnoměrnost. Při výrobním procesu řezné keramiky usilujeme o složení s velmi malou velikostí zrn, úzké spektrum rozdělení zrn a homogenní strukturu.⁴

Mechanické vlastnosti^{1,2,3,4}

Keramické materiály mají velkou tvrdost, vysokou pevnost v tlaku, vysoký modul pružnosti, nízkou houževnatost a malou měrnou hmotnost. Tyto faktory spolu se strukturou, teplotní vodivostí, délkovou roztažností a omezenou tvárností, určují finální mechanické vlastnosti a potenciální aplikační možnosti tohoto materiálu. U keramických materiálu je pevnost v tlaku 7-10x vyšší než pevnost v ohybu, zatímco u kovů jsou tyto pevnosti přibližně stejné.

Dalšími významnými vlastnostmi řezné keramiky je vysoká tepelná odolnost, stálá pevnost v ohybu i při vysokých teplotách, chemická stálost a odolnost proti opotřebení.

Lepších mechanických vlastností keramiky lze dosáhnout vyztužením keramiky whiskerovými vlákny. Mechanické vlastnosti řezné keramiky jsou v tab. 1.3.

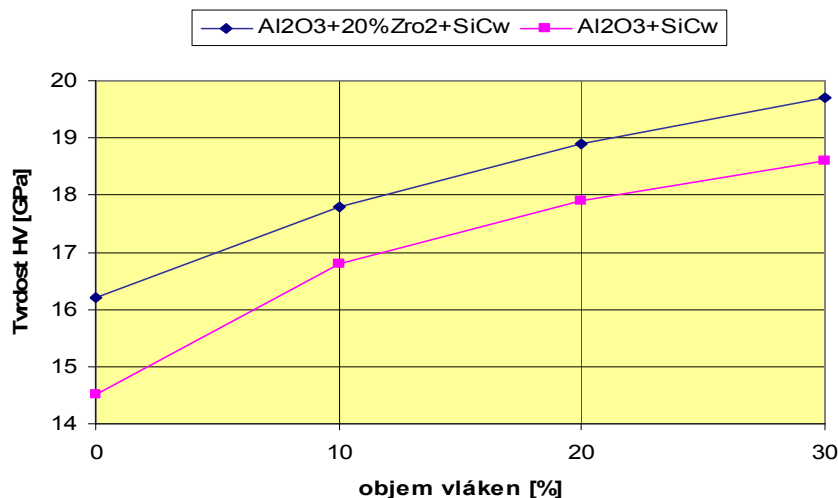
Tab.1.3. Přehled mechanických vlastností řezné keramiky¹⁷

Vlastnost	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	Al ₂ O ₃ +TiC	Si ₃ N ₄
Měrná hmotnost ρ [g.cm ⁻³]	3,94	4,22	4,0	3,3
Střední velikost zrn [μ m]	1-2	0,5-1	1-1,5	-
Tvrdost HV [MPa]	2000	1700	2000	1600
Pevnost v tahu [MPa]	200	300	-	100-900
Pevnost v tlaku [MPa]	4000	4000	4300	2500
Pevnost v ohybu [MPa]	450	650	700	800
Modul pružnosti v tahu E [GPa]	390	380	360	320
Měrná tepelná vodivost λ [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	25	23	38	36
Součinitel délkové roztažnosti α [10 ⁻⁶ .K ⁻¹]	7,8	7,8	7,7	3,2

Tvrdost⁴

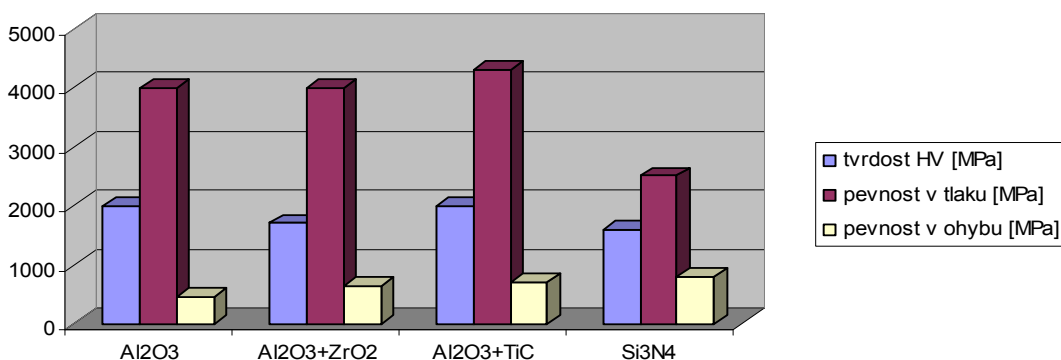
Tvrdost v případě keramiky nelze jednoznačně definovat jako fyzikální veličinu, protože více než kterákoli jiná mechanická vlastnost závisí na zkušebních podmínkách.

Řezná keramika patří k nejtvrdějším materiálům. Vysoká tvrdost je také významným znakem pro dobrou odolnost proti opotřebení. Hlavní předností keramiky jsou vysoké tvrdosti při vysokých teplotách. Z těchto vlastností se odvozují vysoké řezné rychlosti 1000 m/min a více.



Obr. 1.5: Závislost tvrdosti HV na objemu vláken vyztužené oxidové keramiky¹³

Na obrázku 1.5. můžeme porovnat tvrdosti HV čisté keramiky Al₂O₃ a polosměsné keramiky Al₂O₃+20%ZrO₂ v závislosti na objemu vyztužujících vláken. Z diagramu vyplývá, že tvrdost se zvyšujícím objemem vláken stoupá. Na obrázku 1.6 je porovnávána tvrdost a pevnost v tlaku, tahu a ohybu různých druhů keramických materiálů.



Obr.1.6: Porovnání tvrdosti a pevnosti v tlaku a ohybu u jednotlivých druhů keramik¹⁷

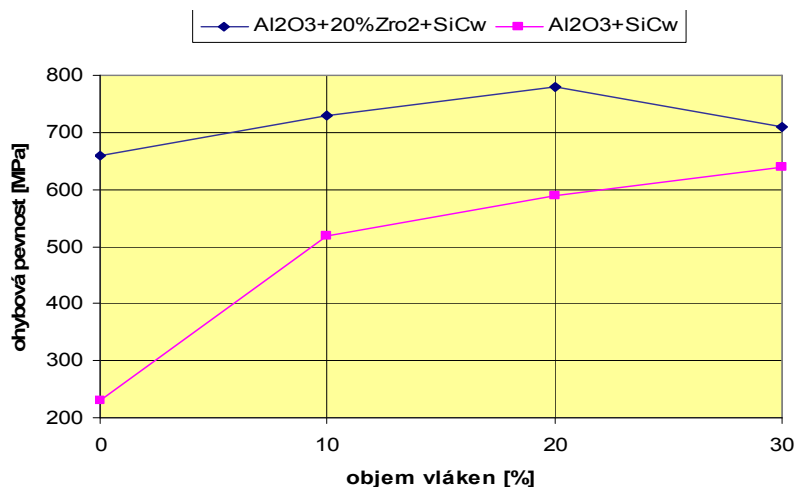
Pevnost v tlaku a ohybu⁴

Pevnost v tlaku u oxidové nebo směsné keramiky dosahuje vysokých hodnot a naopak ohybová pevnost je nízká. Proto musíme brát tuto skutečnost v úvahu při použití nástroje. Musíme volit řeznou geometrii nástroje tak, aby byla při obrábění keramická destička zatěžována tlakovými silami a méně ohybovými. U nitridové keramiky je naproti tomu výhoda v relativně vysoké pevnosti v ohybu při poněkud snížených hodnotách pevnosti v tlaku.

Pevnost keramiky je snižována zejména v důsledku působení těchto faktorů:

- Strukturní defekty atomárních a submikrometrických rozměrů
- Vady a koncentrátoři napětí příslušející mikrostruktuře
- Povrchové mikrotrhlínky a vady
- Trhlínky a vady vzniklé nesprávným technologickým postupem.

Na obr.1.7 je znázorněna závislost ohybové pevnosti na objemu vláken SiCw v oxidové keramice čisté a polosměsné, kde si můžeme všimnout, že u čisté keramiky hodnota ohybové pevnosti se stoupajícím objemem vláken roste, zatímco u polosměsné keramiky roste pouze v případě, že objem vláken nepřesahuje hodnotu 20%. Po překročení této hodnoty ohybová pevnost klesá.



Obr.1.7: Závislost ohybové pevnosti na objemu vláken vyztužené oxidové keramiky¹³

Tvárnost¹

O tvárnosti krystalických látek rozhoduje téměř výlučně schopnost skluzového pohybu dislokací při působení smykových napětí. Spíše výjimečně přispívají k plastické dislokaci i jiné procesy, jako dvojčatní a napětím vyvolané fázové transformace. U polykrystalických materiálů pak napomáhají k plastické deformaci při vysokých teplotách též pokluzu po hranicích zrn a difúzní creep. Proto tvárnost keramiky závisí i na pevnosti hranic zrn.

Křehkost¹

Křehkost je typickou mechanickou vlastností keramiky. Keramika není prakticky schopna plastické deformace a porušuje se křehkým lomem.

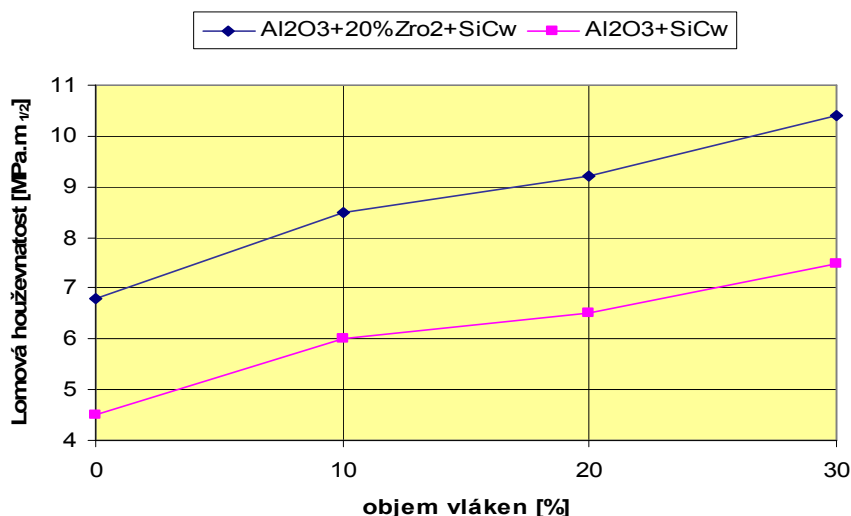
Příčiny, pro které nejsou keramické materiály schopny plastické deformace:

- špatná manévrovatelnost dislokací při jejich současné dobré pohyblivosti
- nízká pohyblivost dislokací při jejich současné dobré manévrovatelnosti
- kombinace těchto dvou příčin
- nedokonalé slinutí a pórovitost

Lomová houževnatost³

Keramické materiály vzhledem k jejich iontové kovalentním vazbám mají nízkou lomovou houževnatost, definovanou jako odolnost materiálu vůči růstu trhlin. Obr. 1.8 znázorňuje závislost lomové houževnatosti na objemu vláken

vyztužení. Z obrázku vidíme, že se zvyšujícím počtem vyztužujících vláken roste lomová houževnatost čisté i polosměsné oxidové keramiky.



Obr.1.8: Závislost lomové houževnatosti na objemu vláken oxidové keramiky¹³

Teplotní vlastnosti⁴

Hlavní předností keramiky je vysoká tvrdost zachována při vysokých teplotách. Zejména oxidová keramika patří k nejstabilnější, vykazuje vysoké hodnoty pevnosti a na vzduchu vynikající chemickou stálost. Tyto vlastnosti dávají řezným materiálům vysokou odolnost proti difúznímu opotřebení. Podobně to platí i u nitrídové keramiky, která navíc při obrábění některých ocelových materiálů a vysoké řezné rychlosti reaguje s železem obrobku za vzniku silicidu železa.

Řezné vlastnosti¹

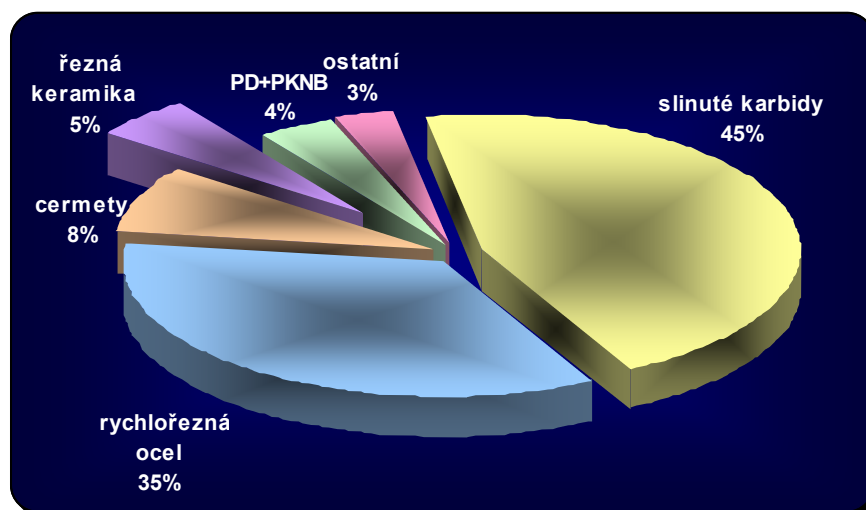
Řezné vlastnosti keramických materiálů závisí především na fyzikálně mechanických vlastnostech, jako jsou např. velikost zrn a rovnoměrnost jejich rozložení, hustota a zbytková pórovitost, pevnost v ohybu a tlaku, tvrdost, odolnost proti opotřebení a odolnost proti tepelným rázům.

Velikost zrna a jejich rovnoměrnost rozložení zásadně ovlivňuje téměř všechny mechanické vlastnosti řezné keramiky a proto má výrazný vliv i na řezivost nástroje. Výzkumem a zkouškami bylo prokázáno, že břitové destičky a hustotou přesahující 98,5% teoretické hustoty a velice jemnou zrnitostí vykazují minimální opotřebení funkčních ploch, ale mají větší sklon k vydrolování a vylamování ostří, než destičky jejichž hustota leží v rozsahu 97,5-98,8% teoretické hodnoty.

Z hlediska zrnitosti nezávisí řezné vlastnosti keramických břitových destiček pouze na střední velikosti zrna, ale i na spektru rozložení velikostí jednotlivých zrn slinutého tělesa. Zrnitost má velký vliv i na ohybovou pevnost keramiky, která bývá zvyšována snížením velikostí zrna. U polosměsných keramik je ohybová pevnost závislá i na obsahu oxidu zirkoničitého a na způsobu výroby, vzniku karbidu křemíku.

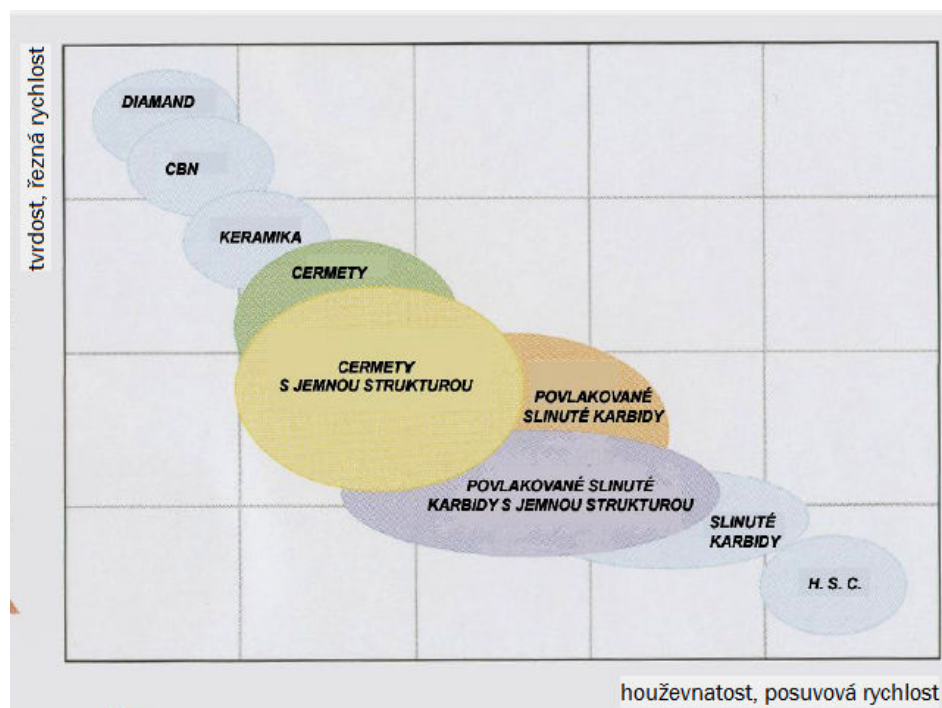
1.4.1 Porovnání keramiky s ostatními řeznými materiály¹

Jak lze vidět na obr. 1.9. řezná keramika patří vedle slinutých karbidů, cermetů, supertvrdých materiálů a nástrojových ocelí k nejvyužívanějším materiálům pro řezné nástroje.



Obr.1.9: Produkce řezných materiálů v %²⁵

Porovnání vlastností jednotlivých nástrojových materiálů je vidět na obrázcích 1.10, 1.11, 1.12 a v tabulce 1.4.

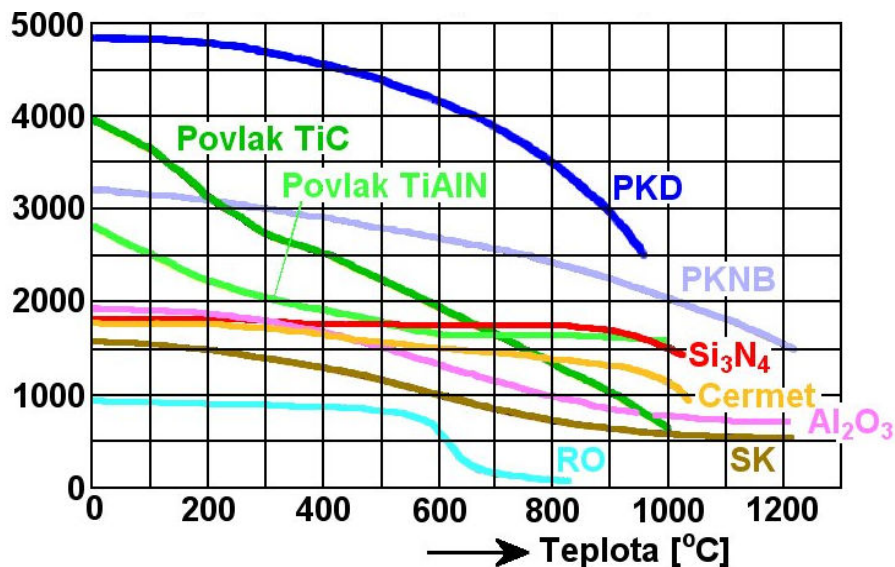


Obr.1.10: Porovnání řezných vlastností jednotlivých řezných materiálů²⁵

Řezná keramika své konkurenty, až na PD (polykrystalický diamant) a PKNB (polykrystalický nitrid bóru), zřetelně převyšují v hodnotách řezných

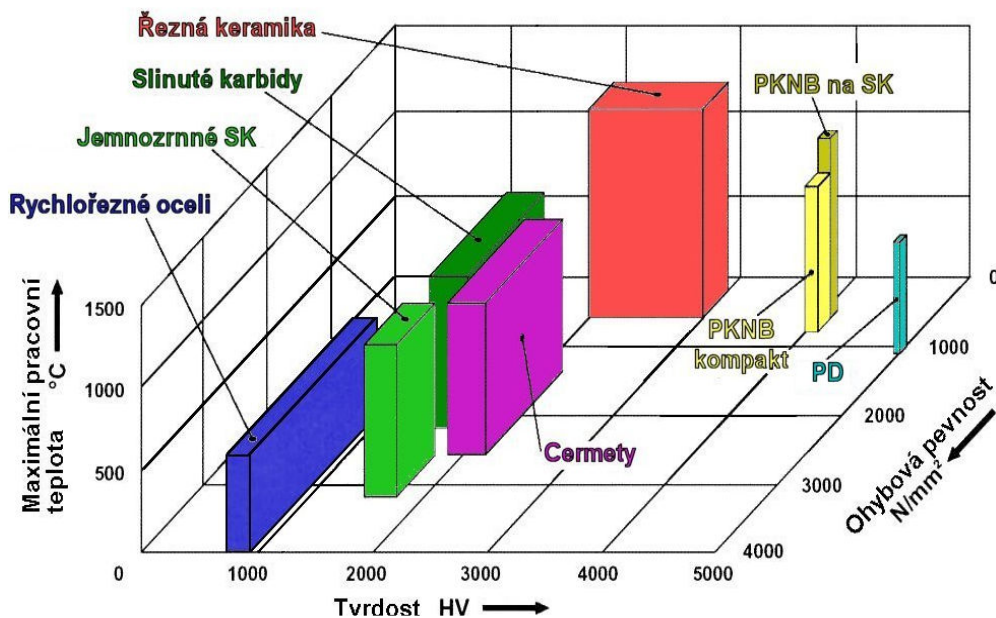
rychlostí, které se pohybují až kolem $3000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a maximálních pracovních teplot dosahujících hodnot cca. 1200°C .

Řezná keramika patří k nejodolnějším materiálům vůči poklesu tvrdosti při vyšších teplotách vzhledem k ostatním řezným materiálům.



Obr. 1.11 Závislost tvrdosti HV řezných materiálů na teplotě⁹

V ohybové pevnosti, u které dosahuje keramika maximálních hodnot kolem $500\text{--}600 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$, se spolu s PKNB a slinutým karbidem, řadí k materiálům s nejnižšími hodnotami této veličiny.



Obr. 1.12 Porovnání vlastností jednotlivých řezných materiálů²⁰

Rovněž v posuvových rychlostech, jejichž maximální hodnoty se pohybují kolem $1,5 \text{ mm}$ na otáčku a houževnatostí, která dosahuje hodnot pouze 8

$\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ náleží k materiálům s nižšími hodnotami. Menší hustotu než nástrojová keramika, u které se pohybuje okolo $4-4,5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, má jen PKNB a PD.

Tab. 1.4. Mechanické vlastnosti některých řezných materiálů¹⁷

Řezný materiál	Tvrdost HV	Pevnost v tlaku [MPa]	Pevnost v ohybu [MPa]	Teplotní odolnost [°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
Polykrystalický diamant	7000	3000	300	320-720

1.5 Použití řezné keramiky

Řezná keramika patří k nejvyužívanějším materiálům pro řezné nástroje. Ma vysokou tvrdost za tepla a nereaguje chemicky s materiálem obrobku. Zaručuje vysokou trvanlivost břitu, snáší dobře vysoké teploty břitu (až 1200°C) a může být použita při stálých podmínkách obrábění. Jedná se hlavně o obrábění tvrzené litiny, tvrzené oceli, povrchově cementované a cementované oceli².

Nástroje s břitovými destičkami z řezné keramiky jsou vhodné především pro užití ve velkosériové a hromadné výrobě, všude tam, kde se chce dosáhnout maximální efektivity při náročnějších podmínkách obrábění, než umožňují nástroje se slinutými karbidy²¹.

Řezná keramika se vyrábí ve tvaru kruhových, trojúhelníkových, čtyřúhelníkových, pětiúhelníkových a šestiúhelníkových destiček, které je možno několika základními způsoby upnout na držák nástroje. Destičky jsou vyměnitelné a po ukončení jejich životnosti se vyřazují².

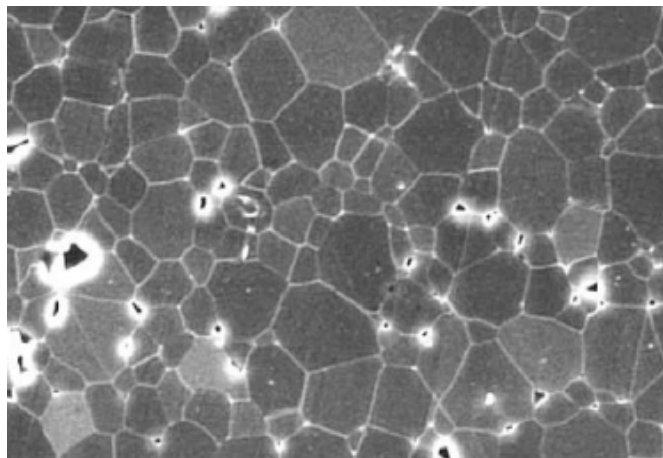
Nástroje z keramických řezných materiálů nalézají stále širší uplatnění nejen u obrábění s plynulým řezem (soustružení), ale i u obrábění s řezem přerušovaným (frézováním). Stroje musí mít dostatečný výkon a rozsah otáček, vysokou tuhost a přesnost chodu vřetene, zakrytovaný pracovní prostor a zajištěný odvod třísek. I přes vyšší pořizovací náklady je nutno stroje s těmito parametry zajistit. Je samozřejmé, že nástroje z řezné keramiky nejsou univerzálně použitelné pro všechny materiály, jako jsou slinuté karbidy či rychlořezná ocel apod.¹.

1.5.1 Oxidová keramika²

Čistá keramika

Čistá keramika obsahuje až 99,5% oxidu hlinitého Al_2O_3 . Je doporučována zejména pro dokončovací soustružení šedé litiny, uhlíkových a nízkolegovaných ocelí při použití řezné rychlosti vyšší než $100 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$.

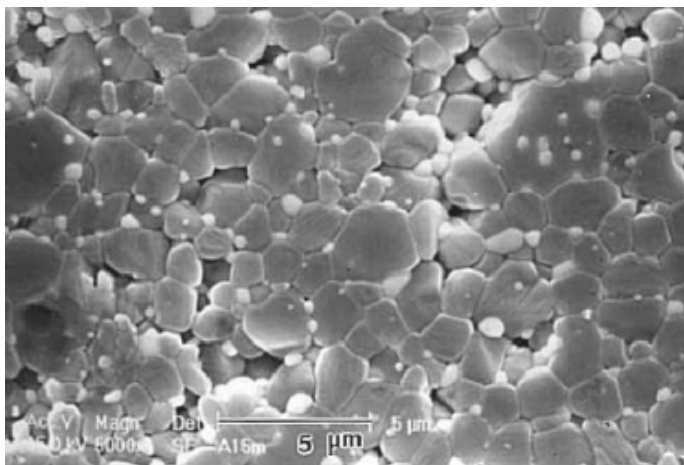
Barva čisté keramiky tvářené za studena je bílá, kdežto barva u keramiky tvářené za tepla je šedá. Typickou strukturou znázorňuje obrázek 1.13, kde je světlou barvou znázorněn Al_2O_3 a tmavou 0,5% ostatních látek.



Obr.1.13: Al_2O_3 ¹⁰

Polosměsná keramika

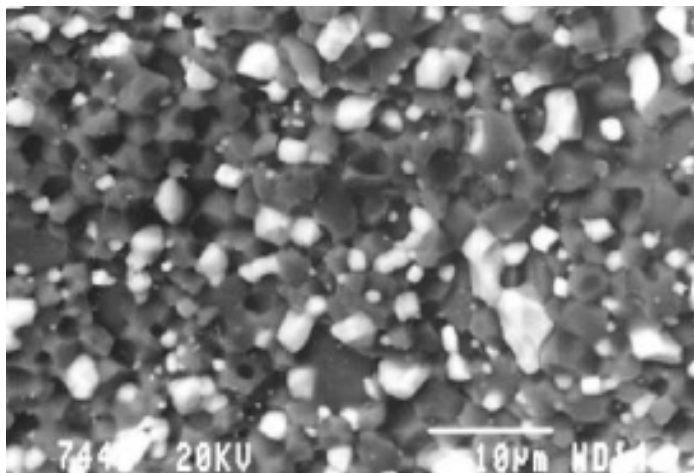
Polosměsná keramika, která je zobrazena na obr. 1.14, vzniká přidáním dalších přísad do čisté keramiky. Polosměsná keramika se nejčastěji používá k výrobě vyměnitelných břitových destiček. Ty mají při zahřátí černou barvu.



Obr.1.14: $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$ ¹⁰

Směsná keramika

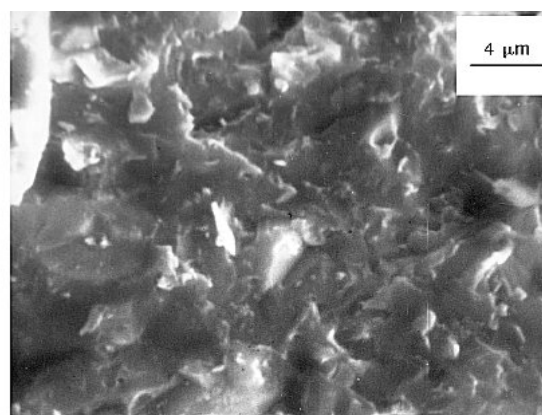
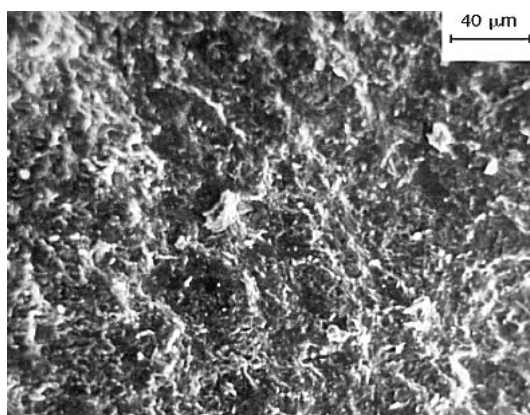
Materiál ze směsné keramiky má oproti čisté keramice mnohem větší odolnost proti teplotním a mechanickým rázům. Doporučuje se hlavně pro frézování šedé litiny a oceli, pro soustružení na čisto a jemné soustružení ocelí cementačních, ocelí zušlechťených a tvrzené litiny. Charakteristická struktura směsné oxidové keramiky je zobrazena na obr. 1.15.

Obr.1.15: $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$ ¹⁰

1.5.2 Nitridová keramika²

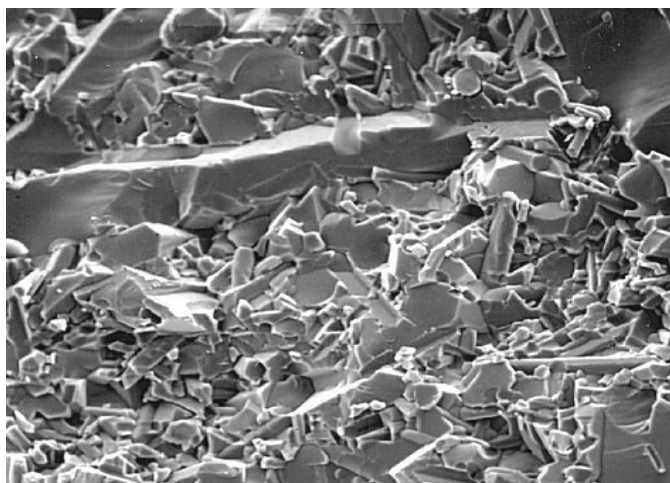
Keramika na bázi nitridu křemíku má relativně vysokou odolnost proti mechanickému opotřebení bříty a je vhodná zejména pro dokončovací a hrubovací práce na šedé litině s hrubou licí kůrou. Doporučuje se pro přerušované řezy, je odolná proti teplotním rázům a vhodná pro opracování žáropevných slitin na 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 $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Na obr. 1.16. je zobrazena struktura nitridové keramiky $\text{Si}_3\text{N}_4+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3+\text{TiC}$.

Obr.1.16: $\text{Si}_3\text{N}_4+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3+\text{TiC}$ ¹¹

1.5.3 Sialonová keramika¹

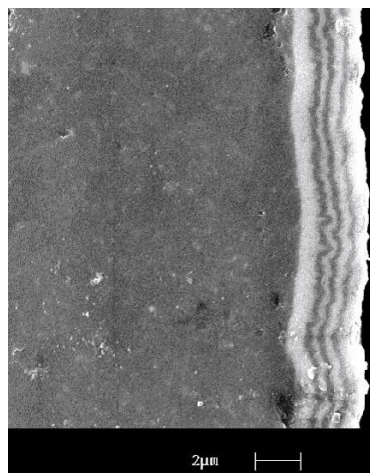
Tento materiál má obvykle vysokou hustotou, ale v důsledku přísad jako jsou např. BeO , CeO_2 , ZrO_2 nebo YO , se může objevit částečné zhoršení mechanických vlastností za vysokých teplot. Největší výhodou této technologie je možnost produkce výrobků, které mají neomezené tvary. Příklad sialonové keramiky je zobrazen na obr. 1.17.



Obr.1.17: Sialonová keramika

1.5.4 Povlakovaná keramika¹⁷

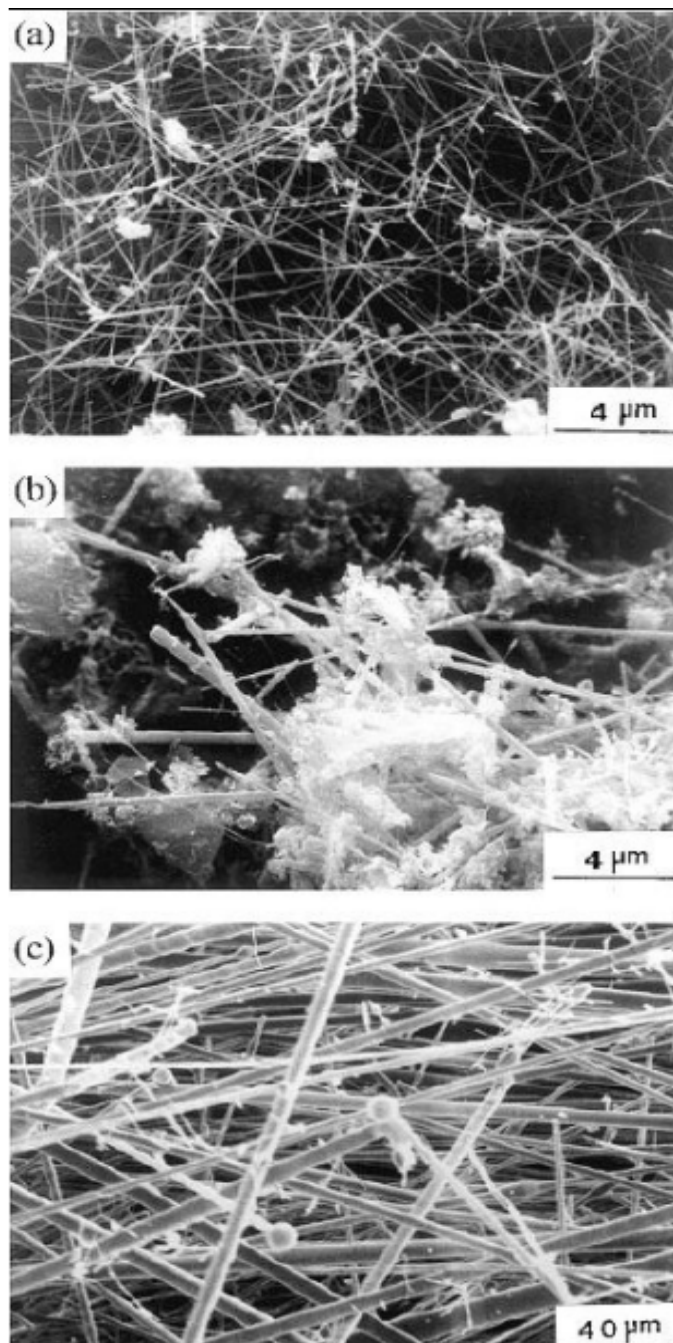
Zlepšení mechanických vlastností řezných keramik se dá docílit povlakováním CVD a PVD. Díky povlakované vrstvě získává keramika mimo jiné např. vyšší tvrdost, odolnost proti šíření povrchových trhlin, odolnost vůči otěru atd. Na obr. 1.19 je zobrazena povlakovaná nitridová keramika. Si_3N_4 a povlak $\text{TiN}+\text{Al}_2\text{O}_3$, který zvyšuje odolnost keramiky vůči mechanickému opotřebení.

Obr.1.19: Povlakovaná keramika¹⁴

1.5.5 Vyztužená keramika^{1,4}

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 řezné keramice činí maximálně 30%. Barva těchto destiček bývá zpravidla zelená. Vyztužená keramika je úspěšně využívána při obrábění

žárovzdorných slitin, kalené oceli, šedé litiny a při obrábění přerušovaným řezem. Na obrázku 1.18 můžeme porovnat tři druhy vyztužené keramiky, kdy u každé z keramik je jiný druh růstu vláken.

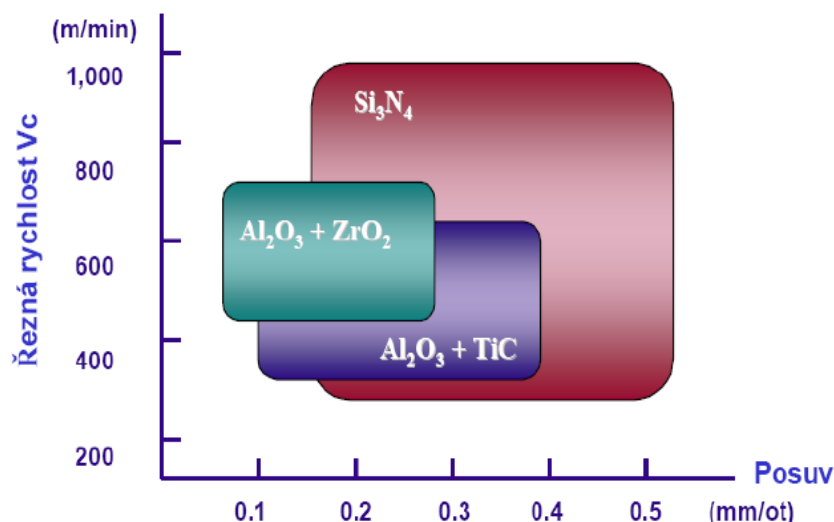


Obr.1.18: Vyztužená keramika¹²

- a) růst přímým ukládáním atomů Si a C v rovině růstu, z par obsahující Si a C;*
- b) růst ve formě slupky v surovině, obsahující kovové příměsi;*
- c) růst z kapek při rozpouštění par obsahujících Si a C*

1.5.6 Soustružení řeznou keramikou¹

Řezná keramika se řadí mezi velmi výkonné nástrojové materiály, její nasazení ve strojírenské výrobě, ale vyžaduje dodržet určité zásady, aby se její výhodné vlastnosti mohly v plné míře projevit a nevýhodné potlačit. Na obrázku 1.20 můžeme vidět rozsah řezných podmínek, při kterých se jednotlivé typy keramik používají.



Obr.1.20: Rozsah řezných podmínek používaných při obrábění keramikou²⁵

K hlavním podmínkám efektivního využití řezné keramiky při soustružení patří zejména:

- vysoká tuhost systému stroj-nástroj-obrobek,
- použití výkonných obráběcích strojů s širokým rozsahem posuvů a otáček a možností nastavení vysokých řezných rychlostí,
- výborný stav obráběcího stroje,
- zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku,
- zakrytování pracovní části obráběcího stroje,
- odstranění kůry obráběného polotovaru jiným druhem nástrojového materiálu,
- sražení náběhových hran na obrobku,
- najíždění a vyjíždění z řezu při snížených hodnotách posuvu na otáčku,
- výběr vhodného tvaru a velikosti břitové destičky,
- správná volba tvaru ostří břitové destičky,
- překonání nedůvěry k novému nástrojovému materiálu u technologa i pracovníka, který daný stroj obsluhuje.

Pro obrábění materiálů jako jsou kalené oceli nebo tvrzené litiny je z hlediska zatížení břitu nutné zvolit nižší hodnoty tloušťky třísky. Aby nedošlo k velkému zmenšení průřezu třísky a tím i snížení úběru materiálu je nutné současně nastavit větší šířku třísky.

1.5.7 Frézování řeznou keramikou¹

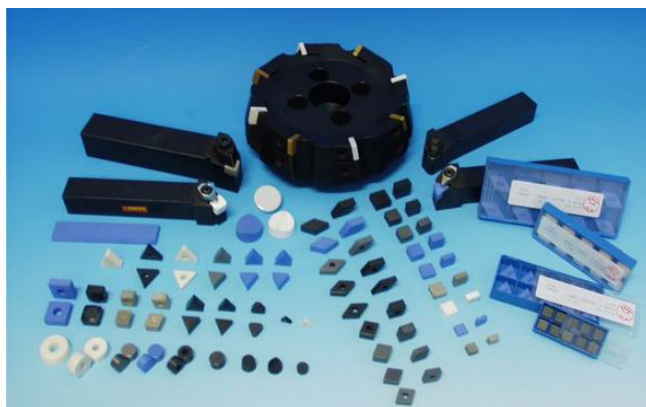
Protože, v dřívějších letech, keramické materiály nesnášely náhlé změny mechanického ani tepelného namáhání, byly břitové destičky z keramiky používány pouze pro obrábění s nepřerušovaným řezem – soustružení. V současnosti jsou jejich nedostatky minimalizovány a vlastnosti zlepšeny natolik, že je možné jejich využití i při obrábění přerušovaným řezem – frézování.

2 VÝROBCI ŘEZNÉ KERAMIKY

Řezná keramika patří mezi nejvýznamnější řezné materiály užívané k obrábění. Proto, je zařazena do výroby mnoha známých světových výrobců. Každá z těchto firem má svůj vlastní postup výroby a své specifické značení. Řezná keramika je dodávána v podobě břitových destiček, určených především pro obrábění litiny, ale používají se i na obrábění oceli, tepelně odolné superslitiny a tvrzené materiály. Mezi nejvýznamnější výrobce patří např. Sandvik Coromant, Ceramtec, Kennametal, NGK Spark Plug, Tungaloy, Romay corporation a mnohé další.

2.1 Saint Gobain Advanded Ceramics s.r.o., Turnov, cz

Tato firma je jediným významnějším výrobcem řezné keramiky v České republice. Je to firma, která se jako jedná z mála zabývá výrobou a prodejem tzv. HIGH-TECH keramiky²².



Obr.2.1: Destičky z řezné keramiky firmy Sanit Gobain Advanced Ceramics

2.1.1 Oxidová keramika

Čistá keramika

DISAL 100 (D 100) - čistá oxidová keramika s obsahem Al_2O_3 99%. Tato keramika vyniká především svou 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 (D 210, D 220) - polosměsná oxidová keramika na bázi Al_2O_3 , ZrO_2 a CoO , která 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 (D 320) - směsná keramika na bázi Al_2O_3 a TiC. Tato keramika 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.

2.1.2 Nitridová keramika

DISAL 420, 460 (D 420, D 460) – nitridový keramický materiál na bázi Si_3N_4 , který 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.

Tab.2.1. Vlastnosti vybraných keramik firmy Saint Gobain Advanced Ceramics⁶

Označení výrobce	Označení ISO	Typ keramiky	Velikost zrna [μm]	Hustota [g.cm^{-3}]	Tvrdost HV	Pevnost v ohybu [MPa]
DISAL 100	K10	Al_2O_3	1-2	3,93	2300	450
DISAL 110	P15	-	<2	3,97	2000	550
DISAL 210	-	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$	0,5-1	4,22	2200	650
DISAL 220	-	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2+\text{CoO}$	<1	4,10	1900	700
DISAL 310	-	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$	1-1,5	4,00	2000	700
DISAL 400	-	Si_3N_4	1,5	3,25	1700	850
DISAL 510	-	-	<1	6,07	1400	1200
DISAL 520	-	-	<1	4,30	1850	900

2.2 Sandvik Coromant

Jedná se o švédskou firmu, která patří do absolutní světové špičky v oblasti výroby řezných nástrojů a materiálů. Pobočky této firmy se nacházejí v 60-ti zemích na celém světě. Jsou to např. Kanada, Velká Británie, Austrálie, Jižní Afrika, Nový Zéland apod.. V České republice zastupuje značku Sandvik Coromant firma Sandvik CZ s.r.o.. Na obrázku 2.2 je ukázka řezných nožů s břitovými destičkami z keramiky firmy Sandvik¹⁷.



Obr.2.2: Keramické břitové destičky firmy Sandvik Coromant

2.2.1 Oxidová keramika

Polosměsná keramika

CC620 (K01) – je čistá oxidová keramika na bázi oxidu hlinitého s malým přídatkem 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 přídatkem 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.

CC650



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.

2.2.2 Nitridová keramika

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

CC690 – 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 déletrvajícími 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.

CC6090



2.2.3 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 – je povlakovaná jemnozrnná 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.

Tab.2.2. Vlastnosti vybraných keramik Sandvik⁶

Označení výrobce	Označení ISO	Typ keramiky	Velikost zrna [μm]	Hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	Tvrdost HV	Pevnost v ohybu [MPa]
CC620	K01	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$	3	3,97	1650	550
CC650	M10/K01	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$	3	4,27	1800	550
CC670	M10/K01	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiCw}$	-	3,70	2000	900
CC690	K10	$\text{Si}_3\text{N}_4+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3$	3	3,17	1450	800
GC1690	K10	Si_3N_4 +povlak TiN	3	3,20	1560	750

2.3 Ceramtec

Ceramtec je německý podnik, který patří do světové špičky v oboru keramiky. Produkty této firmy nejsou omezeny jen na výrobu řezných nástrojů, ale i na keramiku, která se využívá v jiných průmyslových odvětvích (elektronický, elektrotechnický, chemický, textilní průmysl atd.). Tato firma má pobočky nejen v Evropě např. ve Velké Británii, Švédsku, Španělsku či Francii, ale i v USA. V České republice je pobočka v Šumperku, kde se zabývají především výrobou keramiky na bázi karbidu křemíku SiC. Na obrázku 2.3 je ukázka břitových destiček vyráběných touto firmou²⁷.



Obr.2.3: Břitové destičky z řezné keramiky firmy Ceramtec

2.3.1 Oxidová keramika

Čistá keramika

Oxidová keramika používaná pro soustružení a drážkování litiny.

SN60 – spolehlivý řezný materiál s vysokou odolností proti opotřebení a teplotním rázům. Je vhodný pro dokončovací obrábění a drážkování šedé litiny. Při obrábění nepoužíváme řeznou kapalinu.

SN80 – je keramika užívaná k hrubému soustružení houževnaté litiny. Má vysokou odolnost proti opotřebení a houževnatost. Je ideální pro hrubování šedé litiny a poločisté soustružení oceli.

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 – je to směsná keramika se zlepšenými mechanickými a řeznými vlastnostmi. Tato keramika má velkou stejnorodost zrn malých rozměrů. Používá se pro čisté obrábění a konečné úpravy ocelí, kalených ocelí a litin.

SH10 – je nový řezný materiál s vysokou odolností proti opotřebení. Používá se především pro obrábění litin.

2.3.2 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 – tato nitridová keramika je hodná pro soustružení, vrtání a frézování litiny při vysokých řezných rychlostech.

SL150 – keramický materiál, používaný pro obrábění šedé litiny. Tento materiál má širokou oblast použití, a to i pro těžké obráběcí operace. Je využíván především pro dokončovací operace výrobků z šedé litiny.

SL200 – 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 – keramika vyráběna z vysoce čisté suroviny velmi vyzrálou slinovací technologií. Dosahuje běžných hodnot pevnosti, lomové houževnatosti teplotních vlastností. Především se využívá pro soustružení, vrtání a konečné úpravy.

SL506 – nitridová keramika s vysokými výkony řezu. Je to materiál s maximální tvrdostí s vysokou životností.

SL800 – je nitridový keramický materiál s velkou houževnatostí v jádru a zvýšenou tvrdostí na povrchu. Používá se pro frézování obrobku z litiny nebo

hrubovací soustružení tažné šedé litiny.

2.3.3 Povlakovaná keramika

SL250C – povlakovaný nitrid křemíku, který je běžným materiálem pro soustružení tvárné litiny za obtížných podmínek.

SL550C – je to nitrid křemíku potažený vícevrstevným povlakem, používaný zejména pro hrubování, polodokončovací obrábění, dokončovací obrábění, drážkování a vrtání. Povlak této keramiky zaručuje zvýšený výkonový potenciál zvláště při soustružení litiny souvislým, ale i přerušovaným řezem.

SL554C – povlakovaná keramika používaná pro těžké přerušované řezy šedé a tvárné litiny.

Tab.2.3. Vlastnosti vybraných keramik Ceramtec⁶

Označení výrobce	Typ keramiky	Velikost zrna [μm]	Hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	Tvrdost HV	Pevnost v ohybu [MPa]
SN56	Al_2O_3	<3	3,91	2400	350
SN60	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$	<2	3,97	2200	600
SN76	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$	<3	3,96	2400	400
SN80	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$	<2	4,10	2000	650
SH1	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$	<2	4,30	2400	600
SH20	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$	-	4,28	2100	400
FH3	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$	-	4,20	2800	360
SL100	$\text{Si}_3\text{N}_4+\text{Y}_2\text{O}_3$	<3	3,20	1800	720

2.4 Kennametal

Americká firma zabývající se výrobou nekonečné škály nejmodernějších nástrojů a obráběcích materiálů. V současné době působí v 60-ti zemích světa např. Německu, Rakousku, Izraeli, Egyptě apod.. V České republice je značka Kennametal zastoupena firmou Jan Havelka, která je distributorem i mnoha dalších značek. Pobočky má v Jablonci, Milovicích a Chrudimi²⁶.

2.4.1 Oxidová keramika

Čistá keramika

K060 – jde o čistou bílou oxidovou keramiku, která se využívá převážně pro soustružení.

Směsná keramika

K090 – černá keramika, užívaná hlavně pro soustružení a frézování.

KYON1615 – vysoce výkonná keramika užívaná k obrábění tvrdých materiálů. Umožňuje to jemnozrnná složka $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiCN}$ s výjimečnou odolností vůči opotřebení. Tato keramika se užívá především při soustružení na hrubo u materiálů kde mohou nastat komplikace.

2.4.2 Nitridová keramika

KYON1310 – keramika sialonová s velkou životností, speciálně vyvinuta pro vysoké řezné rychlosti při souvislém obrábění šedé litiny. Tato keramika má velmi jemnou strukturu a je odolná proti otěru. Používá se zejména při konečných úpravách. Snáší řezné rychlosti přesahující 3700 m.min⁻¹.

KYON1540 – jde o sialonový keramický materiál vyztužený whiskery. Používá se pro obrábění slitin za vysokých teplot. Je to keramika, která má širokou škálu použití, hlavně při obrábění slitin na bázi niklu, kobaltu a železa. Tato keramika, se zvětšenou tvrdostí a houževnatostí, umožňuje pracovat při větších posuvech, odporech a hloubkách řezu než ostatní řezné materiály.

KYON2000 – keramický materiál užívaný především pro frézování a soustružení litiny a ocelových slitin vysokými rychlostmi.

KYON2100 – jedná se o keramický sialonový materiál vhodný pro obrábění slitin na bázi niklu při vysokých rychlostech. Tento materiál má velmi vysokou odolnost proti mechanickému namáhání. Jeho ideální užití je při soustružení a frézování tvrdých slitin za vysokých teplot.

KYON3500 – je čistý nitrid křemíku, který má výbornou houževnatost a umožňuje použití pro soustružení s velkými posuvy a frézování vysokými rychlostmi. Využívá se pro obrábění šedé litiny i pro obrábění temperované litiny za obtížných řezných podmínek.

KYON4300 – jedná se o vyztuženou keramiku užívanou pro třískové obrábění žáruvzdorných slitin a materiálů s vyšší pevností.

2.4.3 Povlakovaná keramika

KYON3400 – je to čistý nitrid křemíku vybavený povlakem. Má výbornou houževnatost a odolnost proti opotřebení, proto se užívá převážně k obecnému obrábění šedé litiny a tažné litiny.

KYON4400 – jedná se o jemnozrnný materiál, jehož hlavní složkou je Al₂O₃ – TiN. Je opatřen povlakem TiN ke zlepšení odolnosti proti opotřebení. Využívá se pro obrábění vysokými řeznými rychlostmi.

K dalším druhům keramiky vyráběné firmou Kennametal patří polosměsná keramika AC5, směsná keramika MC2 a vyztužená keramika MC3.

Tab.2.4. Vlastnosti vybraných keramik Kennametal⁶

Označení výrobce	Označení ISO	Typ keramiky	Velikost zrna [μm]	Hustota [g.cm ⁻³]	Tvrdost HV (HRA)	Pevnost v ohybu [MPa]
AC5	P01-P10, K01-K10	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	1,8	4,00	1700	500
K060	P01-P05, K01-K05	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	3	3,97	(94,0)	700
K090	P01-P20, K01-K10	Al ₂ O ₃ +TiC	1-2	4,25	(95,0)	910
KY2000	M30/K05-K20	Si ₃ N ₄ +Al ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃	-	3,30	(93,5)	750
KY3000	K05-K20	Si ₃ N ₄ +Al ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃	-	3,30	(93,2)	850
KY3500	K05-K25	Si ₃ N ₄ +Y ₂ O ₃	-	3,20	(93,5)	1275
MC2	P01-P15, K01-K15	Al ₂ O ₃ +TiC	1,5	4,25	2000	600
MC3	P05-P15, K01-K15	Al ₂ O ₃ +TiC	-	3,80	2000	650

2.5 Romay Corporation

Romay Corporation je firma sídlící v USA, která se zabývá výrobou řezných materiálů a nástrojů. Specializuje se především na keramické a cermetové řezné destičky. Kvalitní výrobky řadí tuto firmu k širší světové špičce ve výrobě keramických materiálů.

2.5.1 Oxidová keramika

Čistá keramika

CC-10 – jde o bílou oxidovou keramiku používanou hlavně pro hrubování a konečné úpravy litin a ocelí při vyšších posunových rychlostech.

Směsná keramika

CC-20 – standardní druh černé keramiky složený z hliníkové matrice obsahující tvrdý karbid titanu s vynikající tvrdostí. Hodí se hlavně pro dokončující operace. Má vyšší odolnost proti otěru a vyšší životnost.

CC-30 – jedná se o černou keramiku vhodnou pro řezání kovů s tvrdostí přesahující HRC 55 a tvrzené litiny. Hodí se i pro broušení kalených ocelí.

2.5.2 Nitridová keramika

CC-513 – je jeden z nejpoužívanějších druhů nitridové keramiky, vhodný zejména pro vysoké řezné rychlosti při obrábění železa s častým přerušováním při frézování, soustružení a vrtání.

CC-514 – druh nitridové keramiky vhodný především pro vysoké řezné rychlosti při soustružení a frézování železa, s častým přerušováním řezu.

CC-515 – jedná se o jeden z nejtvrdějších druhů nitridové keramiky. Hodí se hlavně pro vysoké řezné rychlosti při obrábění železa souvislým řezem.

CC-52 – je nitridový keramický druh, vhodný hlavně pro frézování. Má vysokou lomovou houževnatost a dobrou odolnost vůči vysokým teplotám. Může se použít i při nepříznivých řezných podmínkách a přerušovaných řezech. Tento druh keramiky se využívá i pro soustružení, vrtání a protahování litiny.

CC-5126 – jde o druh nitridové keramiky, který je významný především pro obecné obrábění železa a jeho slitin.

2.5.3 Povlakovaná keramika

CC-30-C – je povlakovaná černá keramika, vhodná pro obrábění kovů s tvrdostí vyšší než HRC 58 a tvrzené litiny. Tento druh keramiky je porovnatelný s PCBN.

CC-58 – jedná se o speciální povlakovaný nitridový druh, používaný zejména při obrábění železa. Má vysokou životnost.

CC-58-J – je speciální povlakovaná nitridová keramika s velmi vysokou tvrdostí. Má nižší houževnatost, ale větší odolnost proti opotřebení než CC-58.

2.6 Ceratizit

Tato značka Ceratizit vznikla v roce 2002 spojením firem Cerametal Group a Plansee, což byly dvě významné společnosti zabývající se výrobou řezné keramiky³¹.

2.6.1 Oxidová keramika

CTS3110 – směsná keramika na bázi oxidu hlinitého pro dokončovací soustružení litin a kalených ocelí.

2.6.2 Nitridová keramika

CTN3105 – nitridová řezná keramika, používající pro obrábění šedých litin při vysokém úběru materiálu.

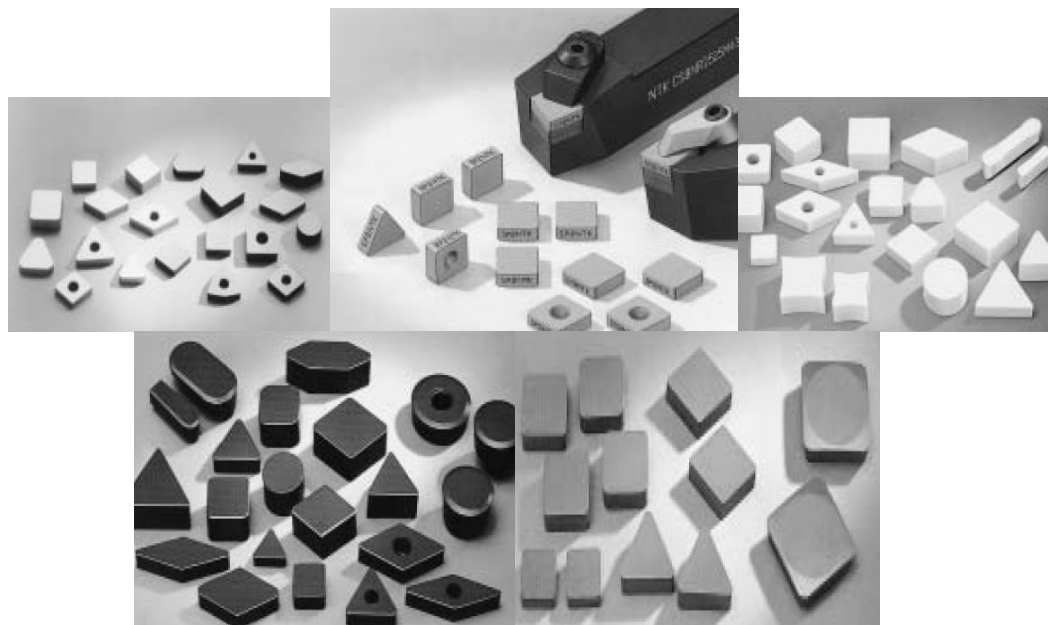
CTN3110 – řezná keramika na bázi nitridu křemíku se zvýšenou houževnatostí. Tato keramika je vhodná pro hrubování šedých litin.

2.6.3 Povlakovaná keramika

CTM3110 – nitridová řezná keramika opatřena CVD povlakem. Používá se především pro obrábění tvrdých litin legovaných chromem a tvárných litin.

2.7 NGK Spark Plug

Japonská firma vyrábějící kromě řezných nástrojů zapalovací a žhavicí svíčky, elektronické komponenty, produkty pro lékařské účely, senzory a další. Ukázka různých druhů keramických břitových destiček vyráběných touto firmou je na obrázku 2.4³⁰.



Obr.2.4 Břitové destičky firmy NGK Spark Plug

2.7.1 Oxidová keramika

Čistá keramika

CX3 – čistá oxidová keramika, vhodná především pro dokončování při soustružení litin.

Směsná keramika

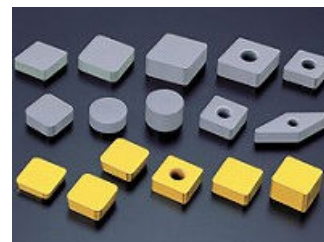
HC2 – jedná se o směsnou keramiku používanou zejména pro polodokončování a dokončování soustružených litin, tvrdých kovů a ocelí legovaných niklem.



Obr. 2.5.: Oxidová keramika NGK³⁰

2.7.2 Nitridová keramika

S4N – je nitridová keramika používaná hlavně k hrubování a polodokončování při soustružení a frézování šedé litiny.



Obr. 2.6.: Nitridová keramika NGK³⁰

2.7.3 Povlakovaná keramika

SP4 – jde o nitridovou keramiku opatřenou povlakem Al_2O_3 , užívanou hlavně k hrubovacímu a polodokončovacímu soustružení a frézování šedé litiny.

Mezi další keramické druhy, dodávané touto firmou patří např.: CH1, CH6, SX2 a SX8.

Tab.2.5. Vlastnosti vybraných keramik firmy NGK Spark Plug⁶

Označení výrobce	Označení ISO	Typ keramiky	Velikost zrna [μm]	Hustota [g.cm^{-3}]	Tvrdost HRA	Pevnost v ohybu [MPa]
CX3	P01, K01	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{MgO}$ + další	2-4	4,00	93,5	500
HC1	P01, K01	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{MgO}$ + další	2-4	4,00	95,3	700
HC2	P01/K01-K10 M10/K01	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{MgO}$ + další	1-2	4,30	94,5	800
HC6	P01/K01-K10 M10/K01	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{MgO}$ + další	2-3	4,70	94,0	800
SX2	K10-K20	$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{ZrO}_2 + \text{MgO}$	1-4	3,20	93,5	1100
SX8	K10-K20	$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{ZrO}_2 + \text{MgO}$	1-4	3,20	93,0	1200

2.8 Iscar

2.8.1 Bílá keramika

IN11 – je keramický materiál, který se hodí především pro obrábění litiny a slitin na bázi niklu a titanu. Má vysokou odolnost proti opotřebení a je vhodná na dokončování při středních a vyšších řezných rychlostech. Může se používat i při přerušovaném řezu.

IN22 – tato keramika se používá především pro dokončovací operace kalené oceli při vysokých řezných rychlostech. Během obrábění touto keramikou se nepoužívá chlazení.

IN23 – je to keramika, která je vhodná pro obrábění litiny a kalené oceli, za stejných podmínek jako keramika IN22.

IS8 – keramický materiál využívající se pro obrábění litiny a slitin na bázi niklu. Touto keramikou se obrábí za vysokých řezných rychlostí a může se obrábět i při přerušovaném řezu.

2.8.2 Povlakovaná keramika

IS80 – je sialonová nitridová keramika, která je vhodná pro obrábění litiny a slitin na bázi niklu. Používá se pro polohrubování při vysokých řezných rychlostech a středním posuvu. Má vysokou odolnost proti otěru a umožňuje obrábění i při přerušovaném řezu¹⁸.

Tab.2.6. Vlastnosti vybraných keramik firmy Iscar⁶

Označení výrobce	Označení ISO	Typ keramiky	Velikost zrna [μm]	Hustota [g.cm^{-3}]	Tvrdost HRA	Pevnost v ohybu [MPa]
IN11	P01-P10 K01-K10	Al_2O_3	-	4,00	94,2	650
IN22	P01-P10 K01-K10	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiCN}$	-	4,30	95,0	700
IN23	P01-P15 K01-K15	$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$	-	4,20	94,8	750
IS8	M30/ K01-K20	$\text{Si}_3\text{N}_4+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Y}_2\text{O}_3$	4,3	3,2	93,6	1000

2.9 HH Tools

2.9.1 Oxidová keramika

Polosměsná keramika

CZ200 – jde o bílou polosměsnou oxidovou keramiku vhodnou pro dokončovací operace při řezání šedé litiny. Má dobrou houževnatost a odolnost proti mechanickým rázům.

Směsná keramika

CT100 – je to černá oxidová keramika, která pro své dobré mechanické vlastnosti je vhodná pro dokončovací operace, řezání oceli, litiny, tvrzené oceli a slitin oceli.

CT300 – jedná se o černou směsnou keramiku s dobrými mechanickými vlastnostmi, především dobrou houževnatostí, pevností a odolností proti otěru. Je určena pro dokončovací operace, řezání oceli, litiny, speciální tvrzené oceli a slitiny oceli.

2.9.2 Nitridová keramika

CN300 – jedná se o šedou keramiku na bázi Si_3N_4 , která je doporučována pro hrubování a přerušované řezy litiny. Rovněž je vhodná k řezání slitin na bázi Ni. Má vysokou houževnatost a odolnost proti vysokým

teplotám. Při obrábění se používá chladicí kapalina.

CN700 – jde o tmavě zbarvenou nitridovou keramiku určenou především pro hrubování a přerušované řezy litiny a pro řezání superslitin. Má vysokou houževnatost a odolnost vůči vysokým teplotám. Při obrábění musí být používána chladicí kapalina.

2.9.3 Povlakovaná keramika

C300C – žlutě zbarvená keramika povlakovaná TiN. Používá se zejména pro dokončovací operace, řezání ocelí a litin. Je to keramika s dobrými mechanickými vlastnostmi.

2.10 Sumitomo

Je japonská firma patřící do světové špičky výrobců břitových destiček z řezné keramiky. Na obrázku 2.7 je příklad výrobků této firmy³².



Obr.2.7: Břitové destičky japonské firmy Sumitomo

2.10.1 Oxidová keramika

NB90S – keramický materiál vyráběný unikátním procesem, jehož důsledkem je vynikající odolnost proti opotřebování. Používá se především pro dokončovací operace soustružení kalené oceli.

2.10.2 Nitridová keramika

NS260 – nitridová keramika s extrémně jemným zrnem v mikrostruktuře. Materiál vyráběný speciálním procesem, který zaručuje, že keramika je velmi čistá. Důsledkem je velmi vysoká odolnost proti opotřebování. Tento materiál se používá hlavně pro hrubé soustružení a frézování litiny.

NS30 – je nitridový keramický materiál, který je vyroben unikátním procesem, který zvyšuje houževnatost materiálu a prodlužuje životnost nástroje. Tento druh keramiky se používá pro soustružení a frézování litiny.

2.10.3 Povlakovaná keramika

NS260C – keramika na bázi nitridu křemíku pokryta směsí oxidu hlinitého a titanu. Povlak keramice zaručuje tvrdost a odolnost proti opotřebení.

2.11 Widia

2.11.1 Oxidová keramika

CW2015 – směsná keramika na bázi oxidu hlinitého a karbonitridu titanu. Má dobrou houževnatost kombinovanou s vysokou odolností proti opotřebení. Využívá se pro dokončovací operace při obrábění šedé litiny.

2.11.2 Nitridová keramika

CW5025 – keramický materiál na bázi nitridu křemíku s mimořádnou houževnatostí. Tato keramika se využívá pro obtížné hrubovací obrábění s přerušovaným řezem. Materiál je využíván jak při obrábění s použitím kapaliny, tak i bez ní³³.

2.12 Tungaloy

2.12.1 Oxidová keramika

Čistá keramika

LXA – jde o čistou oxidovou keramiku, jejíž řezné destičky jsou bíle zbarveny. Používá se hlavně pro obrábění litiny a dokončovací operace při soustružení.

Směsná keramika

LX10 – směsná oxidová keramika, používaná zejména pro soustružení kalené oceli.

LX21 – jedná se o keramiku směsnou, využívající se převážně pro běžné obrábění

2.12.2 Nitridová keramika

FX920 – nitridová keramika používaná především při obrábění šedé litiny. Nejvíce se využívá pro střední až hrubý řez soustružení a frézování za sucha i s chlazením.

Mezi další druhy nitridové keramiky patří: FX950, FX960, RX10 a RX55.

2.12.3 Povlakovaná keramika

LX11 – jde o keramický druh povlakovaný TiN, který zvyšuje houževnatost a ořezuvzdornost. Tato keramika je vhodná hlavně při obrábění s měnící se hloubkou řezu.

Tab.2.7. Vlastnosti vybraných keramik firmy Toshiba⁶

Označení výrobce	Typ keramiky	Hustota [g.cm ⁻³]	Tvrdost HV	Tvrdost HRA	Pevnost v ohybu [MPa]
LXA	Al ₂ O ₃	3,98	710	93,9	500
LX10	Al ₂ O ₃ +TiCN	4,30	670	94,0	900
LX21	Al ₂ O ₃ +TiC	4,24	770	94,3	800
FX920	Si ₃ N ₄	3,27	1000	92,6	1000
FX950	Si ₃ N ₄ +Y ₂ O ₃	3,27	850	-	950
FX960	Si ₃ N ₄ +Y ₂ O ₃	3,3	1000	-	1100

2.13 Agi VR/Wesson

VR97 – keramický materiál s velmi vysokou tvrdostí za tepla a odolností řezné hrany proti opotřebení. Má malou nárazovou pevnost. Tento druh keramiky je vhodný pro plynulý řez za extrémních řezných rychlostech. Doporučuje se pro obrábění měkkých materiálů ale i šedé litiny, tepelně zpracovaných ocelí, mosazí, bronzu a plastů.

VR100 – tento druh keramiky, s nízkou pevností, má dobrou odolnost proti opotřebení. Vyhovuje pro obrábění tvrdých materiálů, jako je šedá litina a žáruvzdorné slitiny.

VR200 – je keramický materiál s výjimečně vysokou odolností proti porušení a praskání za tepla. Používá se především pro obrábění šedé litiny a žáruvzdorných slitin, za vysokých řezných rychlostí.

VR300 – tato keramika má vysokou odolnost proti praskání a teplotním šokům. Doporučuje se pro obrábění slitiny niklu na hrubo, při vysokých řezných i posunových rychlostech.

Tab.2.8. Vlastnosti vybraných keramik WR/Wesson⁶

Označení výrobce	Označení ISO	Typ keramiky	Velikost zrna [μm]	Hustota [g.cm ⁻³]	Tvrdost HRA	Pevnost v ohybu [MPa]
VR97	P01-P10 M05-M10 K01-K10	Al ₂ O ₃	1-3	3,98	94,0	720
VR100	P01-P10 M05-M10 K01-K10	Al ₂ O ₃ +TiC	0,5-1	4,30	95,3	860
VR200	P10-P30 M05-M30 K01-K10	Si ₃ N ₄ +Y ₂ O ₃	-	3,25	94,5	900

3 HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI NÁSTROJE

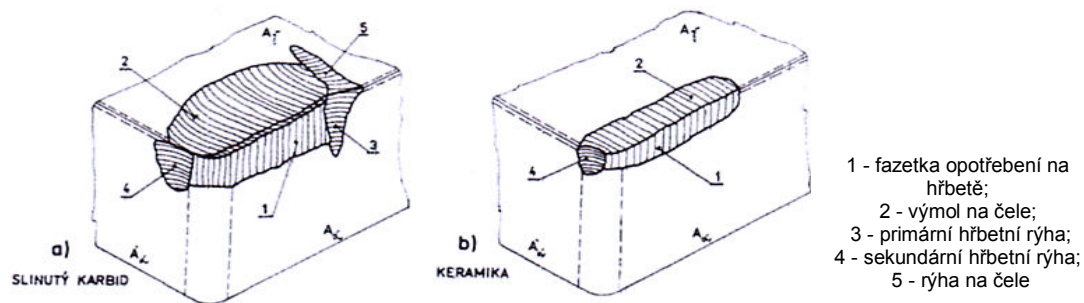
Řezivost je vlastnost nástrojového materiálu, která úzce souvisí s opotřebením nástroje, jeho trvanlivostí a životností.

3.1 Opotřebení řezného nástroje

Opotřebení je běžným důsledkem funkce všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném kontaktu a relativním pohybu¹. Kombinací mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů působících při obrábění, dochází ke složitému zatěžování břitu nástroje, které se projevuje jeho opotřebováním. Procesem utváření třísky se kontinuálně vytváří, při vysokém tlaku a teplotách, čistý kovový povrch, který má sklony k chemickým reakcím, případně k difúzním procesům. Většina obráběných materiálů rovněž obsahuje tvrdé částice různého druhu, které se se svou tvrdostí neliší od materiálu břitu nástroje. Tyto částice vyvolávají u nástroje brousící, popřípadě abrazivní efekt².

Pomocí těchto faktorů můžeme identifikovat různé mechanismy opotřebení^{1,2}:

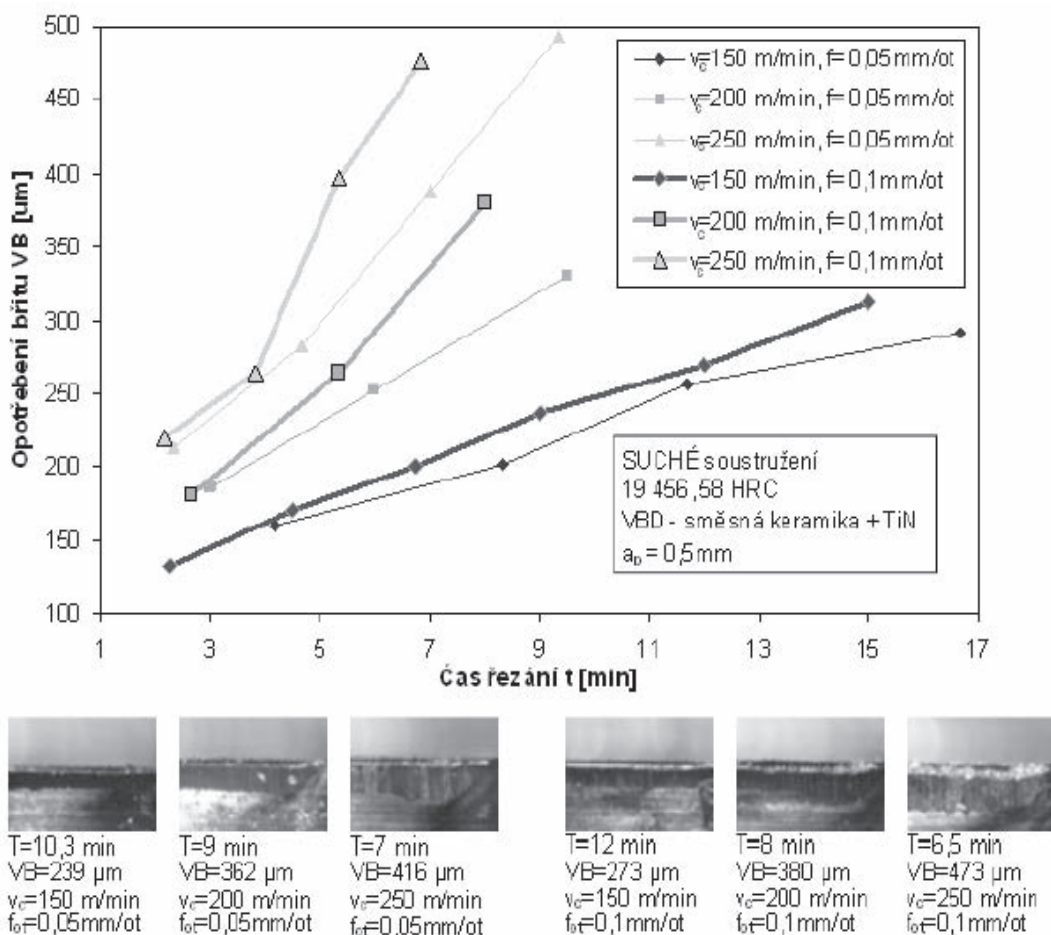
- Abraze – je brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje. Vzniká hlavně působením tvrdých částic v materiálu obrobku.
- Adheze – vznik a následné okamžité porušování mikrosvarových spojů mezi povrchem nástroje a obrobku. Tento jev často vede k vytváření nárůstku.
- Difúze – migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak a z ní vyplývající vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje. Na tento druh opotřebení má vliv chemické složení řezného nástrojového materiálu a materiálu obrobku.
- Oxidace – vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí.
- Plastická deformace – je důsledkem vysokého tepelného a mechanického zatížení.
- Křehký lom – důsledkem je vysoké mechanické zatížení.



Obr.3.1: Opotřebení řezného nástroje¹
a) slinutý karbid; b) řezná keramika

Typický vzhled opotřeбенého řezného nástroje lze vidět na obrázku 3.1, kde jsou znázorněny jednotlivé formy opotřeбенí. Z obrázku lze vidět, že opotřeбенí břitových destiček ze slinutých karbidů se výrazně projevuje ve všech svých projevech a naopak u destiček z řezné keramiky chybí výrazná primární a sekundární rýha na hřbetě nástroje.

Z řezných podmínek má největší vliv na opotřeбенí nástroje řezná rychlost. Obrázek 3.2 znázorňuje vliv řezné rychlosti a posuvu při soustružení, na velikost opotřeбенí břitové destičky ze směsné keramiky na bázi $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiCN}$ s tenkou vrstvou povlaku TiN (LX11) od firmy Tungaloy. Z obrázku je patrné, že čím je větší řezná rychlost a posuv, tím je opotřeбенí vyšší i během kratšího času funkce nástroje.



Obr.3.2: Vliv řezné rychlosti a posuvu na opotřeбенí nástroje¹⁶

Po nasazení nového nástroje do řezného procesu dochází k jeho postupnému opotřebování. Na obr. 3.3 lze vidět nárůst opotřeбенí jak hřbetu, tak i čela nástroje v závislosti na čase u keramiky DISAL 240 při soustružení za těchto řezných podmínek: řezná rychlost $424 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, posuv $0,1 \text{ mm}$, hloubka řezu 2 mm . Je zde vidět rapidní nárůst opotřeбенí na hřbetě, v místě konce kontaktu břitu s obráběným materiálem a opotřeбенí na čele, které je lineární až ke špičce a které se při procesu příliš nezměnilo.

Čas obrábění t [min]	Hřbet nástroje	Čelo nástroje
2'		
3'		
4'		
5'		
5'30"		

Obr.3.3: Nárůst opotřebení břitové destičky DISAL 240

3.2 Trvanlivost a životnost nástroje

Trvanlivost je doba, po kterou je nástroj schopen efektivně plnit požadované funkce. Trvanlivost nástroje je tedy určena intervalem mezi nasazením nástroje do řezného procesu a vznikem poruchy, kterou končí provozuschopný stav nástroje. Jako kritérium vzniku poruchy čili ukončení provozuschopného stavu nástroje se často volí parametry jako opotřebení břitu, drsnost povrchu obrobené plochy, úchylka rozměru obrobené plochy, velikost řezné síly apod.².

Životnost nástroje je pak definována jako součet všech jeho trvanlivostí, nebo jako celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti až do jeho vyřazení. U neobnovovaných nástrojů, tzn. u nástrojů, které nelze ostřit je jejich životnost identická s trvanlivostí. Obnovované nástroje neboli nástroje, které lze ostřit ztrácí svoji životnost ve chvíli, kdy je obroušena celá jejich funkční část. U vyměnitelných břitových destiček je životnost dána opotřebením všech jejich břitů¹.

Trvanlivost nástroje, podobně jako opotřebení nástroje, závisí zejména na metodě obrábění, vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu a řezných podmínkách. Největší vliv, z řezných podmínek, má na trvanlivost nástroje řezná rychlost. Proto je často vyjádřena pomocí tzv. „Taylorova vztahu“¹.

Taylorův vztah²:

$$T = C_T \cdot v_C^{-m} \quad [\text{min}]$$

v_C – řezná rychlost [min]

C_T – konstanta závisující především na materiálu obrobku a nástroje (10^8 - 10^{12}) [-]

m – exponent charakterizující především vlastnosti řezného nástroje [-]:

rychlořezné oceli $m = 8 - 5$

slinuté karbidy $m = 5 - 2,5$

řezná keramika $m = 2,5 - 1,5$

Trvanlivost břitu nástroje se stanovuje podle dvou kritérií, a to jako trvanlivost za minimálních výrobních nákladů a trvanlivost při maximální výrobě.

3.2.1 Kritérium minimálních výrobních nákladů

Optimální trvanlivost pro kritérium minimálních operačních výrobních nákladů se vyjádří²:

$$T_{optN} = \frac{(m-1) \cdot \tau \cdot N_T}{N_{sm}} = \frac{60N_T}{D_s} \cdot \tau \cdot (m-1) \quad [\text{min}]$$

N_T – náklady na nástroj a jeho výměnu vztažené na jednu trvanlivost [Kč]

N_{sm} – náklady na minutu strojní práce [Kč]

D_s – náklady na hodinu strojní práce [Kč]

m – exponent charakterizující především vlastnosti řezného nástroje [-]

τ – součinitel

3.2.2 Kritérium maximální výrobnosti

Optimální trvanlivost pro kritérium maximální výrobnosti se vyjádří²:

$$T_{optV} = (m-1) \cdot \tau \cdot t_{Ax} \quad [\text{min}]$$

t_{Ax} – čas jednotkové nepravidelné obsluhy (zahrnuje čas na výměnu a operační seřízení nástroje) [min]

m – exponent charakterizující především vlastnosti řezného nástroje [-]

τ – součinitel

3.3 Řezivost nástroje

Řezivost nástroje lze charakterizovat jako vlastnost, která umožňuje nástroji efektivním způsobem odebírat třísku z obráběného materiálu. Tato vlastnost úzce souvisí s fyzikálními a mechanickými vlastnostmi materiálu nástroje, ale je ovlivňována i dalšími faktory jako je metoda obrábění, geometrie nástroje, řezné podmínky, vlastnosti obráběného materiálu apod.. Jednoduchým a rychlým kritériem hodnocení řezivosti nástroje je T-v závislost (závislost trvanlivosti na řezné rychlosti nebo naopak)¹.

4 DOPORUČENÉ PRACOVNÍ PODMÍNKY ŘEZNÝCH KERAMIK

Jak již bylo řečeno, řezná keramika se nejvíce využívá pro obrábění šedé, tvrzené, tvárné a temperované litiny a oceli. V tab. 4.1-4.6 jsou uvedeny doporučené řezné podmínky některých výrobců jako jsou Ceramtec, Sandvik Coromant, Kennametal, Romay Corporation a HH Tools. Tito výrobci a jejich doporučení byly vybrány z důvodu rozšířeného sortimentu v oblasti řezné keramiky a dostupnosti jejich zdrojů.

4.1 Obrábění litin

4.1.1 Obrábění tvrzené litiny

Tab. 4.1: Řezné podmínky řezných keramik při obrábění tvrzené litiny^{1,6,17,26,27}

Výrobce	Druh keramiky	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru a_p [mm]
CERAMTEC	SH1 (Al ₂ O ₃)	30-240	-	<0,26
	SH20F (Al ₂ O ₃ +TiC)			
SANDVIK COROMANT	CC650 (Al ₂ O ₃ +TiC)	15-150	0,15-1,3	1,0-4,0
	CC670 (Al ₂ O ₃ +SiC _W)	20-140	0,1-1,3	0,2-10,0
	CC680 (Si ₃ N ₄ +Al ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃)	60-210	0,1-0,4	-
	CC690 (Si ₃ N ₄)	20-75	0,4-1,2	1,0-10,0
	CC6090 (Si ₃ N ₄)		0,4-1,3	0,8-10,0
HH TOOLS	CT100 (Al ₂ O ₃ +TiC)	30-100	0,05-2,0	0,1-1,5
	CT300 (Al ₂ O ₃ +TiCN)			
	CT300C (Al ₂ O ₃ +TiCN+povlak)			
	CN26 (Si ₃ N ₄)	20-160	0,5-2,0	<5,0
	CN700 (Si ₃ N ₄ +povlak TiN)			
	CN300 (Si ₃ N ₄)			
ROMAY CORPORATION	CC30 (Al ₂ O ₃ +TiN)	66-245	0,08-0,25	0,5-1,0
	CC30C (Al ₂ O ₃ +TiN+povlak)			

4.1.2 Obrábění šedé litiny

Vysokorychlostní soustružení perlitické šedé litiny je odvětví, kterému v současné době jednoznačně dominuje keramika na bázi nitridu křemíku²³.

Tab. 4.2: Řezné podmínky řezných keramik při obrábění šedé litiny^{1,6,17,26,27}

Výrobce	Druh keramiky	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru a_p [mm]
CERAMTEC	SN60 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	150-1200	0,2-1,5	0,3-1,0
	SN80 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	100-1000	0,25-0,5	>1,5
	SH1 (Al ₂ O ₃ +TiC)	150-1200	0,08-0,35	0,2-1,0
	SH2 (Al ₂ O ₃ +TiC)		0,08-0,6	
	SL100 (Si ₃ N ₄ +Y ₂ O ₃)	100-1000	0,25-0,7	-
	SL500 (Si ₃ N ₄)	300-1500	0,15-0,7	>1,5
	SL500C (Si ₃ N ₄ +povlak)		0,25-0,7	
SANDVIK COROMANT	CC620 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	480-800	0,1-0,45	0,1-5,0
	CC650 (Al ₂ O ₃ +TiC)	270-700	0,1-0,4	-
	CC680 (Si ₃ N ₄ +Al ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃)	270-550		
	CC690 (Si ₃ N ₄)	400-800		
	CC6090 (Si ₃ N ₄)	400-800	0,2-0,7	0,1-7,0
	GC1690 (Si ₃ N ₄ +povlak TiN)			
HH TOOLS	CT100 (Al ₂ O ₃ +TiC)	150-600	0,2-0,5	0,1-6,0
	CT300 (Al ₂ O ₃ +TiCN)			
	CN700 (Si ₃ N ₄ +povlak TiN)	150-800	0,15-0,8	<5,0
	CN300 (Si ₃ N ₄)			
KENNAMETAL	CZ200 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	200-800	0,05-0,4	0,1-5,0
	KYON1310 (Si ₃ N ₄)	500-900	0,25-1,0	0,25-3,0
	KYON3400 (Si ₃ N ₄ +povlak)	350-450	0,25-0,3	0,5-3,0
	KYON3500 (Si ₃ N ₄ +Y ₂ O ₃)	550-800	0,25-1,0	2,0-4,0

4.1.3 Obrábění tvárné litiny

Tab. 4.3: Řezné podmínky řezných keramik při obrábění tvárné litiny^{1,6,17,26,27}

Výrobce	Druh keramiky	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru a_p [mm]
CERAMTEC	SN60 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	150-600	0,2-1,5	0,3-1,0
	SN80 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	100-550	0,25-0,7	1,0-3,00
	SH1 (Al ₂ O ₃)	150-600	0,08-0,35	0,1-0,5
	SH2 (Al ₂ O ₃ +TiC)		0,2-0,4	0,3-1,0
	SL500C (Si ₃ N ₄ +povlak)		0,25-6,0	>1,5
SANDVIK COROMANT	CC620 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	320-510	0,1-0,45	0,2-5,0
	CC650 (Al ₂ O ₃ +TiC)		0,05-0,45	0,1-5,0
	CC680 (Si ₃ N ₄ +Al ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃)	210-460	0,1-0,4	-
	CC690 (Si ₃ N ₄)	150-480	0,2-0,7	0,2-7,0
HH TOOLS	CT100 (Al ₂ O ₃ +TiC)	150-600	0,2-0,5	0,1-6,0
	CT300 (Al ₂ O ₃ +TiCN)			
	CN700 (Si ₃ N ₄ +povlak TiN)	150-800	0,15-0,8	<5,0
	CN300 (Si ₃ N ₄)			
KENNAMETAL	KYON3400 (Si ₃ N ₄ +povlak)	350-450	0,25-0,3	0,5-3,0
	KYON3500 (Si ₃ N ₄ +Y ₂ O ₃)	550-800	0,25-1,0	2,0-4,0
ROMAY CORPORATION	CC513 (Si ₃ N ₄)	100-1500	0,05-0,6	0,1-6,4
	CC514 (Si ₃ N ₄)			
	CC5126 (Si ₃ N ₄)			

4.1.4 Obrábění temperované litiny

Tab. 4.4: Řezné podmínky řezných keramik při obrábění temperované litiny^{1,6,17,26,27}

Výrobce	Druh keramiky	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru a_p [mm]
CERAMTEC	SN60 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	100-1000	0,2-1,5	0,3-3,0
	SN80 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)		0,25-0,7	
	SH1 (Al ₂ O ₃)		0,08-0,35	0,1-0,5
	SH20F (Al ₂ O ₃ +TiC)	100-1000	0,08-1,5	-
	SL100 (Si ₃ N ₄ +Y ₂ O ₃)		0,25-0,7	
SANDVIK COROMANT	CC620 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	400-800	0,1-0,4	-
	CC650 (Al ₂ O ₃ +TiC)	300-700		
	CC680 (Si ₃ N ₄ +Al ₂ O ₃ +Y ₂ O ₃)	300-600		
	CC690 (Si ₃ N ₄)	400-800		
	CC6090 (Si ₃ N ₄)	400-800	0,2-0,7	0,1-7,0
	GC1690 (Si ₃ N ₄ +povlak TiN)			
HH TOOLS	CT100 (Al ₂ O ₃ +TiC)	150-600	0,2-0,5	0,1-6,0
	CT300 (Al ₂ O ₃ +TiCN)			
	CT300C (Al ₂ O ₃ +TiCN+povlak)			
	CN26 (Si ₃ N ₄)	150-800	0,15-0,8	<5
	CN700 (Si ₃ N ₄ +povlak TiN)			
	CN300 (Si ₃ N ₄)			
KENNAMETAL	K060 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	300-600	0,13-0,4	-
	K090 (Al ₂ O ₃ +TiCN)			

4.2 Obrábění ocelí

4.2.1 Obrábění běžných ocelí

Tab. 4.5: Řezné podmínky řezných keramik při obrábění ocelí^{1,6,17,26,27}

Výrobce	Druh keramiky	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru a_p [mm]
CERAMTEC	SN60 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	70-1200	0,2-1,5	0,3-1,0
	SN80 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	70-900	0,3-0,6	1,0-3,0
	SH1 (Al ₂ O ₃)	70-1200	0,08-0,35	0,1-0,5
	SH20F (Al ₂ O ₃ +TiC)			
SANDVIK COROMANT	CC620 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	240-1050	0,2	0,1-0,4
	CC650 (Al ₂ O ₃ +TiC)	120-900		
HH TOOLS	CT100 (Al ₂ O ₃ +TiC)	200-800	0,05-0,4	2,2-5,0
	CT300 (Al ₂ O ₃ +TiCN)	20-600	0,05-2,0	0,1-6,0
	CT300C (Al ₂ O ₃ +TiCN+povlak)			
	CZ200 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	200-800	0,05-0,4	0,1-4,0
ROMAY CORPORATION	CC10 (Al ₂ O ₃)	100-1220	0,08-0,8	0,5-1,5
	CC20 (Al ₂ O ₃ +TiC)	66-1500	0,05-0,8	
	CC30 (Al ₂ O ₃ +TiN)	66-245	0,08-0,25	0,5-1,0
	CC30C (Al ₂ O ₃ +TiN+povlak)			
KENNAMETAL	K060 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	300-900	0,13-0,4	-
	K090 (Al ₂ O ₃ +TiCN)			

4.2.2 Obrábění tvrzených ocelí

Tab. 4.6: Řezné podmínky řezných keramik při obrábění tvrzené oceli^{1,6,17,26,27}

Výrobce	Druh keramiky	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru a_p [mm]
CERAMTEC	SN60 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	70-1000	0,3-1,0	0,3-1,0
	SN80 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	70-800	0,3-0,6	1,0-3,0
	SH1 (Al ₂ O ₃)	70-1000	0,08-0,35	0,08-0,35
	SH20F (Al ₂ O ₃ +TiC)		0,08-1,5	-
SANDVIK COROMANT	CC620 (Al ₂ O ₃ +ZrO ₂)	330-650	0,1-0,4	-
	CC650 (Al ₂ O ₃ +TiC)	120-550		0,4
	CC670 (Al ₂ O ₃ +SiC _W)	50-180	<0,25	
	GC6050 (Al ₂ O ₃ +TiC+povlak TiN)	90-290	0,05-0,25	-
HH TOOLS	CT100 (Al ₂ O ₃ +TiC)	20-150	0,05-2,0	0,1-1,5
	CT300 (Al ₂ O ₃ +TiCN)			
	CT300C (Al ₂ O ₃ +TiCN+povlak)			
ROMAY CORPORATION	CC10 (Al ₂ O ₃)	100-1220	0,08-0,8	0,5-1,5
	CC30 (Al ₂ O ₃ +TiN)	66-245	0,08-0,25	0,5-1,0
	CC30C (Al ₂ O ₃ +TiN+povlak)			

Z předchozích tabulek je patrné, že různí výrobci udávají odlišné doporučené řezné podmínky pro své produkty a rozsahy jejich hodnot jsou značné. Z toho vyplývá, že většinu druhů keramik je možné použít při různých hodnotách řezné rychlosti. Aby však použití bylo optimální, musí k odlišným řezným rychlostem být vhodně stanoveny ostatní řezné podmínky, kterými je posuv a šířka záběru ostří. Samozřejmostí je, že se hodnoty řezných podmínek budou lišit u hrubovacího, polodokončovacího i dokončovacího obrábění.

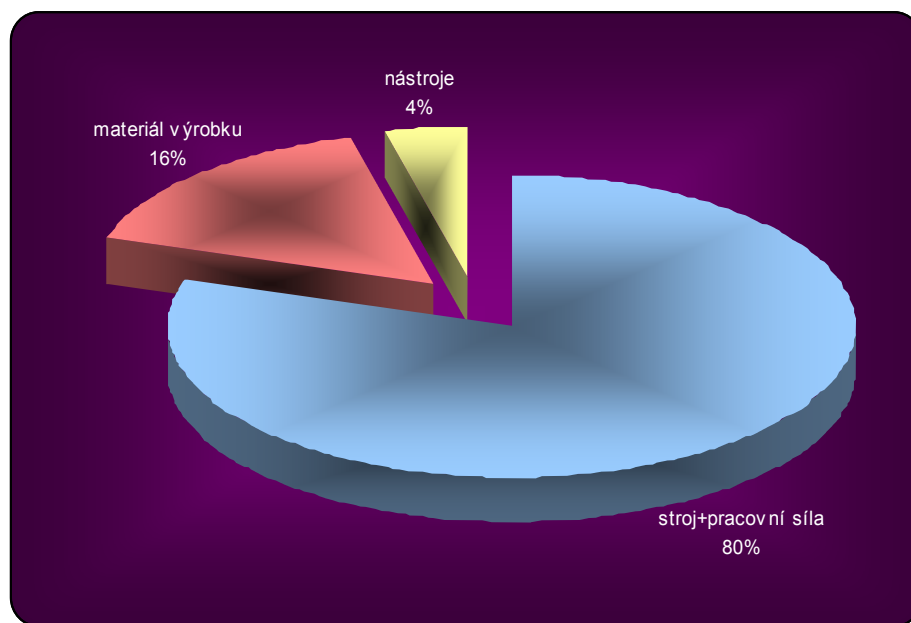
Rovněž je možné z tabulek zpozorovat, že pro obrábění tvrzených materiálů jsou doporučené hodnoty řezných rychlostí viditelně nižší, než pro ostatní materiály, které se obrábějí vysokorychlostně.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Při obrábění součástí, které vyžadují vysokou přesnost, je důležité použít nástroje osazené výkonnými řeznými materiály, které jsou schopny funkční plochu obrobit s minimálním opotřebením bříty.

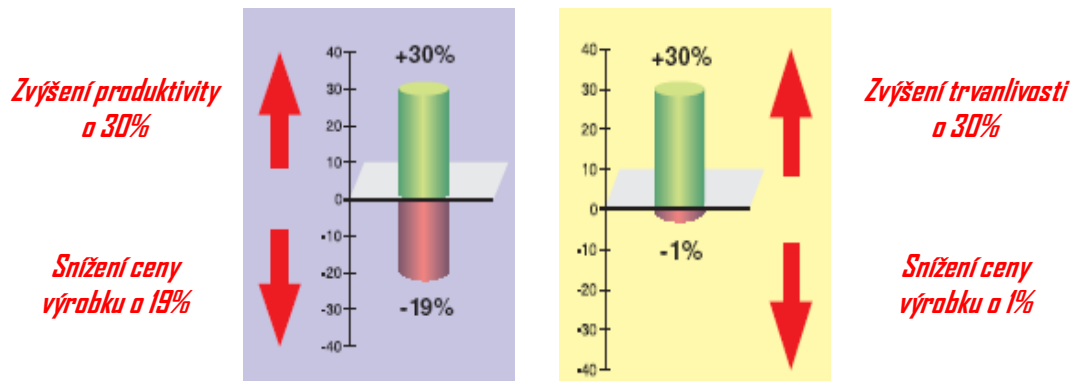
Samozřejmostí je, že nástroje osazené břitovými destičkami z výkonných tvrdých materiálů, tudíž i řeznou keramikou, nejsou universálně použitelné pro všechny druhy obráběných materiálů a rozhodně nevytlačí klasické řezné materiály jako jsou slinuté karbidy či rychlořezná ocel. Tyto výkonné materiály však nalézají stále širší uplatnění nejen u obrábění s plynulým řezem (soustružení), ale i u obrábění s řezem přerušovaným (frézování). Použité obráběcí stroje musí mít dostatečný výkon a rozsah otáček, vysokou tuhost a přesnost chodu včetně, zakrytý pracovní prostor a zajištěn odvod třísek.

Pořízení a následný provoz strojů s těmito parametry je velice finančně náročné a společně s výlohy na pracovní sílu, mají největší vliv na celkové výrobní náklady. Mezi další zdroje výdajů patří režie na materiál výrobku a nástrojové výlohy²⁷. Na obrázku 5.1 je přehled výrobních nákladů v procentech.



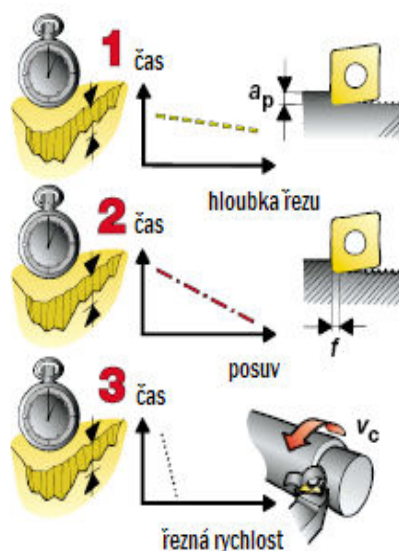
Obr. 5.1: Přehled výrobních nákladů²⁷

Z obrázku výše je zřejmé, že výlohy na řezné nástroje činí jen okolo 4% z konečné ceny výrobku. Z toho vyplývá, že zvyšováním trvanlivosti nástroje lze snížit celkové výdaje pouze minimálně. Konečná cena výrobku je značně ovlivněna produktivitou, čili množstvím obrobků vyrobených za časovou jednotku²⁷. (viz. Obr. 5.2)



Obr. 5.2: Vliv zvyšování produktivity a zvyšování trvanlivosti na cenu výrobku¹⁷

Řezná rychlost, posuv a hloubka řezu jsou všechny parametry, které mohou zlepšit produktivitu. Přestože zvýšení těchto parametrů má také velký vliv na trvanlivost nástroje, úspory při lepší produktivitě plně kompenzují náklady na zvýšenou spotřebu nástrojů. Na obrázku 5.3 je znázorněna závislost trvanlivosti nástroje na řezných podmínkách. Je zde patrné, že nejmenší dopad na trvanlivost má zvyšování hloubky řezu a největší řezná rychlost.



Obr.5.3: Závislost trvanlivosti nástroje na řezných podmínkách¹⁷

Další možností jak snižovat celkové náklady výroby je používání Wiperů (dočišťovací destičky které umožňují spojení dvou cyklů (polodokončovací a dokončovací) a zvýšení rychlosti posuvu na dvojnásobek při zachování stejné povrchové jakosti obrobku.

Vzrůstajícím trendem v průmyslu obrábění kovu je v dnešní době obrábění za sucha. Moderní řezné nástroje jsou vyvinuty k odolávání vysokým řezným teplotám bez ztráty jejich tvrdosti a odolnosti proti opotřebení. Vyloučením chlazení se neeliminuje pouze cena chladiwa, ale i čas na údržbu stroje.

Rychlá výměna nástroje je další příčinou zvýšení celkové produktivity a tím snížení nákladů¹⁷.

Bohaté nástrojové programy umožňují nalézt optimální řešení obráběcího procesu z hlediska hospodárnosti. To platí jak pro tvrdé obrábění, tak pro obrábění vysokorychlostní. Součástí dodávky nástroje bývá rovněž výrobcem doporučený vhodný materiál, pro který je nástroj určen, a také know-how pro jeho nejvhodnější použití. K úzké spolupráci mezi výrobcem stroje, nástroje a uživatelem by mělo být přistupováno již ve fázi projektování výroby, což

následně umožní docílit nejvyšší možné míry efektivity a hospodárnosti obráběcího procesu²³.

Omezené použití řezné keramiky a její výrobní náročnost je příčinou toho, že se na trhu téměř nevyskytují výrobci, kteří by se specializovali pouze na výrobu keramiky. Většina výrobců se zabývá výrobou všech řezných materiálů obecně, s konkrétním zaměřením na jeden z nich a ostatními se zabývá jen okrajově. Velká část výrobců je orientována především na výrobu slinutých karbidů, a proto mají ve své nabídce řezných materiálů pouze jeden nebo dva druhy řezné keramiky, jako je tomu např. u firmy Iscar. Jednou z výjimek je však firma Ceramtec, která se zaměřuje především na řeznou keramiku. Tento výrobce v minulosti vynakládal značné úsilí na rozvoj tohoto materiálu a samozřejmě je, že má ve svém sortimentu hojně zastoupeny právě keramické materiály. Firma Sandvik Coromant má ve své nabídce produktů zastoupeny všechny řezné materiály, tudíž i řeznou keramiku. V tab. 5.1 je porovnání vybraných druhů keramik firmy Ceramtec a Sandvik Coromant. Tito dva výrobci byli pro srovnání vybráni z důvodu široké nabídky sortimentu řezné keramiky a dostupnosti firemních literatur.

Tab. 5.1: Porovnání vlastností vybraných keramik Ceramtec a Sandvik Coromant¹⁵

Druh keramiky	Oxidová		Směsná		Nitridová		Povlakovaná	
Výrobce	Ceramtec	Sandvik	Ceramtec	Sandvik	Ceramtec	Sandvik	Ceramtec	Sandvik
Označení	SN60	CC620	SH1	CC650	SL100	CC690	SL550C	GC1690
Složení	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂		Al ₂ O ₃ +TiC		Si ₃ N ₄		Si ₃ N ₄ +povlak	
Hustota ρ [g.cm ⁻³]	3,97	3,97	4,30	4,27	3,20	3,17	3,21	3,20
Tvrdost HV [MPa]	2200	1650	2400	1800	1800	1450	1700	1560
Lomová houževnatost K _{IC} [MPa.m ^{1/2}]	5,1	4,5	6,6	5,0	7,0	6,0	7,5	-
Pevnost v ohybu σ_B [MPa]	600	550	600	550	720	800	820	750
Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	150-1200	450-800	150-1200	15-800	-	20-800	150-600	90-290
Posuv na otáčku f [mm]	0,2-0,6	0,1-0,45	0,08-0,6	0,05-5,0	-	0,2-1,2	0,25-0,06	0,05-0,25
Šířka záběru ostří a _p [mm]	0,3-1,0	0,1-5,0	0,2-1,0	0,1-5,0	-	0,2-10,0	>1,5	-
Použití	šedá litina	šedá litina	litina	šedá litina, ocel	litina	tvrz. litina, litina	tažná litina	tvrzená ocel

ZÁVĚR

Řezná keramika patří do skupiny netradičních řezných materiálů a její použití představuje cca 4-5% z celkového objemu řezných materiálů²⁵. Existují ale specifické oblasti průmyslu jako letecký, kosmický a automobilový, kde je toto procento daleko vyšší.

Nástroje s břitovými destičkami z řezné keramiky jsou vhodné především pro užití ve velkosériové a hromadné výrobě, všude tam, kde se chce dosáhnout maximální efektivity při náročnějších podmínkách obrábění, než umožňují nástroje se slinutých karbidů²².

Keramika je materiál, který umožňuje vysokorychlostní obrábění a obrábění velmi tvrdých materiálů. Vysokorychlostní obrábění, obrábění za sucha a obrábění velmi tvrdých materiálů představují výzvu současnému obráběcímu průmyslu. K její realizaci musí být splněny odpovídající předpoklady, zahrnující jak obráběcí stroje odpovídajících parametrů, tak i nástroje a samotné metody třískového obrábění. Obrábění velmi tvrdých materiálů vyžaduje po řezném nástroji vysokou tvrdost, ošetrzuvzdornost a odolnost vůči vysokým teplotám (kontakt se žhavými třískami), stejně tak jako dobrou vrubovou houževnatost a vysokou odolnost řezné hrany proti lomu a vydrolování²³. Hlavní výhodou keramiky je zachování tvrdosti ostří i za teploty až 1200 °C. Stroje, na kterých se řezná keramika používá, musí mít dostatečný výkon, rozsah otáček, vysokou tuhost a přesnost chodu vřetena. Nezbytné je také zakrytování pracovního prostoru a zajištění odstraňování třísek. Obrobky musí být dostatečně kompaktní, bez sklonu ke chvění a musí umožňovat tuhé upnutí. Při obrábění keramikou se téměř nepoužívá chlazení. Z toho plyne, že při jiskření nebo žnutí destičky do červeného žáru se musí snížit řezné podmínky²².

Současný poměrně široký sortiment materiálů pro řezné nástroje – od nástrojových ocelí přes slinuté karbidy, cermety, řeznou keramiku až po kubický nitrid bóru a syntetický diamant – je důsledkem dlouholetého a rozsáhlého celosvětového výzkumu a vývoje v dané oblasti a má úzkou souvislost s rozvojem konstrukčních materiálů, určených pro obrábění i s vývojem nových výkonných obráběcích strojů, zejména s číslicovým řízením. Přestože výzkumné týmy výrobců nástrojů na celém světě velmi intenzivně pracují na zdokonalování nástrojových materiálů, je velmi málo pravděpodobné, že v dohledné době objeví zcela novou tvrdou látku, jejíž fyzikální, chemické a mechanické vlastnosti by splňovali veškeré požadavky na kvalitní nástrojový materiál. Hlavním problémem dnešní doby tedy není hledání zcela nových, dosud nepoužívaných řezných materiálů, ale spíše zdokonalování technologie výroby těch stávajících, které povede ke zlepšení vlastností a stanovení optimálních pracovních podmínek pro efektivní užití v přesně vymezených oblastech obrábění.

Předložená diplomová práce obsahuje vlastní literární studii, znázorňující základní přehled sortimentu výroby řezné keramiky, vybraných světových i českých výrobců. Z této analýzy je zřejmé, že se na trhu objevují keramické řezné nástroje jak od výrobců zabývajících se především jejich výrobou, tak i od

výrobců, kteří se výrobou keramiky zabývají pouze okrajové, neboť se zaměřují zejména na výrobu jiných nástrojových materiálů. Jednou z nejvýznamnějších firem zabývajících se výhradně výrobou řezné keramiky je německý podnik Ceramtec. Tato firma s dlouhou tradicí a mnoha zkušenostmi, má ve svém širokém výrobním sortimentu zastoupenou oxidovou keramiku (SN56, SN60, SN76, SN80), která je doporučována pro soustružení a frézování kalené oceli a litiny, dále nitridovou keramiku (SL100, SL150, SL200, SL500, SL800), která se užívá pro hrubé soustružení a vrtání litiny a povlakovanou keramiku (SL250C, SL550C), doporučenou pro obrábění souvislým i přerušovaným řezem. Dalšími firmami, které vyrábějí velké množství druhů řezné keramiky jsou např. Sandvik Coromant, Kennametal a NGK Spark Plug. Všechny tyto firmy mají ve svém výrobním sortimentu čistou, směsnou, nitridovou, povlakovanou i whiskerovu keramiku. Naopak Iscar či Mitsubishi jsou firmami, které vyrábějí pouze jeden nebo dva druhy řezné keramiky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HUMÁR, A.. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*, Brno, CCB spol. s.r.o. 1995, ISBN 80-85825-10-4, 265s.
2. KOČMAN, K. – PROKOP, J.. *Technologie obrábění*, Brno, CERM s.r.o. 2001, ISBN 80-214-1996-2, 270s.
3. PTÁČEK, L. a kolektiv. *Nauka o materiálu II.*, Brno, CERM s.r.o. 2002, ISBN 80-7204-248-3, 392s.
4. MOHYLA, M.. *Nekonvenční strojírenké materiály I.*, Ostrava, VŠB 1994, ISBN 80-7078-236-6, 133s.
5. KOČMAN, K.. *Speciální technologie obrábění*, Brno, PC-DIR Real, s.r.o. 1998, ISBN 80-214-1187-2, 213s.
6. KRÍŽ, R.. *Tabulky materiálů a předvýrobků pro strojírenství, III. část – materiály výrobní nekovové, provozní a pomocné*, Ostrava, MONTA-NEX a.s., ISBN 80-7225-044-2, 530s.
7. Sandvik – Coromant. *Všeobecné soustružení*, 2002
8. BROOKS, K.J.A.. *World Directory and Handbook of Hard materials*. International Cerbide Data, East Barnet Hertfordshire, United Kingdom, Sixth Edition 1996, ISBN 0 9508995 4 2, 220+528s.
9. HOFMANN, P. *Obrábění zasucha - ano, či ne? (2. část)*. MM - Průmyslové spektrum. 2/2001. s. 8-10. ISSN 1212-2572.
10. TUAN, W.H., CHEN, R.Z., WANG, T.C., CHENG, C.H., KUO, P.S. Mechanical properties of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$ composites. *Journal of the European Ceramic Society*. 22 (2002). pp. 2827-2833. ISSN 0955-2219.
11. SZAFRAN, M., BOBRYK, E., KUKLA, D., OLSZYNA, A. $\text{Si}_3\text{N}_4\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-TiC-Y}_2\text{O}_3$ composites intended for the edges of cutting tools. *Ceramics International*. 26 (2000). pp. 579-582. ISSN 0272-8842.
12. SCHNEIDER, J., RICHTER, G. Neue Entwicklungen und Anwendungen bei Schneidkeramik. *Werkzeugtechnik*. (132) 1999. No.4. pp. 71-75.
13. LIN, G.Y., LEI, T.C. Microstructure, Mechanical Properties and Thermal Shock Behaviour of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{+ZrO}_2\text{+SiCw}$ Composites. *Ceramics International*. 24 (1998). pp. 313-326. ISSN 0272-8842.

14. CHOI, H.-J., LEE, J.-G. Stacking faults in silicon carbide whiskers. *Ceramics International*. 26 (2000). pp. 7-12. ISSN 0272-8842.
15. FIALOVÁ, K.. *Řezná keramika a její efektivní využití*: Bakalářská práce, Brno, VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, 2005, 45s.
16. MATĚJKA, J., SOVA, F., SKOPEČEK, T., KAPINUS, V.. Chování řezné keramiky při frézování a soustružení kalených ocelí. *Strojarstvo*. 2/2006. s 72-73. [online]. [cit. 30. leden 2008]. Dostupné na World Wide Web:<<http://www.strojarstvo.sk/inc/casopis/022006/72-73.pdf>>
17. SANDVIK. *Sandvik material technology*. [online]. [cit. 30. leden 2008]. Dostupné na World Wide Web:<<http://www.processsystems.sandvik.com>>
18. ISCAREX. *Materiálové skupiny Iscar*. [online]. [cit. 30. leden 2008]. Dostupné na World Wide Web:<<http://www.iscarex.cz/sortiment.php?znacka=iscarm>>
19. COLUMBIA UNIVERSITY, New York, USA. *Introduction to laser machining of composites (II)*. [online]. [cit. 27. dubna 2001]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.mrl.columbia.edu/ntm/level2/ch05/html/I2c05s02.html>>.
20. ZÄH, M., REINHART, G. *Grundlagen der Entwicklung und Produktion*. Vorlesungsskript, Wintersemester 04/05. TU München. [online]. [cit. 30. března 2001]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.iwb.tum.de/img/iwb_/Mitarbeiter-ALT/clarke/GEP_Skript_iwb_Teil.pdf>.
21. ČEP, R.. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu*. Disertační práce, Ostrava, VŠB – TU Ostrava, 40s. [online]. [cit. 6. únor 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.hdl.handle.net/10084/55482> >.
22. SAINT GOBAIN. *Břitové destičky z řezné keramiky*. Turnov. [online]. [cit. 11. ledna 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210&lang=cs>>.
23. *Řezná keramika a kubický nitrid boru*. MM Průmyslové spektrum. 9/2003. s. 42. [online]. [cit. 30. leden 2008]. Dostupné na World Wide Web:<<http://www.mmspektrum.com/clanek/rezna-keramika-a-kubicky-nitrid-boru> >
24. KRATOCHVÍL, B., ŠVORČÍK, V., VOJTĚCH, D.. *Úvod do studia materiálů*. Praha 2005, ISBN 80-7080-568-4, 191s. [online]. [cit. 30. leden 2008]. Dostupné na World Wide Web: <http://vydavatelství.vscht.cz/knihy/nid_isbn_80-7080-568-4/pages_img/001.html>

25. *Keramika*. Prezentace. 25s. [online]. [cit. 7. únor 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ateam.zcu.cz/keramika.pdf>>
26. KENNAMETAL. *Cast Iron Turning Guide*. 98s. [online]. [cit. 14. březen 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.kennametal.com/images/pdf/US/KMLT-Cast-Iron-Turning-Guide.pdf>>
27. CERAMTEC. *Cutting materials*. [online]. [cit. 6. únor 2008]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ceramtec.com/index/divisions/spk_cutting_tools/applications/turning/cutting_materials/00942,0124,0384,0604.php>
28. TUNGALOY. *Ceramics*. [online]. [cit. 20. únor 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.tungaloyamerica.com/>>
29. AGI VR/WESSION. *Products*. [online]. [cit. 6. únor 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.agivrweession.com/products.html>>
30. NGK SPARK PLUG. *Ceramic Grades*. [online]. [cit. 20. únor 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.ngkntk.co.jp/english/product/machine/cera/index.html>>
31. CERATIZIT. *Ceramic cutting materials*. [online]. [cit. 20. únor 2008]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.ceratizit.com/1812_ENG_HTML.htm>
32. SUMITOMO. *Sumi Tool*. [online]. [cit. 14. březen 2008]. Dostupné na World Wide Web: <http://www.sumitool.com/sumi_english/>
33. WIDIA. *Cutting tools*. 230s. [cit. 27. duben 2008]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.widia.com/widia/en/widia/literatureRequest.jhtml?category=Literature>>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
f	[mm]	posuv na otáčku
h	[mm]	hloubka řezu
m	[-]	exponent řezného nástroje
n	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky
t_{Ax}	[min]	čas jednotkové nepravidelné obsluhy
v_c	$[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$	řezná rychlost
C_T	[-]	konstanta obráběného materiálu
CVD	[-]	chemická metoda povlakování
D_s	[Kč]	náklady na hodinu strojní práce
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
HRA	[MPa]	tvrdost podle Roockwela
HV	[MPa]	tvrdost podle Vickerse
K_{IC}	$[\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}]$	lomová houževnatost
N_{sm}	[Kč]	náklady na minutu strojní práce
N_T	[Kč]	náklady na nástroj za jednu trvanlivost
PD	[-]	polykrystalický diamant
PKNB	[-]	polykrystalický kubický nitrid bóru
PVD	[-]	fyzikální metoda povlakování
R_m	[MPa]	pevnost v tahu
SK	[-]	slinuté karbidy
T	[min]	trvanlivost břítu
T_{optN}	[min]	trvanlivost při optimálních nákladech
T_{optV}	[min]	trvanlivost při optimální výrobnosti
T_t	$^{\circ}\text{C}$	teplota tavení
VB	$[\mu\text{m}]$	opotřebení břítu
VBD	[-]	výměnná břitová destička
α	$[10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}]$	koeficient délkové roztažnosti
λ	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	měrná tepelná vodivost
ρ	$[\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$	měrná hmotnost (hustota)
τ	[-]	součinitel
σ_B	[MPa]	pevnost v ohybu

PŘÍLOHA: Porovnání keramických druhů jednotlivých výrobců¹⁵

Složení	Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ + ZrO ₂	Al ₂ O ₃ + TiC	Al ₂ O ₃ + TiCN	Si ₃ N ₄	Si ₃ N ₄ + povlak	whisker
Výrobce							
Sandvik Coromant	-	CC620	CC650	-	CC690	GC1690	CC670
Toshiba Tungaloy	LXA	-	LX21	LX11	FX105	TF110	-
Iscar	IN11	-	IN23	IN22	IS8	-	-
NGK Spark Plug	CX3	HC1	HC2 HC5	HC4	SX1 SX2 SX8	SP2	WA1
Saint Gobain	DISAL100	DISAL210	DISAL310	-	DISAL400	-	-
Ceramtec	SN56	SN60 SN76 SN80	SH20 FH3	SH1	SL100 SL150 SL250 SL500	SL250C	-
Kennametal	AC5	K060	K090 MC2 MC3	-	NC KY2000 KY3000 KY3500	KY3400	KY4000
Agi VR/Wesson	VR97	-	VR100	-	VR200	-	-
HH Tools	-	CZ200	CT100	CT300	CN300	-	-