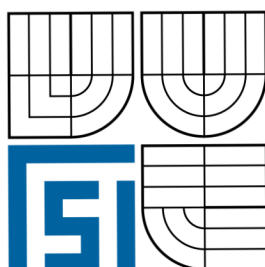


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VÍT KAVALÍR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ANTON HUMÁR, CSc.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Vít Kavalír

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

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

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

Řezná keramika a její efektivní využití

v anglickém jazyce:

Cutting ceramics and its effective use

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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

Cíle diplomové práce:

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

Seznam odborné literatury:

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. BROOKES, K.J.A. Hardmetals and other Hard Materials. Second Edition. Shrewsbury, England: European Powder Metallurgy Association, 1992. 198 p. ISBN 0 9508995 3 4.
3. BROOKES, K.J.A.: World Directory and Handbook of Hardmetals and Hard materials. Sixth Edition. East Barnet Hertfordshire, United Kingdom: International Carbide Data, 1996. 220+528 p. ISBN 0 9508995 4 2.
4. ČSN-ISO 3685: Zkoušky trvanlivosti při soustružení jednobřítým nástrojem. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993.
5. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing s. r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2006. [online]. Dostupné na World Wide Web: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v_2.pdf.
7. HUMÁR, A., PÍŠKA, M. Materiály pro řezné nástroje. MM Průmyslové spektrum - Speciální vydání. Zář 2004. ISSN 1212-2572., s. 84-96.
8. KOČMAN, K. Speciální technologie obrábění. Druhé přepracované a doplněné vydání. Brno: PC-DIR Real, s.r.o. 1998, 213 s. ISBN 80-214-1187-2.
9. Technické materiály a prospekty firem Ceramtec, Ceratizit, Iscar, Kennametal, Mitsubishi, Saint Gobain Advanced Ceramics, Sandvik Coromant, Seco, Walter, Widia.

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 18.11.2008

L.S.

doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá řeznou keramikou a jejím efektivním využitím. První část je zaměřena na obecnou charakteristiku řezné keramiky, její historii a vývoj, jednotlivé druhy a výrobu. Tato část se zabývá i mechanicko-fyzikálními vlastnostmi a možným použitím v obrábění. Druhá část je zaměřena na obecné hodnocení řezivosti řezných nástrojů. V další části následuje seznámení se sortimentem řezné keramiky vybraných světových výrobců. Čtvrtá část se zabývá vyhodnocením a porovnáním pracovních podmínek na jednotlivých druzích obráběného materiálu. Technicko-ekonomické hodnocení ukazuje, jak teoreticky snížit celkové výrobní náklady.

Klíčová slova

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

ABSTRACT

Master's thesis are concerned with the cutting ceramic materials and its effective usage. The first part of the thesis is focused on the general properties of the cutting ceramics, its history, development, production and description of the various types. This part includes as well a description of the mechanic-physical properties and the potential of the usage for machining. The second part of the work solves the general evaluation of the cutting power. The main issue in the next part is the identification of cutting ceramics range and the selection according to main world producers. The fourth part deals with the assessments and the comparison of the working conditions for different types of the machined materials. The technical economic assessment shows the potentials in the total production costs reduction.

Key words

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

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KAVALÍR, V. *Řezná keramika a její efektivní využití*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 56 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Anton Humár, CSc.

PROHLÁŠENÍ

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

24.5.2009

.....
Bc. Vít Kavalír

PODĚKOVÁNÍ

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

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH	6
ÚVOD	8
1 CHARAKTERISTIKA	10
1.1 Historie řezné keramiky	10
1.2 Rozdělení a značení	11
1.3 Výroba	11
1.3.1 Oxidová keramika	12
1.3.2 Nitridová keramika	13
1.3.3 Sialonová keramika	14
1.3.4 Vyztužená keramika	15
1.4 Fyzikální a mechanické vlastnosti řezné keramiky	15
1.4.1 Křehkost	16
1.4.2 Pevnost	17
1.4.3 Tvrdost	19
1.4.4 Teplotní vlastnosti	19
1.4.5 Zlepšení vlastností	19
1.5 Použití řezné keramiky v oblasti obrábění	20
1.5.1 Soustružení	21
1.5.2 Frézování	23
1.5.3 Použití oxidové keramiky	23
1.5.4 Použití nitridové keramiky	24
2 HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI NÁSTROJE	25
2.1 Metody vyhodnocení řezivosti nástroje	26
3 VÝZNAMNÍ SVĚTOVÍ VÝROBCI ŘEZNÉ KERAMIKY	28
3.1 CeramTec	28
3.1.1 Řezná oxidová keramika	28
3.1.2 Řezná nitridová keramika	29

3.2 Sandvik – Coromant	30
3.2.1 Řezná oxidová keramika	30
3.2.2 Řezná nitridová keramika	31
3.2.3 Řezná vyztužená keramika	32
3.3 Kennametal	32
3.3.1 Řezná oxidová keramika	32
3.3.2 Řezná nitridová keramika	33
3.3.3 Řezná vyztužená keramika	34
3.4 ISCAR	34
3.4.1 Řezná oxidová keramika	35
3.4.2 Řezná nitridová keramika	35
3.5 Saint-Gobain Advanced Ceramics, s.r.o., Turnov	36
3.5.1 Řezná oxidová keramika	37
3.5.2 Řezná nitridová keramika	37
4 DOPORUČENÉ PRACOVNÍ PODMÍNKY PRO EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ ŘEZNÉ KERAMIKY	39
4.1 Obrábění ocelí	39
4.1.1 Obrábění běžných ocelí	39
4.1.2 Obrábění kalených ocelí	40
4.2 Obrábění litin	41
4.2.1 Obrábění šedých litin	41
4.2.2 Obrábění tvárných litin	42
4.2.3 Obrábění temperovaných litin	43
4.2.4 Obrábění tvrzených litin	44
4.3 Obrábění žáruvzdorných materiálů	45
5 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	47
ZÁVĚR	50
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	52
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	56

ÚVOD

Obrábění je technologický proces, při kterém se vytváří požadovaný tvar daného obrobku v požadovaných rozměrech a v daném stupni přesnosti. Lze to provádět na strojích, které jsou k dané operaci nejvhodněji použitelné (soustruhy, frézky, vrtačky atd.), dále se může jednat o ruční operace (pilování, zaškrabávání, broušení apod.).

Obráběcí stroje jsou vybaveny řeznými nástroji. Většina moderních řezných nástrojů je opatřena vyměnitelnými břitovými destičkami z různých řezných materiálů. Mezi základní řezné materiály, které se v poslední době nejvíce používají, patří slinuté karbidy, keramické řezné materiály, cermety, řezné materiály z diamantu a kubického nitridu bóru.

Slinuté karbidy patří mezi materiály vyrobené práškovou metalurgií. Vyrábí se z různých karbidů a pojiv. Nejčastěji se používá karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC) a karbid tantalu (TaC). Jako pojiva se využívá ve většině případů kobaltu (Co). Jedná se o nejpevnější materiál mezi tvrdými nástrojovými materiály, díky čemuž může být použit pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi a může být použit i pro těžké přerušované řezy. Nevýhodou je jeho nižší stabilita za vysokých teplot, se vzrůstající teplotou klesá tvrdost a pevnost, proto nemůže být použit pro vysoké řezné rychlosti. Pro podstatné zvýšení výkonnosti slinutých karbidů se používá povlakování. Jedná se o metody povlakování CVD (Chemical Vapour Deposition), PVD (Physical Vapour Deposition) a MTCVD (Middle Temperature CVD).

Řezná keramika je materiál vyrobený taktéž práškovou metalurgií. Jedná se buď o keramiku oxidovou, vyrobenou na bázi Al_2O_3 a nebo o nitridovou, vyrobenou na bázi nitridu křemíku Si_3N_4 . Keramika na bázi oxidu hlinitého má vysokou tvrdost a vynikající chemickou odolnost za vysokých teplot, proto je vhodná k obrábění vysokými řeznými rychlostmi, ale nižšími posuvovými rychlostmi, kvůli nižší houževnatosti. Kdežto keramika na bázi nitridu křemíku má vyšší houževnatost, proto umožňuje obrábění posuvovými rychlostmi vyššími. Keramika je vhodná především k obrábění šedých litin, u ocelí a tvárných litin vykazuje větší opotřebení.

Cermet je sloučenina slov CERamic – METal tzn. jedná se o keramické částice v kovovém pojivu. Jedná se o tvrdý řezný materiál, kde tvrdá složka je tvořena karbidem titanu (TiC), karbonitridem titanu (TiCN), nebo např. nitridem titanu (TiN). Cermety jsou používány většinou v oblastech lehkého a středního obrábění, jelikož se při vyšších posuvových rychlostech, kvůli jejich nižší tepelné vodivosti, začíná koncentrovat teplo v oblasti špičky břitu nástroje, což může vést k plastickému porušení břitu nástroje. Cermety mají dobré uplatnění v obrábění korozivzdorných ocelí.

Kubický nitrid bóru (KNB) je řezný materiál s velmi tvrdou strukturou. Vyniká vysokou odolností vůči abrazivnímu opotřebení i za extrémních teplot ($2000^\circ C$) a dobrou chemickou stabilitou. Jeho tvrdost se pohybuje okolo 4000 až 5500 HV, což je mnohem více, než tvrdost kteréhokoliv karbidu kovu. Na vyměnitelné břitové destičce ze slinutého karbidu se buď vyskytuje jako tenká vrstvička o tloušťce několik málo mikrometrů, nebo tvoří pouze špičku břitové destičky.

Může se vyskytovat i ve formě malé kompaktní destičky, která je nalisována na VBD ze slinutého karbidu. Používá se k obrábění kalených ocelí, tvrdých litin a žáruvzdorných materiálů.

Monokrystalický diamant je nejtvrdší materiál, který se v přírodě vyskytuje. Svou tvrdostí se mu přibližuje syntetický polykrystalický diamant (PKD). Tvrdost PKD se přibližně rovná hodnotám 6000 až 10000 HV. PKD se vyrábí slinováním při teplotách nad 1500°C za vysokého tlaku 5 až 8 GPa. Břity z PKD jsou pevně uchyceny na vyměnitelných břitových destičkách ze slinutých karbidů. Je doporučován zejména pro obrábění slitin hliníku.

Je jasné, že neexistuje žádný univerzální materiál, ze kterého by se vyrobil takový řezný nástroj, se kterým by bylo možné obrábět všechny druhy materiálů, bez ohledu na technologii obrábění. Pro správné a efektivní využití nástrojových materiálů je proto třeba podrobněji znát jejich mechanické a fyzikální vlastnosti.

1 CHARAKTERISTIKA

Keramika je obecně definována jako: „Převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru“¹⁹. V této definici jsou obsaženy materiály jako běžná keramika (porcelán, cement, cihly), brousící materiály a řada tzv. „nových“ keramických látek (oxidová keramika, ferity, feroelektrika, nitridy, karbidy, boridy a další).¹⁸

Nová keramika je vyráběna z velmi čistých surovin. V keramických látkách se vyskytují meziatomové vazby iontové a kovalentní, obvykle oba typy současně. Převažují zde složité krystalické mřížky kubické a hexagonální. Většina látek, které se řadí mezi tzv. novou keramiku, jsou látky krystalické. Nevyskytuje se v nich skelná fáze jako u keramiky tradiční.¹⁹

Pojmem řezná keramika se rozumí řezný materiál, který se používá především na obrábění velmi tvrdých materiálů a tento řezný materiál umožňuje i vysokorychlostní obrábění, kde odolává vysokým teplotám.³⁵

1.1 Historie řezné keramiky

Již v době kamenné a dlouho poté se používaly keramické nástroje ve formě bloků pískovce, které obsahovaly velké množství mikroskopických břitů z SiO_2 . Byly používány např. na broušení nožů, břitev, mečů a dalších nástrojů.

První komerčně dostupný keramický nástroj vyvinula německá firma Degussa v období druhé světové války pod označením „Degussit“. Tento materiál byl na bázi Al_2O_3 . Degussit byl vodítkem pro spoustu výrobců po celém světě, avšak vzhledem k vysoké křehkosti byly aplikační operace omezeny pouze na nepřerušované řezání (zhruba do konce 50. let 20. století).

Tab.1.1 Vývoj keramických materiálů na bázi Al_2O_3 ¹⁸

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

Koncem 50. let byla uvedena na trh keramika typu $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiC}$ (vysokoteplotně lisovány až koncem 70. let), která značně zlepšila odolnost proti vydrolování, vzrostla ohybová pevnost a lomová houževnatost. Tento typ keramiky se významně podílel na vstupu keramických materiálů na trh s řeznými materiály.

V 80. letech byl vyvinut kompozit Al_2O_3 vyztužený vlákny SiC (whiskery), kde se až dvojnásobně zvýšila lomová houževnatost (přibližně $9 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$) a vzrostla výrazně i odolnost proti vydrolování ostří. Výsledkem jsou materiály, které mají vysoké řezné výkony při obrábění superslitin, kde u řezných materiálů hrozí právě vydrolování a vylamování ostří.¹⁸

1.2 Rozdělení a značení

Pro řeznou keramiku není předepsaná žádná konkrétní norma. Používá se následující dělení podle chemického složení a vlastností:¹⁹

- oxidová keramika
 - čistá
 - polosměsná
 - směsná
- nitridová keramika

Tab.1.2 Značení keramiky

<i>Typ keramiky</i>	<i>Chem. základ</i>	<i>Značení dle ČSN ISO 513</i>	<i>Příklad</i>
čistá	Al_2O_3	CA	
polosměsná	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	CA	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$
směsná	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	CM	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Ti}(\text{C},\text{N})$ $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{TiN}$ $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$
nitridová	Si_3N_4	CN	$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$ $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN}$

Většinu keramik lze povlakovat metodou CVD i PVD a vyrábět s vyztužujícími vlákny. Dle normy ČSN ISO 513 se povlakovaná keramika značí symbolem CC.¹⁸

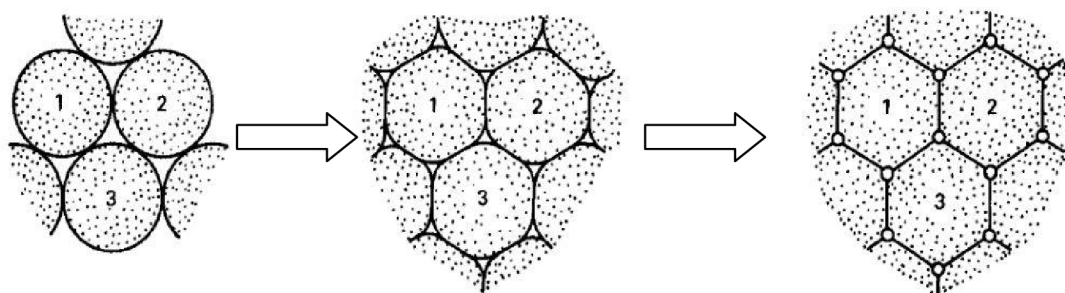
1.3 Výroba

Výrobní postup pro zhotovení keramických materiálů, např. vyměnitelných břitových destiček (dále už jen VBD), se velmi podobá postupům pro zhotovení součástí ze slinutých karbidů (dále už jen SK) a cermetů. Rozdílné je to, že keramika neobsahuje žádný pojivý materiál, který by spojil zrna tvrdých fází v jednotné těleso, jak je tomu například u SK (pojivem je kobalt) nebo u cermetů (pojivem je hlavně nikl).

Základní kroky při výrobě keramických materiálů jsou:

- 1) úprava práškového materiálu;
- 2) tvarování (lisování, suspenzní lití, vytlačování, vstřikováním);
- 3) sušení;
- 4) slinování (jedná se o zahřívání tvarovaných keramických dílů na dostatečně vysokou teplotu);
- 5) konečná úprava (např. broušení, povlakování PVD a CVD).

Práškový materiál se upravuje obvykle nejprve aglomerací, to znamená, že se částice keramického prášku společně s přísadami smísí za sucha, nebo i za mokra. Upravené prášky se lépe tvarují. Tvarování probíhá za horka nebo za studena, což je nejběžnější postup. Sušení keramiky se provádí při teplotách do 100°C za účelem odstranění těkavých složek, které by mohly narušit vzniklou strukturu dílce po slinování a povrch by mohl popraskat. Tento proces může trvat i více než 24 hodin. Slinování je proces zhuštění materiálu. Jedná se o nejdůležitější operaci postupu výroby keramiky. Provádí se při vysokých teplotách, zhruba při 0,5÷0,9 bodu tání materiálu. Z mikroskopického hlediska se původní kulovitá zrna k sobě spojí, pomocí difúzních mechanismů se v místech dotyku postupně vytváří tzv. krčky, které se rozšiřují a uzavírají póry, které by v ideálních případech měly vymizet (Obr. 1.1).



Obr. 1.1 Fáze slinovacího procesu ¹⁷

Vlastnosti všech keramik je možné zlepšit technologií vysokoteplotního izostatického lisování, zkratka HIP (Hot Isostatic Pressing). Při této technologii, dochází v tlakové nádobě ke spékání a zároveň na součást působí tlak ve všech směrech. U klasického vysokoteplotního lisování působí tlak pouze v jednom směru. HIP lze provést dvěma postupy. Buď lze provést tzv. pouzdrová metoda, u které se výchozí prášek uloží a odplyní do nerozpustné kapsle (ze skla, měkké oceli, korozivzdorné oceli atd.), a nebo se předem připravený, relativně hutný materiál slinuje bez použití kapsle. Výhodou první metody je celkem snadná výroba hutného materiálu, ale naopak nevýhodou jsou docela složité pomocné procesy (formování kapsle, odplynění, odstranění kapsle po HIP atd.). Druhá metoda je vysoce produktivní, ale těleso musí být předem slinuto na vysokou hustotu. Metodou HIP se snížila cena výroby (hlavně velkosériové), zvýšila se produktivita a mechanické vlastnosti keramiky. ^{17, 34, 28, 21}

1.3.1 Oxidová keramika

Oxidové keramiky se vyrábějí z velmi čistého a jemnozrného oxidu hlinitého – Al_2O_3 . Aby bylo při slinovacím procesu zabráněno růstu zrn, přidávají se malá množství pomocných látek, které tento růst mají zastavit. Jako pomocné látky se nejčastěji používají oxidy zirkonia, yttria, chromu, titanu, niklu atd. a také karbidy těžkovatelných kovů jako je wolfram a titan.

Následuje tradiční postup: mokré semletí, vysušení a pak možné lisování prášku např. na automatických lisech. Obvykle se používá obousměrné lisování, aby bylo zaručeno lepší zhuštění materiálu. Někdy se ještě před lisováním mo-

hou přimíchat různé přísady, které zlepší tečení prášků, snižují tření při lisování, což vede k rovnoměrnějšímu zaplnění formy. Velmi často jsou vylisovány tyče, které mají průřez budoucí keramické destičky. Tyto tyče jsou pak rozřezány na jednotlivé kusy VBD pomocí diamantové okružní pilky. Následuje slinovací proces ve speciálních pecích a konečná úprava výrobku.

Tab.1.3 Vliv HIP na mechanické vlastnosti keramik ³¹

Vlastnost	Al ₂ O ₃		ZrO ₂		Si ₃ N ₄	
	Před HIP	Po HIP	Před HIP	Po HIP	Před HIP	Po HIP
Relativní hustota [%]	97,5	99,8	98,3	99,7	95,7	99,7
Tvrдость [HRA]	93,0	93,7	90,0	91,0	92,5	93,5
Ohybová pevnost [MPa]	490	735	980	1568	980	1176
Lomová houževnatost [MPa.m ^{1/2}]	3,0	3,5	7,5	8,0	7,0	7,5

1.3.2 Nitridová keramika

Hlavní složkou tohoto typu keramiky je nitrid křemíku – Si₃N₄. Vyskytuje se v krystalové modifikaci fáze α a ve fázi β, která má stabilitu za vysokých teplot. V mikrostruktuře α-Si₃N₄ se vyskytují rovnoosé krystaly stejného tvaru, v mikrostruktuře β-Si₃N₄ je jemnozrná matrice a v ní rozptýlené protáhlé krystaly fáze β.

Slinovací proces nitridu křemíku v atmosférickém tlaku je daleko obtížnější než u oxidových keramik. Kovalentní vazba této keramiky zabraňuje procesu samodifúze a to zabraňuje dosažení teoretické hustoty materiálu. Vyšší teplota by tento proces aktivovala, ale při tak vysoké teplotě se již materiál začíná rozkládat. Proto se přidávají různé oxidy kovů jako příměsi, které v průběhu ohřevu spolu s nitridem křemíku vytvářejí tekutou fázi a ta urychluje přemístování hmoty.

Druhy nitridu křemíku rozdělené podle způsobu výroby kompaktního tělesa: ¹⁸

a) Reaktivně vázaný nitrid křemíku – RBSN

Reaktivně vázaný nitrid křemíku se vyrábí z práškového křemíku přímou reakcí s dusíkem při teplotách 1200 až 1600 °C. Nejprve se připraví kompaktní těleso z prášku křemíku (např. lisováním, litím, vstřikováním atd.) a pak následuje nitridace. Tento proces může trvat i několik dní a musí být pečlivě řízen, aby nedošlo k tavení křemíkových částic. Nitrid křemíku se zde vyskytuje ve dvou krystalografických formách, převážně ve formě α-Si₃N₄ a v menší části β-Si₃N₄. Smrštění při nitridaci je poměrně malé, neboť se původní póry v křemíkovém tělese částečně zaplní nitridovou fází.

Reaktivně vázaný Si₃N₄ má pórovitou strukturu s hustotou menší než 85% teoretické hustoty, ale díky velké čistotě materiálu má poměrně vysokou pevnost.

Výhodou této metody výroby nitridu křemíku je neomezený tvar výrobku a při slinovacím procesu jeho velmi malé změny rozměrů.

b) Slinutý nitrid křemíku – SSN

Slinutý nitrid křemíku se vyrábí slinováním společně se zhutňovacími přísadami, zejména s oxidem hořečnatým – MgO. Další možné přísady jsou např. Al_2O_3 , Y_2O_3 a jejich směsi a zkoušejí se oxidy známých zemin. Obsah těchto přísad je 7 až 15 obj. %. Slinuje se při teplotách 1600 až 1800 °C v dusíkové atmosféře o tlaku 1 až 10 MPa. Zhutňování pomocí MgO je založeno na vytvoření teklé fáze $\alpha\text{-Si}_3\text{N}_4$, která po ochlazení ztuhne na $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$. Mezi zrny Si_3N_4 je zachována skelná fáze.

Takto vytvořený materiál má sice vysokou hustotu, ale vzhledem k množství přísad mohou být zhoršeny některé mechanické vlastnosti. Velkou výhodou tohoto typu výroby je možnost beztlakového slinování a tím i možnost produkovat výrobky neomezených tvarů.

c) Nitrid křemíku lisovaný za vysokých teplot – HPSN

Práškový nitrid křemíku je za horka lisován v dusíkaté atmosféře o tlaku 15 až 50 MPa při teplotách 1550 až 1900 °C. Používají se opět zhutňující přísady v množství okolo 2 až 3 obj. % např. MgO, Al_2O_3 , Y_2O_3 . Tato metoda lisování tedy potřebuje mnohem menší množství přísad než běžné slinování.

Hlavní fází u této metody je $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$, proto se tato keramika vyznačuje vysokou hustotou s vysokými hodnotami mechanických vlastností. Ovšem vyšší obsah kapalné fáze zvyšuje křehkost a omezuje mechanické vlastnosti za vysokých teplot. Nevýhodou je složitější výroba, omezený tvar výrobků, potíže vyrábět více kusů současně, izolace od stěn grafitové formy atd.

d) Nitrid křemíku vyrobený metodou HIP

HIP – vysokoteplotní izostatické lisování je metoda, kdy je těleso slinováno za přítomnosti všestranného vysokého tlaku až 200 MPa. Nejčastěji se jako pracovní plyn používá argon nebo dusík. Dusík potlačuje tepelný rozklad materiálu, proto je jeho použití výhodné u slinování výrobků z nitridu křemíku bez pouzder.

Výchozí materiál před použitím metody HIP musí být obalený nepropustnou vrstvou materiálu (kvůli pórovitosti). Tato vrstva zabraňuje plynu vniknout do pórů. Nejčastěji se užívá sklo, skelné nebo keramické prášky. Po ukončení procesu je třeba vytvořenou vrstvu odstranit, což se provádí chemickou cestou nebo pískováním.

Výhodou této technologie výroby Si_3N_4 je, že umožňuje produkovat výrobky s menším obsahem přísad, a tím je vytvořena lepší mikrostruktura. Výrobky neobsahují tolik mikrostrukturních defektů, což má pozitivní vliv na mechanické vlastnosti.

1.3.3 Sialonová keramika

Sialonové keramiky jsou nitridové keramiky s proměnlivým obsahem oxidů. V krystalové struktuře nitridu křemíku Si_3N_4 může být křemík Si^{4+} nahrazen

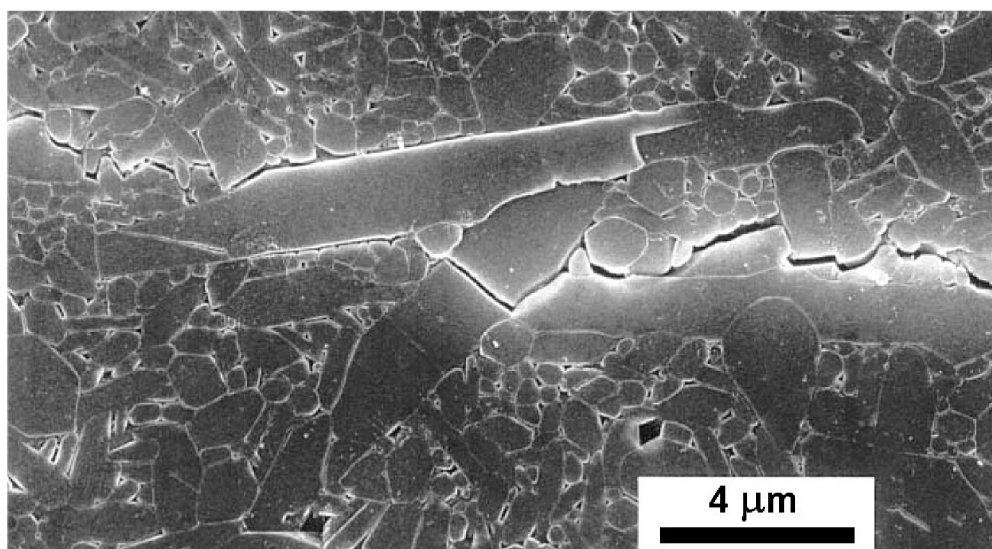
hliníkem Al^{3+} a dusík N^{3-} nahrazen kyslíkem O^{2-} . V α -sialonech je více nahrazen křemík hliníkem než dusík kyslíkem, proto zde musí dojít k doplnění kationů z jiných prvků (např. Ca, Mg, Li, Ce nebo Y). U β -sialonů je poměr nahrazení křemíku a dusíku stejný, proto nejsou zapotřebí žádné kationy na doplnění. Tímto nahrazováním lze ovlivňovat výslednou strukturu materiálu a tím i mechanické vlastnosti, zejména tvrdost a lomovou houževnatost. ³⁹

1.3.4 Vyztužená keramika

Tyto keramiky se vyrábějí tak, že se do základní matrice keramiky (oxidové, nitridové, sialonové) přidávají zpevňující vlákna SiC (Whiskery), popř. vlákna Si_3N_4 . Základními parametry whiskerů jsou jejich délka l , průměr d , štíhlostní poměr l/d a hlavně jejich množství v matrici, které významně ovlivňuje výsledné mechanické vlastnosti výrobku. ³⁹

Mechanismy zpevnění ¹⁷:

- Odklon a ohyb trhliny (obr. 1.2)
- Přemostění trhliny a zaklínění lomu vlákny
- Mikrotrhlinkování
- Transformační zpevnění



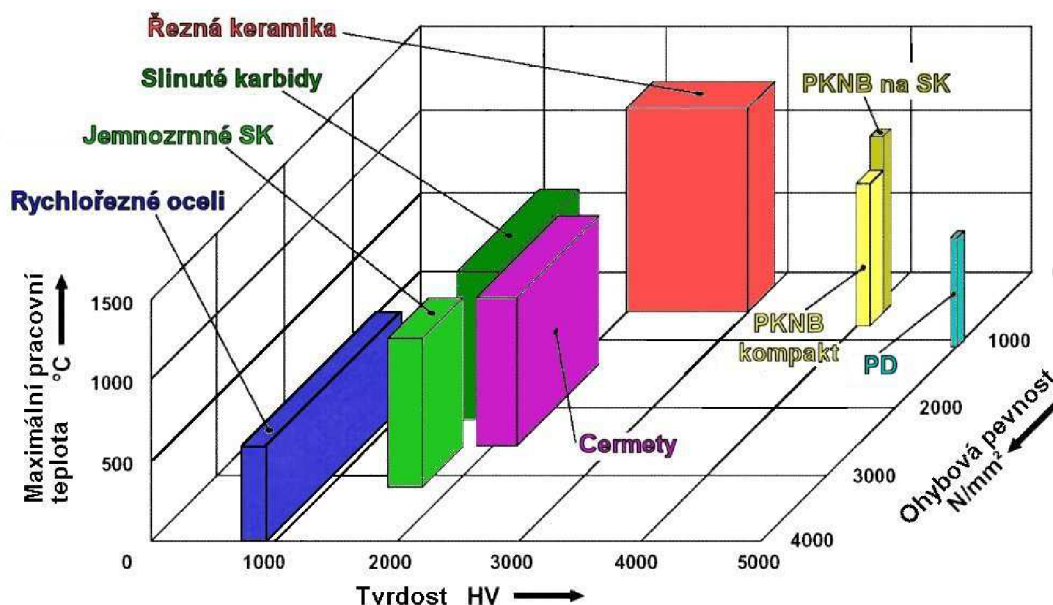
Obr. 1.2 Odklon směru šíření trhliny ¹⁷

1.4 Fyzikální a mechanické vlastnosti řezné keramiky

Fyzikální a mechanické vlastnosti keramiky závisí na její struktuře (velikost zrn, póry, hranice zrn, stejnoměrnost atd.), a zejména na meziatomových vazbách, které jsou iontové, kovalentní, a nebo kombinované. Výrobci řezné keramiky usilují o výrobu keramiky se strukturou, kde je malá velikost zrn, úzké spektrum rozdělení zrn a homogenita materiálu.

Řezná keramika má oproti kovům vysokou tvrdost, pevnost v tlaku, vysoký modul pružnosti a menší hustotu materiálu. Dále se keramika vyznačuje výjimečnými vlastnostmi i oproti slinutým karbidům, což je např. vysoká tepelná odolnost,

stálá pevnost v ohybu i za vysokých teplot, chemická stálost a odolnost proti opotřebení³⁰. Porovnání některých mechanických vlastností s ostatními řeznými materiály jsou uvedena na obr. 1.3.



Obr. 1.3 Porovnání mechanických vlastností řezných materiálů¹⁷

1.4.1 Křehkost

Křehkost je jedna z nejnepříjemnějších vlastností keramiky. Ta se není schopna plasticky deformovat, proto se porušuje nejčastěji křehkým lomem s malou absorpcí energie. Důvodem mohou být póry obsažené ve struktuře, a nebo nedokonalé slinutí. Oproti kovům jí chybí tvárnost a má nízkou lomovou houževnatost, kterou lze vyjádřit ze zkoušky tvrdosti dle Vickerse (viz. vzorec 1.1):

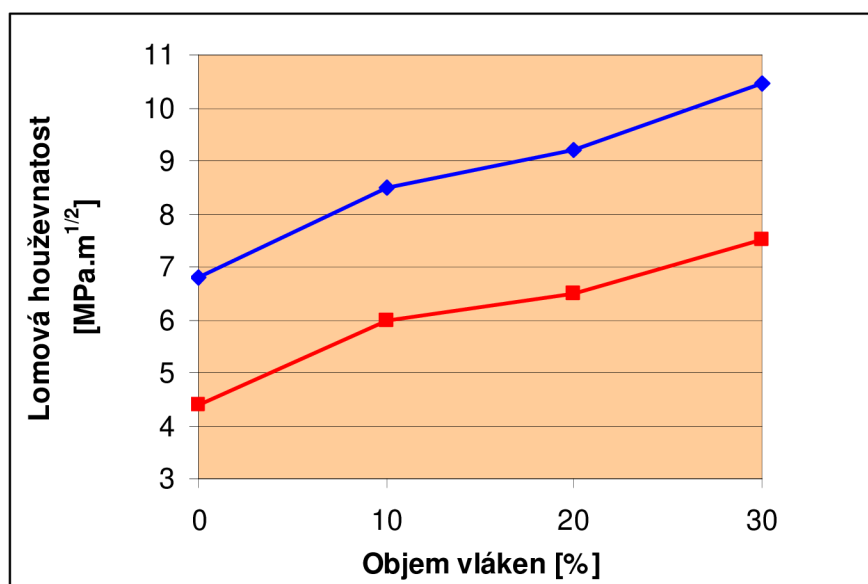
Vyjádření lomové houževnatosti¹⁸:

$$K_{IC} = 1,99 \cdot \left(\frac{c}{a}\right)^{-1,5} \cdot \left(\frac{a}{1000}\right)^{0,5} \cdot H_v \quad [\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}], \quad (1.1)$$

kde: a [mm] je polovina úhlopříčky vtisku,
 c [mm] je polovina délky trhliny,
 H_v [MPa] je tvrdost podle Vickerse.

Další možné příčiny křehkého chování keramiky¹⁸:

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

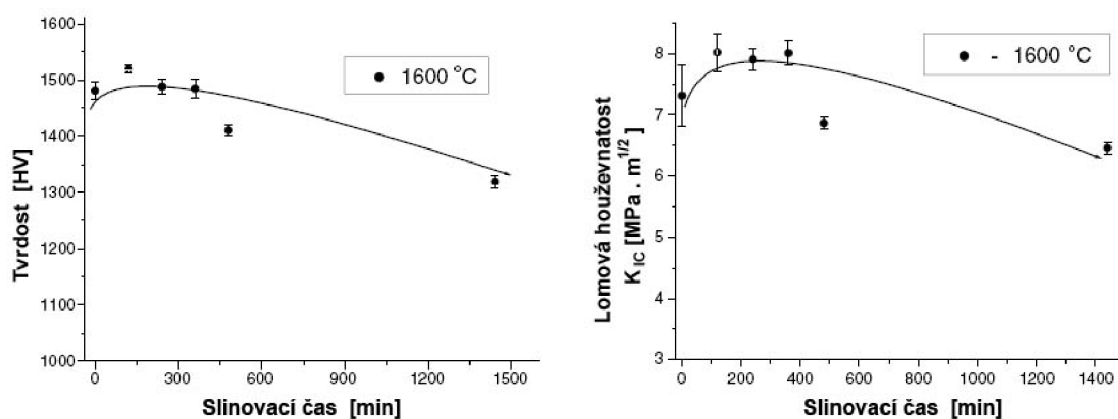
Obr. 1.4 Vliv objemu vláken SiC na lomové houževnatosti ¹⁷

červená křivka – Al₂O₃+20% ZrO₂+SiCw

modrá křivka - Al₂O₃+SiCw

Z obr. 1.4 je zřejmé, že se zvyšujícím se obsahem zpevňujících vláken SiC (Whiskery) se zvyšuje hodnota lomové houževnatosti.

S lomovou houževnatostí souvisí i doba slinování. Na obr. 1.5 je vidět, jak u keramického kompozitu ZrO₂ + Al₂O₃ s delší dobou slinování lomová houževnatost z počátku roste, ale po uplynutí hodnoty přibližně 300 min houževnatost klesá. To je způsobeno tím, že se zvyšujícím se časem slinování roste i velikost zrn v mikrostruktuře. ¹²

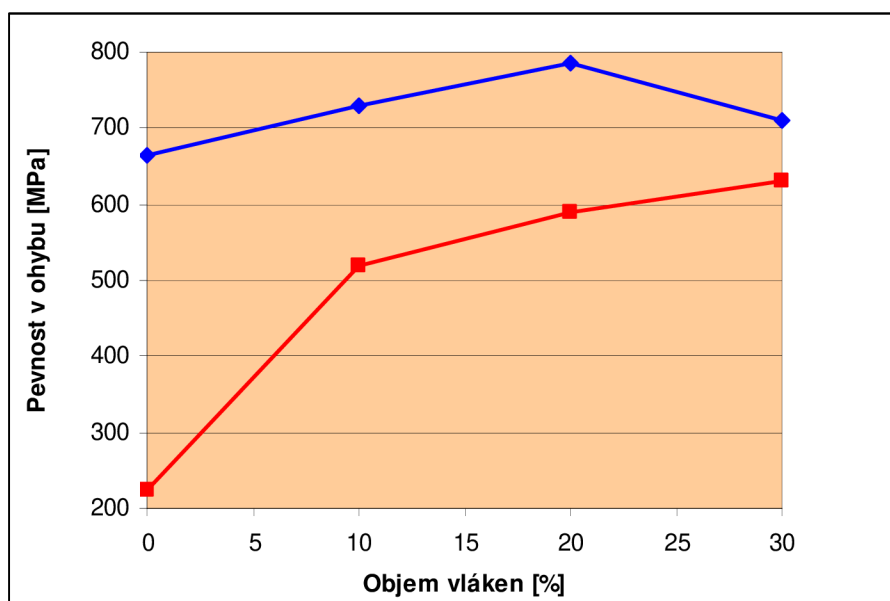
Obr. 1.5 Závislosti tvrdosti a lomové houževnatosti na čase slinování ¹²

1.4.2 Pevnost

Jelikož jsou keramické materiály křehké, měření pevnosti v tahu se u nich většinou neudává. Vedlo by to totiž k velkému rozptylu naměřených hodnot z důvodu obtížného kontrolování velikosti trhliny.

Pevnost v ohybu je taktéž závislá na velikostech trhlin, ale naměřené hodnoty už nemají tak velký rozptyl. Velký vliv zde má i zrnitost. Německý výrobce Feldmühle (nyní firma CeramTec) provedl srovnávací test (od roku 1957 do roku 1972), jak se měnila ohybová pevnost u jeho druhů keramiky v závislosti na velikosti zrna (obr. 1.7). Z obrázku je zřetelně vidět, že se zmenšující se velikosti zrna pevnost v ohybu rostla. Podobně jako u ostatních materiálů, ohybová pevnost keramiky s rostoucí teplotou klesá. Oproti kovům má sice za studena hodnotu pevnosti nižší, ale tuto hodnotu si keramika zachovává i za vysokých teplot.^{18, 30}

Pevnost v tlaku je u keramiky daleko lépe vykazující vlastností, zde povrchové trhliny nemají tak velké vlivy.

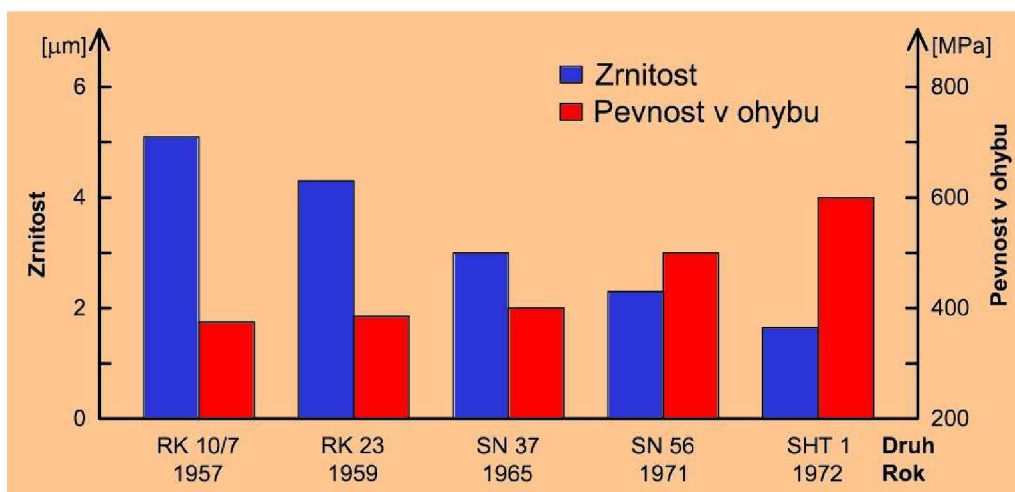


Obr. 1.6 Vliv objemu vláken SiC na ohybové pevnosti¹⁷

červená křivka – Al₂O₃+20% ZrO₂+SiCw

modrá křivka - Al₂O₃+SiCw

Z grafu je zřejmé, že se zvyšujícím se obsahem zpevňujících vláken Sic (Whiskery) se zvyšuje hodnota ohybové pevnosti.



Obr. 1.7 Vliv velikosti zrna na ohybové pevnosti¹⁹

1.4.3 Tvrdost

Tuto vynikající vlastnost si keramika udržuje i za vysokých teplot (až 1200°C). Díky této vlastnosti se s řeznou keramikou dosahují řezné rychlosti až 1600 m.min⁻¹. Vysoká tvrdost vykazuje i další dobrou vlastnost, kterou je odolnost proti opotřebení.³⁰

S tvrdostí taktéž souvisí doba slinování, podobně jak je tomu u lomové houževnatosti. Z počátku slinování tvrdost naroste, ale po nějakém časovém úseku hodnota tvrdosti klesá. Na obr. 1.5 jsou znázorněny závislosti pro keramický kompozit ZrO₂ + Al₂O₃.

1.4.4 Teplotní vlastnosti

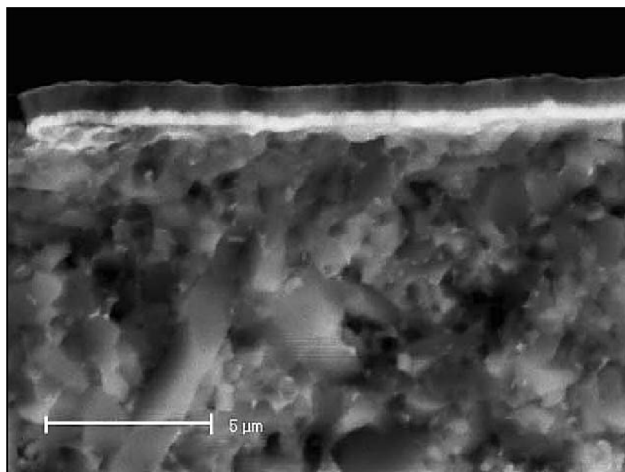
Jak již bylo řečeno, keramické materiály mají vysokou tvrdost i za vysokých teplot. Oxidová keramika patří k nejstabilnějším, je charakteristická vysokou hodnotou pevnosti a na vzduchu chemickou stálostí. Proto mají tyto řezné materiály dobrou odolnost proti difúznímu opotřebení. Podobné je to u keramik na bázi nitridu křemíku. Tato keramika navíc při obrábění vysokou řeznou rychlostí může na některých obrobkách vyrobených z ocelových materiálů reagovat za vzniku silicidu železa. Odolnost proti tepelným rázům lze vyjádřit vztahem 1.2¹⁹:

$$O_T = \frac{\lambda \cdot R_m}{\alpha \cdot E}, \quad (1.2)$$

kde: λ [W.m⁻¹.K⁻¹] je měrná tepelná vodivost,
 R_m [MPa] je pevnost v tahu,
 α [10⁻⁶.K⁻¹] je součinitel délkové roztažnosti,
 E [GPa] je modul pružnosti v tahu.

1.4.5 Zlepšení vlastností

Zlepšení mechanických vlastností řezné keramiky lze provést metodou povlakování PVD a CVD. Vzniklá vrstva dodá keramické destičce vyšší tvrdost, vyšší odolnost proti opotřebení a vyšší odolnost proti šíření trhlin. Ukázka povlakované keramiky je na obrázku 1.8.



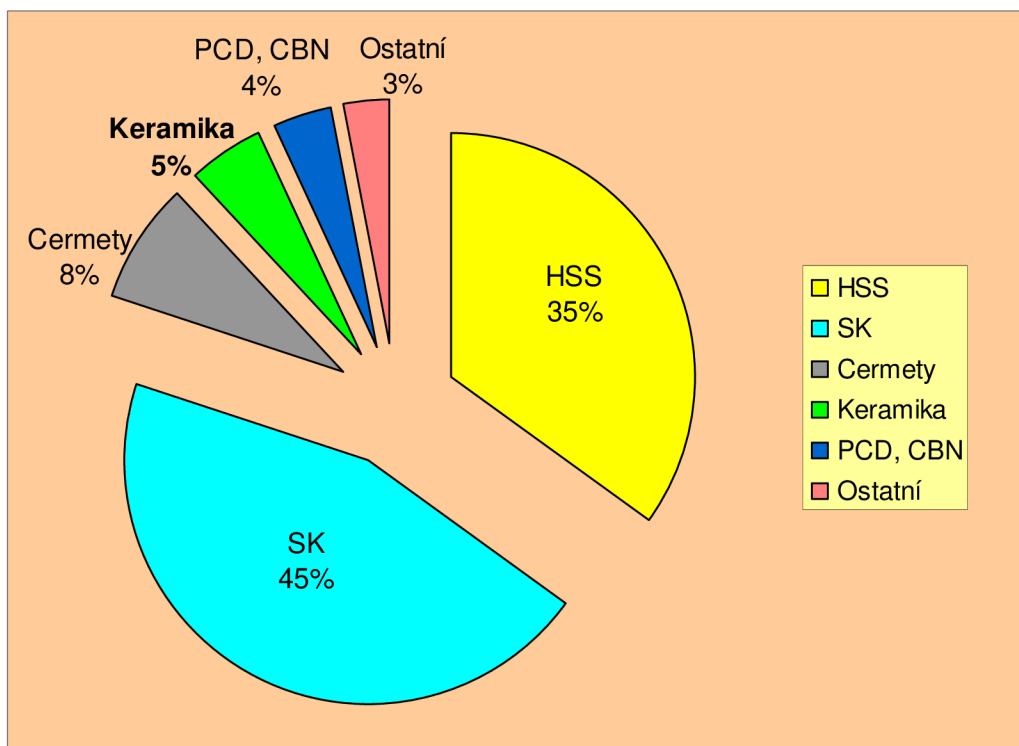
Obr. 1.8 Keramika Si₃N₄ s povlakem TiN + Al₂O₃ + TiN¹⁴

1.5 Použití řezné keramiky v oblasti obrábění

Řezná keramika se řadí do skupiny netradičních řezných materiálů. Je využívána ve 4-5% z celkového objemu řezných materiálů na celém světě. Porovnání s ostatními řeznými materiály je patrné z obrázku 1.9.

Nasazení těchto výkonných řezných materiálů ve strojírenské výrobě pro efektivní využití vyžaduje dodržení určitých zásad. Nejedná se pouze o správnou volbu řezných podmínek, ale existují zde i jiné ovlivňující faktory, které mohou mít vliv na toto využití. Pro efektivní využití by měly být splněny náležitosti ¹¹:

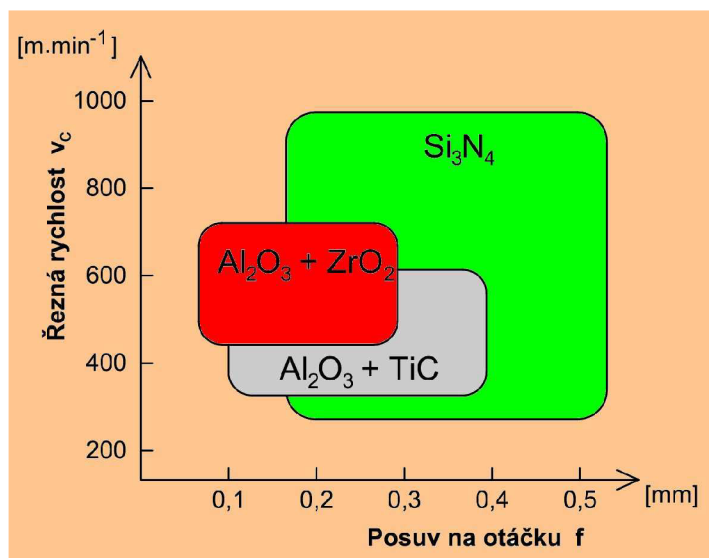
- vysoká tuhost systému stroj – nástroj – obrobek z důvodu kmitání;
- použití výkonných obráběcích strojů s širokým obsahem posuvů a otáček a možnost nastavení vysokých řezných rychlostí;
- výborný stav obráběcího stroje;
- zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku kvůli vysokým řezným silám působícím na obrobek;
- zakrytí pracovního prostoru obráběcího stroje z důvodu ochrany obsluhy;
- odstranění kůry obráběného polotovaru jiným druhem nástrojového materiálu (např. SK – vyšší odolnost proti abraznímu opotřebení);
- sražení náběhových hran na obrobku;
- najíždění a vyjíždění z řezu při snížených hodnotách posuvu na otáčku;
- výběr vhodného tvaru a velikosti destičky se správnou volbou tvaru ostří;



Obr. 1.9 Světové využití nástrojových materiálů ²⁶

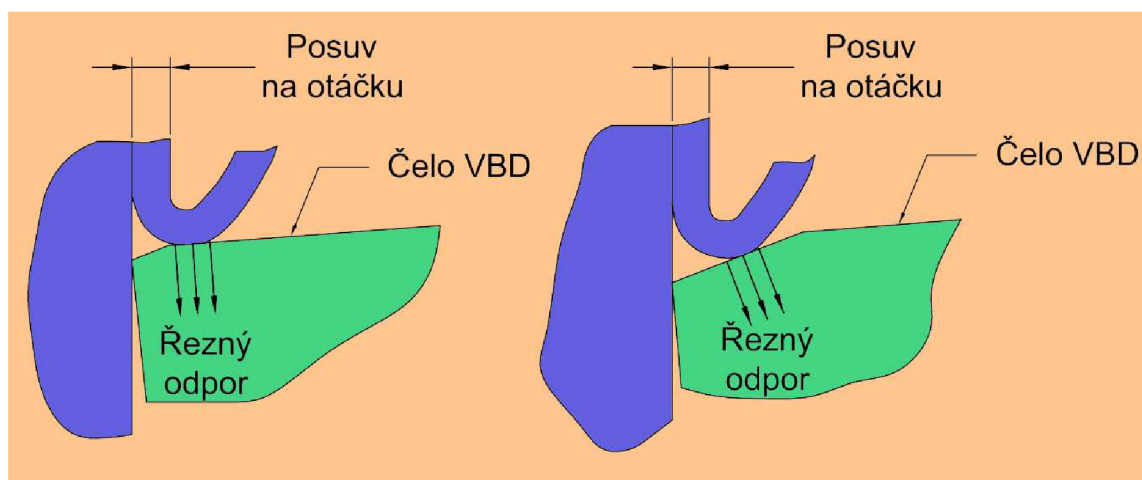
1.5.1 Soustružení

Všichni světoví výrobci, u svých nástrojových materiálu, a tak i u vyměnitelných břitových destiček z řezné keramiky, uvádějí svá doporučení řezných podmínek pro jednotlivé soustružnické práce na různé typy obráběných materiálů. U těchto materiálů hraje velkou roli otázka chlazení. U většiny destiček chlazení kapalinou výrobci výslovně zakazují. Při obrábění velmi tvrdých materiálů jako jsou např. kalené oceli nebo tvrzené litiny je nutné volit nízké hodnoty hloubky záběru ostří a_p ¹¹. Porovnání některých typů keramik pro soustružnické aplikace vyplývá z obrázku 1.10.



Obr. 1.10 Porovnání typů řezných keramik na soustružnické aplikace²⁶

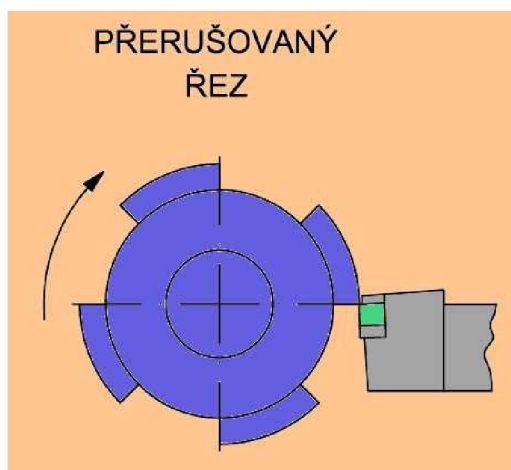
U soustružení přerušovaným řezem volí americká firma Greenleaf u své destičky z keramiky WG300 negativní úhel čela (obr. 1.11). Tato geometrie nástroje zapříčiní působení řezného odporu více do prostoru vyměnitelné břitové destičky. Destička je pak méně namáhána na tlak. Je výhodné volit hodnotu posuvu na otáčku menší, než je délka negativní hrany.



Obr. 1.11 Negativní úhel čela¹⁶

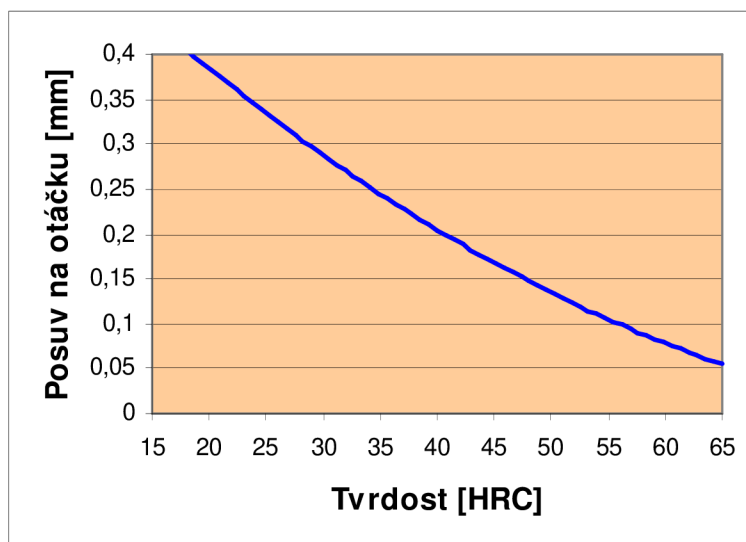
U přerušovaných řezů hraje velkou roli řezná rychlost obrábění. U těchto typů řezů je nutné rychlost zvýšit a tím se dostat zpět do teplotní zóny, která je

snížena v důsledku přerušování styku mezi řezným nástrojem a materiálem obrobku. Zvýšení řezné rychlosti se spočítá tak, že se od celkového obvodu obrobku odečte hodnota všech dutin. Hodnota obvodu se zmenší a tímto novým obvodem se řídíme při vyhledávání doporučených rychlostí dle tabulek výrobce. Jednoduchý příklad je uveden na obrázku 1.12. Zde je 50 % obvodu materiál a 50 % obvodu jsou dutiny, kde nástroj není v kontaktu s obrobkem. V tomto případě se zvolí dvojnásobná rychlost pro celkový průměr obrobku.¹⁶

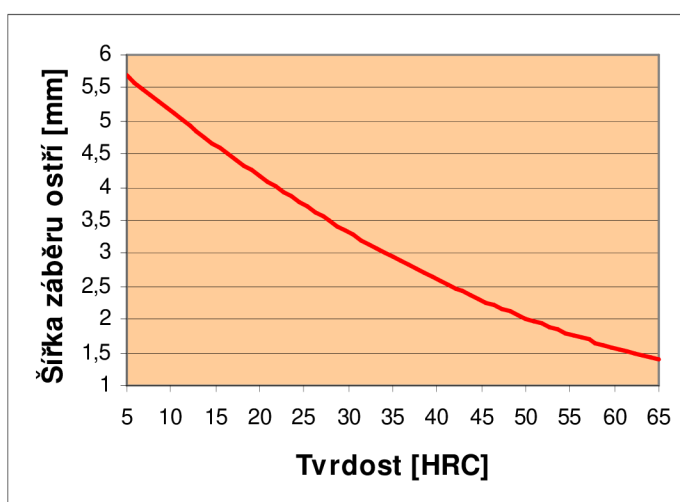


Obr. 1.12 přerušovaný řez¹⁶

S rostoucí tvrdostí materiálu obrobku se mění řezné podmínky obrábění. Na obr. 1.13a, b je zřetelně vidět, jak se mění posuv na otáčku a šířka záběru ostří na hodnotě tvrdosti. Jedná se o obrábění litin keramickými destičkami GEM-7 a GEM-19, které vyrábí společnost Greenleaf Corporation.



Obr. 1.13a Vliv tvrdosti materiálu obrobku na posuvu¹³



Obr. 1.13b Vliv tvrdosti materiálu obrobku na šířce záběru ostří ¹³

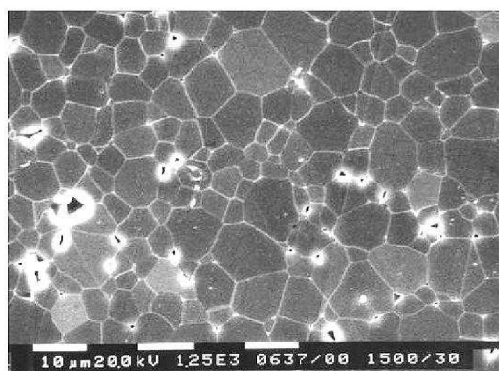
1.5.2 Frézování

Z počátku byla řezná keramika doporučována jen pro obráběcí aplikace s nepřerušovaným řezem. Postupem času, jak se zlepšovaly mechanické vlastnosti, uvedli výrobci na trh VBD vhodné pro přerušovaný řez – pro frézování. Musí být ale dodrženy výše uvedené náležitosti, zejména vysoká tuhost systému stroj – nástroj – obrobek, aby bylo zamezeno kmitání. Toho lze docílit zvolením frézy osazenou více zuby s VBD. ¹¹

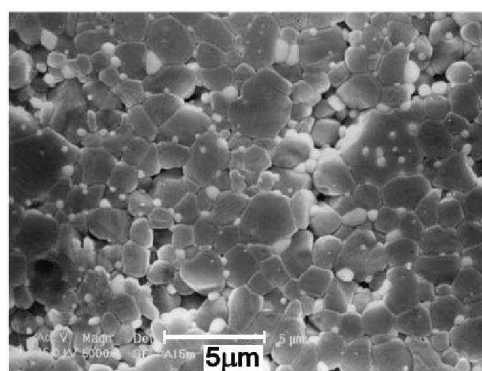
1.5.3 Použití oxidové keramiky

Čistá keramika (výbrus na obr. 1.14) je doporučována zejména pro dokončovací operace, zejména pro soustružení šedé litiny, uhlíkových a nízkolegovaných ocelí při použití řezných rychlostí přesahujících $1000 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Tento typ keramiky lisovaný za studena je zbarven bíle, při lisování za tepla má barvu šedou. ²⁷

Polosměsná keramika (výbrus na obr. 1.14) se používá např. pro obrábění šedých, tvárných a temperovaných litin, konstrukčních, zušlechťených a rychlořezných ocelí. Je vhodná k použití pro lehký přerušovaný řez. Destičky se lisují za tepla a jsou zbarveny červeně.



Čistá - Al_2O_3

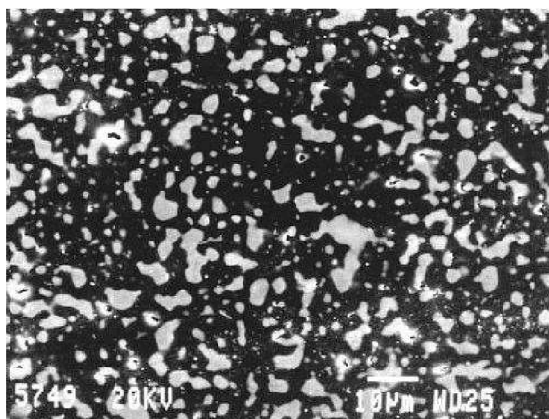
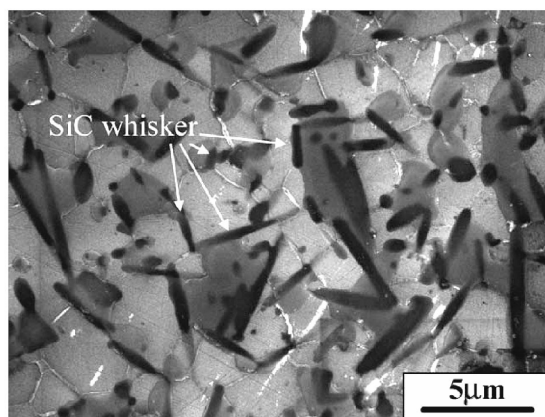


Polosměsná – $\text{Al}_2\text{O}_3 + 15\% \text{m-ZrO}_2$

Obr. 1.14 Výbrusy čisté a polosměsné keramiky ³⁸

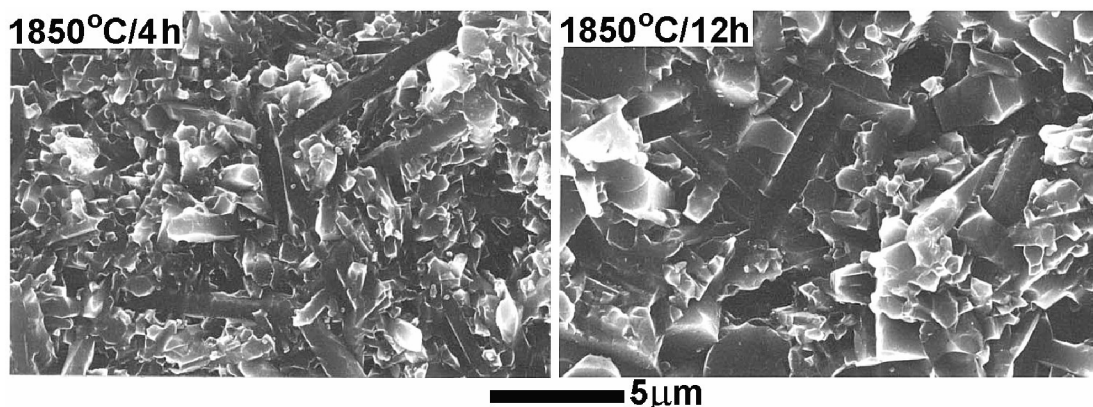
Směsná keramika (výbrus na obr. 1.15a) má oproti čisté keramice díky vysokým obsahům přísad (zejména TiC) vyšší odolnost proti opotřebení, teplotním a mechanickým rázům. Používá se pro frézování šedé litiny a oceli a pro soustružení. Destičky vyrobené za tepla mají černou barvu.

Vyztužená keramika (výbrus na obr. 1.15b) je díky svým vlastnostem (zvýšená houževnatost, pevnost v tahu, odolnost proti tepelným šokům) doporučována pro obrábění žáruvzdorných slitin, kalených ocelí, šedé litiny a hlavně umožňuje obrábění přerušovaným řezem. Barva vyztužených destiček je zelená.

a) Směsná - $\text{Al}_2\text{O}_3 + 27\%\text{TiC}$ b) Vyztužená – $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiCw}$ Obr. 1.15 Výbrusy: a) směsné keramiky [u]; b) vyztužené keramiky ¹⁷

1.5.4 Použití nitridové keramiky

Nitridová keramika (výbrus na obr. 1.16) se používá pro dokončování i hrubování šedé litiny (s nebo bez chlazení, řeznými rychlostmi až $400 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$), pro soustružení žárupevných slitin na bázi niklu atd. Je vhodná pro přerušované řezy a pro obrábění s kolísající hloubkou řezu. Je odolná proti teplotním rázům a má relativně vysokou odolnost proti mechanickému porušení břitu. ¹¹

Obr. 1.16 Výbrus nitridové keramiky po dvou dobách nitridace ¹⁷

2 HODNOCENÍ ŘEZIVOSTI NÁSTROJE

Řezivost nástroje vyjadřuje schopnost materiálu břítu nástroje obrábět obrobek za daných technologických podmínek. Jedná se tedy o vlastnost řezného materiálu z hlediska jeho vhodnosti k obrábění. Tuto vlastnost je třeba srovnávat na stejném obráběném materiálu. Sleduje se většinou v provozních podmínkách a je vhodné srovnávat řezné materiály stejné skupiny (řezná keramika, SK, RO atd.) od různých výrobců. Nezáleží ale pouze jen na druhu materiálu, ale také na dalších faktorech jako je např. metoda obrábění, geometrie nástroje, řezné podmínky, vlastnosti odebíraného materiálu apod.

S řezivostí úzce souvisí trvanlivost řezného nástroje. Ta je závislá především na metodě obrábění, vlastnostech řezného a obráběného materiálu a na řezných podmínkách. Největší vliv na trvanlivost má řezná rychlost. Na počátku 20. stol. byl odvozen tzv. Taylorův vztah (vzorec 2.1) právě pro tyto dvě veličiny - trvanlivost a řeznou rychlost.

Taylorův vztah:

$$v_c \cdot T^m = C_V \quad \text{nebo} \quad T \cdot v_c^m = C_T, \quad (2.1)$$

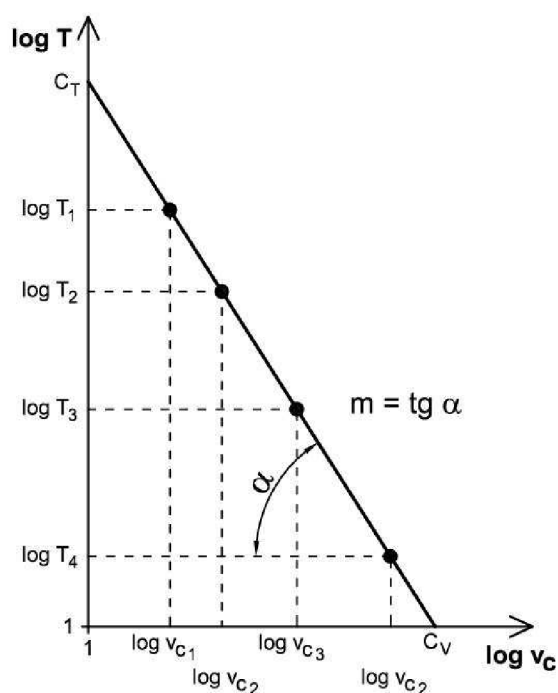
kde: C_V [-] je konstanta (řádově nabývá hodnot 10^2 až 10^3),
 C_T [-] je konstanta (řádově nabývá hodnot 10^8 až 10^{12}),
 v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] je řezná rychlost,
 T [min] je trvanlivost,
 m [-] je exponent.

Exponent m závisí na materiálu řezného nástroje.

Nástrojové oceli:	$m = 10 \div 8$ (až 6)
Rychlořezné oceli:	$m = 8 \div 5$ (až 3)
Slinuté karbidy:	$m = 5 \div 2,5$ (až 2)
Řezná keramika:	$m = 2,5 \div 1,5$ (až 1,2)

Na obr. 2.1 je vidět obecná T - v_c závislost. Hodnota konstanty C_T se odečítá na svislé ose pro hodnotu řezné rychlosti $v_c = 1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a hodnota konstanty C_V se odečítá na vodorovné ose pro hodnotu trvanlivosti $T = 1 \text{ min}$. Exponent m se vyjádří jako směrnice k přímkce, tj. $m = \text{tg } \alpha$. Uvedené vztahy platí za předpokladu, že :¹⁵

- $a_p = \text{konst.}$,
- $f = \text{konst.}$,
- opotřebení $VB = \text{konst.}$,
- chlazení, mazání, stav stroje a polotovaru, atd. = konst.

Obr. 2.1 T- v_c závislost

2.1 Metody vyhodnocení řezivosti nástroje

a) Dle indexu řezivosti

V praxi se porovnávají řezivosti dvou nástrojů \Rightarrow index řezivosti i_R ²²:

Vyjádření indexu řezivosti ²²:

$$i_R = \frac{v_T}{v_{T(et.)}}, \quad (2.2)$$

kde: v_T [m.min⁻¹] je řezná rychlost daného řezného nástroje při zvolené trvanlivosti T na zvoleném materiálu obrobku,

$v_{T(et.)}$ [m.min⁻¹] je řezná rychlost etalonového nástroje při stejné trvanlivosti T na stejném materiálu obrobku.

Čím vyšší je hodnota indexu řezivosti i_R , tím lepší je řezivost materiálu.

b) přímé vyhodnocení z T- v_c závislosti

Jednodušším vyhodnocením řezivosti zkoumaných materiálů je porovnání v T- v_c diagramu (obr. 2.2). Řešení probíhá tak, že se stanoví pevná hodnota řezné rychlosti a vnesením do tohoto diagramu se zjistí jednotlivé trvanlivosti pro daný řezný materiál. Řezný nástroj s větší trvanlivostí má lepší řezivost. Z diagramu (obr. 2.2) je zřejmé, že materiál č.2 má lepší řezivost a to v celém rozsahu řezné rychlosti v_c . Materiál č. 2 má vyšší hodnotu konstanty C_V a nižší hodnotu exponentu m , jelikož úhel sklonu úsečky 2. je nižší než úhel sklonu úsečky 1.

c) dle intenzity opotřebení

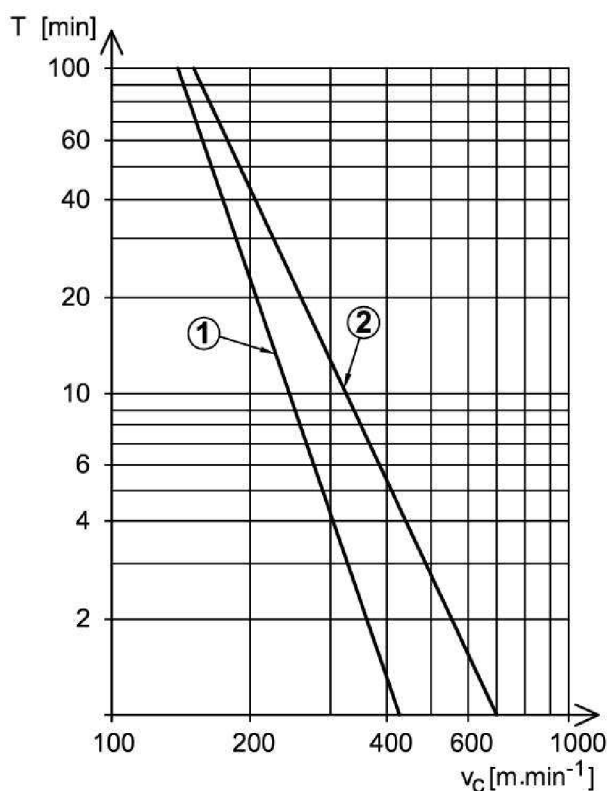
V této metodě posouzení řezivosti nástroje se porovnávají jednotlivá opotřebení fazetky na hřbetě nástroje. Intenzita opotřebení J se určí ze vztahu:

Vyjádření intenzity opotřebení ¹⁹:

$$J = \frac{VB}{v_c \cdot T}, \quad (2.3)$$

kde: VB [mm] je šířka fazetky opotřebení na hřbetě nástroje,
 v_c [$m \cdot min^{-1}$] je řezná rychlost,
 T [min] je trvanlivost řezného nástroje.

Lepší řezivost má ten řezný nástroj, u kterého se stanoví nižší hodnota intenzity opotřebení.



Čelní frézování bez chlazení:

- ocel 12 050.1
- nástroj ISCAR F45 ST – D63 – 22
- destičky SEHW 1204 AFTN

1. ISCAR IC 50 M (P25)
2. ISCAR IC 250 (povlak.)

Obr. 2.2 Ukázka $T - v_c$ diagramu ¹⁰

3 VÝZNAMNÍ SVĚTOVÍ VÝROBCI ŘEZNÉ KERAMIKY

3.1 CeramTec

CeramTec AG je německá společnost se sídlem v Plochingenu. Zabývá se výrobou produktů založených na bázi vysoce kvalitní keramiky s více než stoletou tradicí. Nejedná se pouze o vysoce výkonné řezné nástroje, ale rovněž o produkty pro automobilový průmysl, elektrotechnický průmysl, pro medicínu a vybavení pro odvětví v obrábění. Společnost má provozovny téměř po celém světě (USA, Evropa, Asie) a zaměstnává více než 3000 lidí.



V České republice je dceřinou společností od roku 1994 firma CeramTec Czech Republic s.r.o., se sídlem v Šumperku. Byla sem přesunuta výroba na bázi karbidu křemíku (SiC).

Společnost CeramTec AG spadá pod koncern Rockwood Holdings Inc. sídlící v Princetownu v USA.

3.1.1 Řezná oxidová keramika

Jsou vyráběny tyto čisté a směsné oxidové keramiky ⁷:

- Čistá (polosměsná) keramika – Jedná se o klasické řezné keramické materiály založené na bázi Al_2O_3 a ZrO_2 . Jsou uplatňovány při rýhování a soustružení litin bez použití chladicích kapalin. Ceramtec vyrábí tyto čisté oxidové keramiky: ⁷
 - **SN 60** – Tato keramika nabízí vysokou odolnost vůči opotřebení a proti teplotním rázům. Je vhodná k drážkování a soustružení litin v nepřerušovaném řezu. **ISO: K10.**
 - **SN 80** – Keramický materiál pro soustružení nelegovaných i legovaných litin v nepřetržitém řezu. Lze použít pro aplikace s vyšší hloubkou řezu a pro operace s požadovanou vysokou odolností proti opotřebení. **ISO: P20, K20.**



a) SN 60, SN 80



b) SH 2

Obr. 2.1 Ukázky VBD firmy CeramTec ⁶

- **Směsná keramika** – Tento kompozitní materiál složený z Al a Ti má vysokou odolnost vůči opotřebení a stabilitu ostří za vysokých teplot. Použitelná oblast je pro tvrdé obrábění (dokončovací soustružení) ocelí, soustružení a jemné dokončování litin. Směsná keramika je zastoupena těmito materiály: ⁷
 - **SH 2** – Materiál s velmi homogenní strukturou, která umožňuje vysokou mechanickou a tepelnou odolnost. Použití je v tvrdém obrábění při nepřerušovaném řezu. **ISO: K10, H10.**
 - **SH 3** – Keramika se zvýšenou odolností proti opotřebení, velmi dobrou pevností a stabilitou hran. Předností je výborná produktivita a snížení nákladů při obrábění. **ISO: K10, H10.**

3.1.2 Řezná nitridová keramika

Hlavní předností této keramiky je použití vysokorychlostního obrábění litin (hrubé soustružení, vrtání, frézování) i za obtížných podmínek jako je např. vysoce přerušovaný řez s různou hloubkou řezu. Nitridové keramiky jsou: ⁷

- **SL 200** – Tato nitridová keramika je charakteristická extrémní tuhostí a zvláště vhodná pro hrubování litin za nepříznivých podmínek. **ISO: K30.**
- **SL 500** – Jedná se o universální nitridovou keramiku, je vhodná k hrubování a dokončování šedých litin přerušovaným i nepřerušovaným řezem. **ISO: K25.**
- **SL 506** – Tento keramický materiál umožňuje dokončovací soustružnické operace šedých litin. Jedná se o mechanicky odolný materiál, který má vysokou stabilitu hran, odolnost proti opotřebení a celkem dobrou houževnatost. **ISO: K20.**



Obr. 2.1 Ukázky VBD z nitridové keramiky firmy CeramTec ⁶

- **SL 508** – Tato nová nitridová keramika je vhodná k vysokorychlostnímu frézování (hrubování) litin. Vysoká odolnost materiálu proti opotřebení v kombinaci s vysokou houževnatostí zaručují dobrou spolehlivost za nejděrnějších podmínek obrábění. **ISO: K30.**
- **SL 800** – Tato keramika vyniká postupnou změnou vlastností. Jádru má vysokou houževnatost, naopak povrch se vyznačuje vysokou tvrdostí. Používá se zejména pro hrubování a střední frézování. **ISO: K30.**

- Povlakovaná nitridová keramika – Povlaky této skupiny zvyšují hlavně odolnost proti opotřebení a odolnost proti teplotním rázům. Vyrábějí se tyto povlakované materiály: ⁷
 - **SL 550 C** – Základní báze nitridu křemíku je povlakována vrstvou TiN-Al₂O₃, která umožňuje hrubování a polodokončovací operace grafitu tvárných litin i za nepříznivých podmínek. **ISO: K20.**
 - **SL 554 C** – Zlatě zbarvený vícevrstvý povlak TiCN-TiN zvyšuje odolnost proti opotřebení a snižuje třecí síly mezi vyměnitelnou řeznou destičkou a materiálem obrobku. Tato keramika je zvláště vhodná pro hrubé soustružení tvárných litin o vysoké pevnosti nepřetržitým i přerušovaným řezem. **ISO: K25.**
 - **SL 854 C** – Materiál nitridu křemíku s několikavrstvým povlakem TiCN-TiN je vhodný k frézování hrubovacích i dokončovacích operací tvárných litin. Povlak snižuje teplotu, která vzniká mezi nástrojem a obrobkem v důsledku tření a prodlužuje trvanlivost.

3.2 Sandvik – Coromant

Sandvik – Coromant je jedím z předních světových výrobců nástrojů pro soustružení, frézování a vrtání. Hlavní sídlo této společnosti se nachází v Sandviken ve Švédsku. Společnost je zastoupena ve 130 zemích téměř po celém světě. Zaměstnává více než 7500 zaměstnanců. V České republice je zastoupena firmou Sandvik CZ, s.r.o. se sídlem v Praze.



3.2.1 Řezná oxidová keramika

Jsou vyráběny tyto čisté a směsné oxidové keramiky ³:

- Čistá (polosměsná) keramika
 - **CC620** – Tento materiál je založen na bázi Al₂O₃ s malým přídavkem oxidu zirkoničitého (ZrO₂), aby se zlepšila houževnatost. Keramika CC620 je určena pro obrábění vysokými řeznými rychlostmi bez chlazení, na litiny a oceli. **ISO: K01 (K01-K05).**
- Směsná keramika
 - **CC650** – Založena na bázi Al₂O₃ s přídavkem karbidu titanu (TiC). CC650 je zejména doporučena pro dokončovací operace na materiálech jako je litina, kalené oceli, tvrzené litiny a tam, kde je zapotřebí mít vysokou odolnost proti opotřebení za vyšších teplot. **ISO: K01 (K01-K05), S05 (S01-S10), H05.**

3.2.2 Řezná nitridová keramika

Nitridová keramika je zastoupena těmito materiály^{3,1}:

- **CC6090** – Keramika je na bázi nitridu křemíku (Si_3N_4). Používá se zvláště pro hrubování šedých litin za vysokých řezných rychlostí, za stabilních podmínek. **ISO: K10 (K01-K20)**.
- Povlakovaná keramika
 - **GC1690** – Tato nitridová keramika je povlakována vrstvou $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiN}$ o tloušťce 1 μm . Doporučuje se pro lehké hrubování, střední a dokončovací práce na litinách. **ISO: K10 (K05-K15)**.
 - **GC6050** – Tato keramika má velmi jemné zrno, proto má vysokou odolnost za vysokých teplot i dobrou houževnatost. Je vhodná k použití pro soustružení kombinovaných materiálů (kombinace tvrdé a měkké části), především díky vysoké chemické odolnosti. Z ekonomického hlediska je výhodné použití u obrábění, kdy není potřeba vysoká jakost povrchu. **ISO: H05 (H01-H10)**.
- Sialonová keramika – vyrábějí se tyto tři druhy sialonových materiálů:¹
 - **CC6060** a **CC6065** – Jedná se o směs nitridu křemíku (Si_3N_4) s oxidem hliníkovým (Al_2O_3). Tyto dvě keramiky nabízí skvělou produktivitu v prvním stádiu obrábění (od středního obrábění až po hrubování). Jsou vhodné k tvrdému obrábění žáruvzdorných superslitin. Mají vysokou chemickou a vrubovou odolnost, což umožňuje obrábění ve vyšších hloubkách řezu, než je tomu u ostatních typů keramik. **CC6060 ISO: S10** a **CC6065 ISO: S15**.
 - **CC6080** – Tento sialon má dobrou chemickou stálost a odolnost proti mechanickému namáhání. S typem CC670 tvoří oblast pro obrábění žáruvzdorných superslitin a slitin na bázi niklu. Lze jej použít pro vysokorychlostní obrábění za obvyklých podmínek, kde lze využít aktivního chlazení. **ISO: S10**.



Obr. 2.1 Ukázky VBD ze sialonové keramiky firmy Sandvik – Coromant (keramika CC6060 a CC6065)¹

3.2.3 Řezná vyztužená keramika

Vyztužená keramika je zastoupena materiálem CC670³:

- **CC670** – Tato keramika je na bázi oxidu hlinitého (Al_2O_3) s vyztužujícími vlákny nitridu křemíku (Si_3N_4 - whiskery), která jsou v matici náhodně orientována. Keramika CC670 je obzvláště vhodná pro vysokorychlostní obrábění žáruvzdorných superslitin za nepříznivých podmínek, kde se kladou vysoké nároky na spolehlivost a houževnatost. **ISO: S15 (S05-S25), H10 (H05-H15).**

3.3 Kennametal

Kennametal je americká společnost se sídlem v pensylvánském Latrobe, v USA. Je to přední světový dodavatel nářadí, strojřenských komponentů a moderních materiálů, které jsou spotřebovávány ve výrobních procesech. Společnost byla založena v roce 1938 a zaměstnává téměř 14 000 zaměstnanců po celém světě. Je zastoupena ve více než 60 zemích a její roční obrat činí přibližně 2,7 miliardy amerických dolarů.



3.3.1 Řezná oxidová keramika

Kennametal nabízí tyto čisté, směsné a povlakované oxidové keramiky^{23, 24, 33}:

- Čistá keramika
 - **K060** – Jedná se o bílou, velmi čistou oxidovou keramiku na bázi Al_2O_3 , která se používá převážně pro hrubé a dokončovací soustružení litin a ocelí s vyšší řeznou rychlostí. **ISO: P01-P05, K01-K05.**
- Směsná keramika
 - **K090** – Tento druh keramiky je složen ze 70% oxidu hlinitého (Al_2O_3) a z 30% karbidu titanu (TiC). Keramika je vhodná k soustružení i frézování ocelí. VBD mají černou barvu. **ISO: P01-P20, K01-K10.**
 - **KY1615** – Keramika je na bázi $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$. Vyniká dobrou kombinací vysoké houževnatosti a odolnosti proti opotřebení. Používá se pro obrábění legovaných ocelí, nástrojových ocelí a nerezových ocelí do tvrdosti 60 HRC. Lze použít i pro dokončovací soustružení a vrtání do litin. **ISO: K01-K10, H05-H15.**
- Povlakovaná oxidová keramika
 - **KY4300** – Jedná se o oxidovou keramiku s whiskery vlákní karbidu křemíku. Tato vlákna dodávají keramice vyšší mechanickou pevnost, lomovou houževnatost a vyšší trvanlivost. S keramikou Kyon4300 se dosahuje lepší jakosti konečného povrchu, vznikají menší řezné síly a dosahuje se vyšších obráběcích rychlostí. Používá se např. pro obrábění žáruvzdorných slitin nebo k obrábění šedých litin. **ISO: S10-S25.**

- **KY4400** – Základem této keramiky je oxid hlinitý a karbonitrid titanu ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiCN}$). Tento základ je vybaven PVD vrstvou TiN. Používá se pro dokončovací soustružení kalených ocelí a litin o tvrdosti vyšších než 45 HRC. Může být použita i pro dokončovací soustružení niklových slitin a slitin na bázi kobaltu. Doporučeno je obrábět za sucha s konstantní hloubkou řezu. **ISO: H01-H10.**



Obr. 2.1 Ukázky VBD z keramiky KY4300 firmy Kennametal²⁴

3.3.2 Řezná nitridová keramika

Kennametal vyrábí tyto nitridové materiály^{23, 25, 33}:

- **KY1320** – Tato nová keramika dokáže pracovat až 4x vyšší řeznou rychlostí než karbidové nástroje. Používá se pro soustružení litin, zejména šedých. Může být použita při mírném přerušovaném řezu. **ISO: K10-K35.**
- **KY3500** – Materiál z čistého nitridu křemíku (Si_3N_4). Tato keramika je vysoce houževnatá a umožňuje pracovat při vyšších hodnotách posuvů. Používá se pro hrubování šedých litin, včetně přerušovaných řezů. **ISO: K10-K35.**
- Sialonová keramika
 - **KY1310** – Tato vospělá keramika nabízí maximální odolnost proti opotřebení. Má velmi jemnou strukturu. Používá se pro plynulé soustružení šedých litin vysokými řeznými rychlostmi. **ISO: K01-K15.**
 - **KY1540** – Tento nový typ keramiky má vynikající kombinace vlastností, jako je vysoká tvrdost, lomová houževnatost a odolnost proti tepelným šokům. Umožňuje obrábět (dokončovací operace) žáruvzdorné slitiny, kde jsou tyto vlastnosti potřebné. **ISO: M10-M25, K05-K15, S05-S20.**

- **KY2000** – Tento vyspělý sialon nabízí vysokou odolnost proti teplotním výkyvům a lomovou houževnatost. Je vhodný k vysokorychlostnímu hrubování slitin na bázi niklu. Lze jej aplikovat na přerušené řezání. **ISO: K05-K20, M30.**
- **KY2100** – Díky vysoké tepelné a mechanické rázové odolnosti je ideální pro lehké a těžké hrubování frézováním a soustružením nerezových ocelí a žáruvzdorných slitin o tvrdosti vyšší než 45 HRC. **ISO: S01-S15.**
- **KY3000** – Kombinace vlastností jako je vysoká houževnatost, odolnost proti teplotním šokům a vysoká odolnost proti otěru, je ideální pro vysokou produktivitu při frézování a soustružení. Používá se pro vysokorychlostní obrábění šedých litin. **ISO: K05-K20.**
- **Povlakovaná nitridová keramika**
 - **KY3400** – Jedná se o čistý nitrid křemíku, který je vybaven CVD povlakem. Má dobrou houževnatost a díky povlaku odolnost proti opotřebení. Všeobecně se používá pro obrábění šedých a tvárných litin. **ISO: K05-K20.**



Obr. 2.1 Ukázky VBD z keramiky KY1540 firmy Kennametal³⁷

3.3.3 Řezná vyztužená keramika

Kennametal vyrábí tuto vyztuženou keramiku²³:

- **KY1525** – Jedná se o nitridovou keramiku vyztuženou whiskery vlákny z Al. Výborně se zde kombinují vlastnosti jako je odolnost proti opotřebení, stabilita hran, odolnost proti teplotním šokům při dokončování žáruvzdorných slitin. **ISO: S01-S15.**

3.4 ISCAR

Společnost ISCAR byla založena v roce 1954. Původně expandovala z jedné výroby do více než padesáti států po celém světě. Hlavní sídlo firmy se přemístilo do průmyslové zóny TEFEN v západním Galilei v Izraeli. Vyrábí všechny nástroje vhodné pro třískového obrábění.

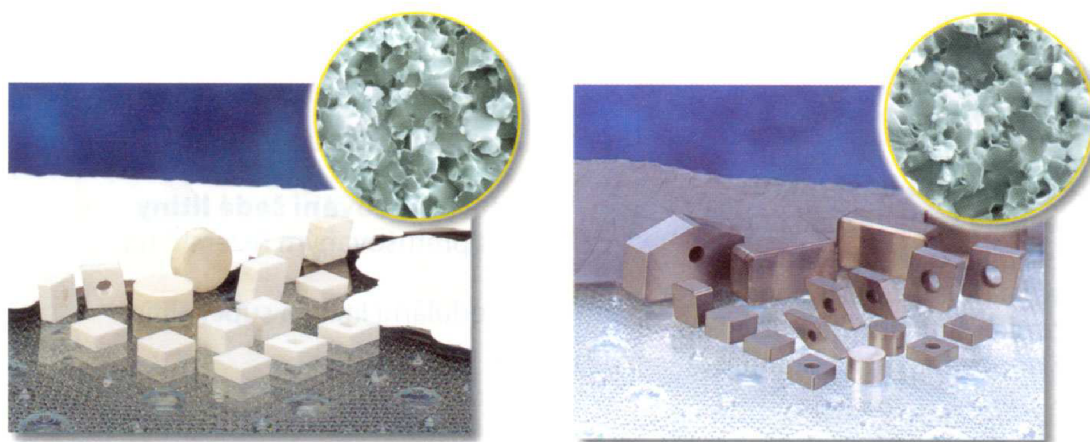


ISCAR je největším členem společnosti IMC Group, což je jeden z největších celosvětových dodavatelů kovů a chemikálií do různých odvětví průmyslu.

3.4.1 Řezná oxidová keramika

ISCAR vyrábí tyto keramické oxidové řezné nástroje ²⁰:

- **IN11** – Tato keramika se skládá z oxidu hlinitého (Al_2O_3) s přísadou ZrO_2 , díky čemuž má zvýšenou houževnatost a odolnost proti opotřebení. Je zejména vhodná pro rychlostní dokončování litin a ocelí. Obrábí se bez chlazení. Vyměnitelné břitové destičky z tohoto typu keramiky se vyznačují bílou barvou. **ISO: K01-K15, S01-S15.**
- **IN22** – Tento druh keramického materiálu je složen z $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiCN}$. Je vhodná pro rychlostní obrábění ocelí, nástrojových, kalených a chromových ocelí, tvrzených litin atd. Používá se pro polohrubování a dokončování. Obrábí se bez chlazení. Tyto keramické VBD mají šedivý zrcadlově lesklý povrch. **ISO: K05-K15, H05-H30.**
- **IN23** – Keramika se skládá z $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiC}$. Používá se pro lehké soustružení šedých a nodulárních litin i přerušovaným řezem. Lze použít pro dokončovací frézování šedých litin. Obrábí se bez chlazení. VBD jsou zbarveny šedě. **ISO: K05-K20, H10-H35.**



a) IN11

b) IN23

Obr. 2.1 Ukázky VBD z oxidové keramiky firmy Iscar ²⁰

3.4.2 Řezná nitridová keramika

Firma ISCAR nabízí tuto nitridovou keramiku ²⁰:

- **IS8** – Jedná se o keramiku složenou z nitridu křemíku (Si_3N_4). Používá se pro soustružení a frézování šedých litin, pro obrábění nodulárních litin a superslitin. Pro obrábění s přerušovaným řezem se nedoporučuje použití chladící kapaliny. Tato keramika se na destičkách vyznačuje světle šedou barvou. **ISO: K01-K25.**

- **IS9** – Jedná se o velmi houževnatou keramiku na bázi nitridu křemíku (Si_3N_4), která má výtečnou stabilitu řezné hrany (standardně honovaná řezná hrana). Používá se pro hrubovací a dokončovací operace na vysoko-teplotních slitinách na bázi niklu. Pro přerušovaný řez není doporučeno chlazení. Vyměnitelné břitové destičky z této keramiky mají šedou až černou barvu. **ISO: S15-S35.**



a) IS8

b) IS80 (CVD povlak)

Obr. 2.1 Ukázky VBD z nitridové keramiky firmy Iscar²⁰

- Povlakovaná nitridová keramika

- **IS80** - jedná se o vícevrstvě povlakovanou keramiku IS8 metodou CVD. Používá se pro rychlostní hrubování šedých litin i s přerušovaným řezem, kde není doporučováno aktivní chlazení. VBD jsou zbarveny do žluté barvy. **ISO: K01-K25.**

Tab. 3.1. Fyzikálně-mechanické vlastnosti keramiky ISCAR²⁰

Keramika	Hustota [g.cm ⁻³]	Tvrdość [HRA]	Pevnost v ohybu [MPa]	Mez pevnosti (1200°C) [MPa]	Tepelná odolnost [MN.m ^{-1,5}]	Roztažnost [x10 ⁻⁶ .°C ⁻¹]
IN11	4,0	94,2	650	-	4,5	7,5
IN22	4,3	95,0	700	450	5	7,8
IN23	4,2	94,8	750	450	5	7,8
IS8/IS80	3,2	93,6	1000	550	7	3

3.5 Saint-Gobain Advanced Ceramics, s.r.o., Turnov

Saint-Gobain Advanced Ceramics, s.r.o., Turnov (zkr. SGAC) je největším výrobcem v odvětví keramiky ve střední Evropě. Vznikla odkoupením veškerých aktivit týkajících se keramiky od turnovské firmy DIAS, s.r.o. francouzskou firmou Saint-Gobain Céramiques Avanceés Desmarquest v srpnu roku 1999. SGAC, s.r.o. Turnov se v dnešní době zabývá třemi odvětvími. Jedná se o výrobu kera-



mických těsnících destiček do vodovodních baterií, výrobu keramických filtrů na roztavené kovy do slévárenského průmyslu a výrobu keramických řezných materiálů.

3.5.1 Řezná oxidová keramika

SGAC nabízí tyto čisté a směsné oxidové keramiky ³⁶:

- Čistá keramika

- **DISAL 100** – Tato oxidová keramika si udržuje vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení i za vysokých teplot, okolo 1200°C. Používá se pro obrábění šedých litin a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem. **ISO: K01-K05, P01-P05.**

- Směsná keramika

- **DISAL 210** – Keramika na bázi $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$. Drží si svojí tvrdost a odolnost proti opotřebení i za vysokých teplot a navíc má i zvýšenou houževnatost. Je vhodná k obrábění šedé a tvárné litiny, konstrukčních, zušlechtěných a rychlořezných ocelí. Je vhodná k použití obráběním přerušovaným řezem. **ISO: K01-K05, P01-P05**
- **DISAL 220** – Keramika na bázi $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$. Tento typ keramiky je svými vlastnostmi velmi podobný keramice DISAL 210, má však vyšší pevnost v tlaku (cca 4200 MPa). Použití je přibližně stejné. **ISO: K01-K05, P01-P05**
- **DISAL 320** – Tato oxidová keramika je na bázi $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$. Zachovává si svou vysokou tvrdost a houževnatost při tepelných šocích, což umožňuje obrábění přerušovaným řezem. Je přípustné i chlazení. Používá se pro obrábění tvrzených litin, kalených ocelí o tvrdosti až 64 HRC. Lze použít i pro střední a jemné frézování.

3.5.2 Řezná nitridová keramika

Z nitridové keramiky jsou vyráběny dva druhy. Jedná se o ³⁶:

- **DISAL 420, DISAL 460** – Keramika na bázi Si_3N_4 vyniká vysokou houževnatostí a vysokou tvrdostí. Je vhodná pro obrábění s přerušovaným řezem, s možností použití chlazení. Používá se k obrábění všech druhů litin. Vhodná k frézování.

Tab. 3.2 Fyzikálně-mechanické vlastnosti keramiky SGAC ²⁹

Keramika	Velikost zrna [μm]	Hustota [g.cm ⁻³]	Tvrdost HV	Pevnost [MPa]		E [GPa]	K _{IC}	α	λ
				v ohybu	v tlaku				
DISAL 100	1 až 2	3,93	až 2400	450	4000	390	3,8	7,8	25
DISAL 210	0,5 až 1	4,22	2200	650	4000	380	6,0	7,8	23
DISAL 220	-	-	-	-	4200	360	-	7,8	27
DISAL 310	1 až 1,5	4,00	2000	700	4300	360	6,3	7,7	38
DISAL 400	-	-	-	-	2500	320	-	3,2	36



Obr. 2.1 Ukázka nástroju a VBD firmy SGAC, s.r.o. Turnov ³⁶

4 DOPORUČENÉ PRACOVNÍ PODMÍNKY PRO EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ ŘEZNÉ KERAMIKY

Nejběžnější použití keramických řezných nástrojů je na litinách, ať už se jedná o šedé, tvárné nebo temperované litiny. Dále se používají pro obrábění ocelí, tvrzených materiálů (tvrzené oceli a litiny) a žáruvzdorných materiálů (žáruvzdorné slitiny a slitiny titanu). Doporučené řezné podmínky, jako je řezná rychlost, posuv na otáčku a šířka záběru ostří, jsou pro jednotlivé druhy materiálů vyjádřeny v následujících tabulkách (tab. 4.1 až 4.7). V těchto tabulkách nejsou obsaženy všechny druhy keramik, které jsou uvedeny v nabídkách jednotlivých výrobců v kapitole 3, jelikož pro některé druhy keramiky se doporučené řezné podmínky nepodařilo zjistit. V následujících tabulkách se nevyskytuje český výrobce řezné keramiky Saint-Gobain Advanced Ceramic, s.r.o., Turnov, jelikož tyto doporučené podmínky nikde neuvádí.

4.1 Obrábění ocelí

4.1.1 Obrábění běžných ocelí

Firma Ceramtec udává řezné podmínky své keramiky pro oceli do maximální pevnosti v tahu 1400 MPa. Společnost Kennametal uvádí tyto podmínky pro třídu uhlíkových ocelí do maximální tvrdosti 35 HRC. Porovnání řezných podmínek následuje v tabulce 4.1.

Tab. 4.1 Řezné podmínky pro obrábění běžných ocelí ^{8, 5, 23}

Výrobce	Keramika (ISO)	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]
Ceramtec	SN 80 (P20)	70 – 900	0,3 – 0,6	1,0 – 3,0
Kennametal	K060 (P01-P05)	300 – 900	0,1 – 0,4	-
	K090 (P01-P20)			

Ve výše uvedené tab. 4.1 je jasně vidět, že keramika od Ceramtecu má širší rozsah řezné rychlosti než keramiky od společnosti Kennametal. Maximální hodnoty řezných rychlostí jsou stejné, ale keramika SN 80 má spodní hranici položenou daleko níže než keramika K060 nebo K090. Naopak škálu posuvů na otáčku má SN 80 položenou výše než K060 a K090. Šířky záběru ostří porovnat nelze, jelikož se hodnoty pro Kennametal nepodařilo zjistit.

4.1.2 Obrábění kalených ocelí

Do této skupiny jsou zařazeny oceli s tvrdostí cca nad 45 HRC, oceli hůře obrobitelné, jako je např. kalená ocel, cementovaná ocel, rychlořezná ocel, nástrojová ocel apod.

Sandvik Coromant do této skupiny řadí kalené a popuštěné oceli ve dvou skupinách, jako je tvrdá ocel (nad 45 HRC) a zvláště tvrdá ocel (kolem 60 HRC). Ceramtec má tuto skupinu také ve dvou třídách - kalené oceli o tvrdosti 48 – 56 HRC a 57 – 64 HRC. Kennametal má tuto skupinu materiálů jako kalené oceli o tvrdosti 48 – 65 HRC a firma Iscar uvádí dvě skupiny kalených ocelí o tvrdosti do 55 HRC a do 60 HRC. Porovnání řezných podmínek uvádí následující tabulka 4.2.

Tab. 4.2 Řezné podmínky pro obrábění kalených ocelí^{8, 5, 23, 20, 3}

Výrobce	Keramika	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]
Ceramtec	SH 2 (H10)	30 – 300	0,08 – 0,30	0,1 – 2,0
	SH 3 (H10)	100 – 230	0,12 – 0,30	0,1 – 0,5
Sandvik Coromant	CC670 (H05-H15)	50 – 170	0,05 – 0,25	0,10 – 0,45
	CC6050 (H01-H10)	50 – 190		
Kennametal	KY4400 (H01-H10)	45 – 190	0,06 – 0,25	0,1 – 1,6
	KY1615 (H05-H15)	90 – 140	0,1 – 0,4	0,25 – 4,00
Iscar	IN22 (H05-H30)	30 – 300	0,05 – 0,30	0,2 – 3,0

Z výše uvedené tab. 4.2 je zřejmé, že výrobci u svých řezných keramik využívají podobné rozsahy řezných podmínek. Pokud porovnáme řezné rychlosti, zjistíme, že nejspodnější hranici využívá Ceramtec s keramikou SH 2 a Iscar s keramikou IN22, kde začínají na hodnotě 30 m.s⁻¹. S touto nízkou rychlostí jistě souvisí níže položená hodnota posuvu na otáčku 0,08 mm a 0,05 mm. Tito dva zástupci mají rovněž nejvýše položenou horní hranici řezné rychlosti a to na hodnotě 300 m.s⁻¹, se kterou souvisí horní hranice posuvů na otáčku (0,30 mm) a horní hranice šířky záběru ostří. Z této tabulky vyčnívá keramika KY1615 od společnosti Kennametal, která má vcelku úzký rozsah řezné rychlosti, ale docela široký výběr šířky záběru ostří (0,25 – 4,00 mm). Při tak vysoké hodnotě šířky záběru ostří se bude jistě používat nižší hodnota posuvu na otáčku.

Výrobci ve svých katalozích uvádějí, že s rostoucí tvrdostí obráběného materiálu by se měla volit nižší řezná rychlost.

4.2 Obrábění litin

4.2.1 Obrábění šedých litin

Volbu rezných podmínek výrobci udávají zejména v závislosti na tom, zda se jedná o šedou litinu feritickou, nebo perlitickou a nebo v závislosti na pevnosti v tahu. U perlitických šedých litin doporučují nižší rozsahy rezných rychlostí, stejně tomu tak je u litin s vyšší pevnosti v tahu. Ceramtec rezné podmínky udává v závislosti na tvrdosti. Porovnání rezných podmínek udává následující tab. 4.3.

Tab. 4.3 Řezné podmínky pro obrábění šedých litin ^{8, 5, 23, 20, 3}

Výrobce	Keramika	Řezná rychlost v_c [$m \cdot min^{-1}$]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]
Ceramtec	SH 2 (K10)	150 – 1200	0,08 – 0,6	0,2 – 1,0
	SH3 (K10)			
	SN 60 (K10)	150 – 1200	0,2 – 0,6	0,3 – 1,0
	SN 80 (K20)	100 – 1000	0,25 – 0,5	$\geq 1,5$
	SL 500 (K25)	300 – 1500	0,15 – 0,9	$\geq 1,0$
	SL 506 (K20)	500 – 1500	0,15 – 0,45	$\geq 0,5$
	SL 508 (K30)	500 – 1200	0,35 – 1,0	$\geq 2,5$
Sandvik Coromant	CC620 (K01-K05)	480 – 800	0,1 – 0,45	0,1 – 5,0
	CC650 (K01-K05)		0,06 – 0,45	
	CC6090 (K01-K20)	400 – 800	0,2 – 0,7	0,1 – 7,0
	GC1690 (K05-K15)			
Kennametal	KY1310 (K01-K15)	370 – 1100	0,12 – 1,0	0,2 – 6,3
	KY3500 (K10-K35)	340 – 1040		
Iscar	IN11 (K01-K15)	200 – 400	0,1 – 0,3	1,0 – 4,0
	IN23 (K05-K20)	200 – 600	0,1 – 0,4	1,0 – 4,0
	IS8 (K01-K25)	200 – 800	0,1 – 0,6	2,0 – 5,0
	IS80 (K01-K25)	200 – 1000	0,1 – 0,5	

Z výše uvedené tab. 4.3 je zřejmé, že šedé litiny se obrábí vysokorychlostně. Výrobci udávají rychlosti až 1500 m.s^{-1} . Nejširší spektrum řezných rychlostí má opět Ceramtec, kde jeho spodní hranice začíná na 800 m.s^{-1} a jeho horní hranice se pohybují kolem hodnot 1200 až 1500 m.s^{-1} . Ceramtec udává své řezné podmínky v závislosti na tvrdosti obráběného materiálu. Čím vyšší je tvrdost obrobku, tím menší jsou řezné rychlosti, hodnoty posuvů na otáčku a šířky záběru ostří. V porovnání s ostatními výrobci Ceramtec dosahuje daleko vyšších řezných rychlostí s relativně stejným rozsahem posuvů a zhruba stejnou šířkou záběru ostří. Zároveň má největší nabídku řezné keramiky k obrábění těchto litin.

Sandvik Coromant má obrábění šedých litin rozděleno do dvou skupin, jedná se o šedé litiny s nízkou pevností v tahu a šedé litiny s vysokou pevností v tahu. U obrábění litin s nízkou pevností využívá vyšších rozsahů řezných rychlostí, naopak u obrábění litin s vysokou pevností doporučuje nižší hodnoty rychlostí. V porovnání s ostatními výrobci Sandvik vyniká celkem vysokou hodnotou šířky záběru ostří (až 5,0 a 7,0 mm), ale to bude zřejmě na úkor volby hodnoty posuvu na otáčku. Nejběžnější rozmezí hodnot šířky záběru ostří je však mezi 1,0 až 3,0 mm.

Celkem vysokých hodnot řezných rychlostí dosahuje i keramika od společnosti Kennametal. Tyto keramiky umožňují obrábět taktéž s vysokou hodnotou šířky záběru ostří.

4.2.2 Obrábění tvárných litin

Výrobci řezné keramiky doporučují řezné podmínky pro obrábění tvárných litin podle jejich dalšího rozdělení. Dá se říci, že všichni rozdělují své řezné podmínky podle pevnosti v tahu, tedy podle toho, zda se jedná o tvárnou litinu feritickou, perlitickou či martenzitickou. Porovnání řezných podmínek na tvárných litinách udává tabulka 4.4.

Z tab. 4.4. je zřetelné, že nejvyšší škálu řezných rychlostí má opět keramika od firmy Ceramtec. U obráběných materiálů vyšší tvrdosti a pevnosti (tj. martenzitická tvárná litina) výrobci doporučují volit hodnoty rychlostí a posuvů menší. Nízké hodnoty posuvů jistě souvisí s maximálními hodnotami rychlostí a s nižšími hodnotami šířky záběru ostří - dokončování. Naopak při nízkých hodnotách řezných rychlostí se bude volit vyšší hodnota posuvu na otáčku a šířka záběru ostří – hrubování. Všichni výrobci mají jinak vcelku podobné rozsahy řezných podmínek.

Tab. 4.4 Řezné podmínky pro obrábění tvárných litin ^{8, 5, 23, 20, 3}

Výrobce	Keramika	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]
Ceramtec	SH 2 (K10)	150 – 600	0,08 – 0,4	0,2 – 1,0
	SH 3 (K10)	250 – 800	0,08 – 0,8	
	SL 550 C (K20)	150 – 700	0,1 – 0,6	0,5 – 2,0
	SL 554 C (K25)	200 – 800	0,1 – 1,0	≥ 1,5
Sandvik Coromant	CC620 (K01-K05)	320 – 510	0,1 – 0,45	0,25 – 5,0
	CC650 (K01-K05)		0,05 – 0,45	0,2 – 5,0
	CC1690 (K05-K15)	250 – 380	0,2 – 0,7	0,2 – 7,0
Kennametal	KY3400 (K05-K20)	270 – 470	0,12 – 1,0	0,2 – 6,3
	KY3500 (K10-K35)	315 – 600		
Iscar	IN11 (K01-K15)	200 – 400	0,1 – 0,3	1,0 – 4,0
	IN23 (K05-K20)	100 – 400	0,05 – 0,2	1,0 – 3,0
	IS8 (K01-K25)	50 – 300	0,05 – 0,3	1,0 – 3,0

4.2.3 Obrábění temperovaných litin

Pro tento druh obráběného materiálu udávají své doporučené řezné podmínky pouze dva výrobci. Temperované litiny rozdělují podle pevnosti v tahu a tvrdosti (feritická, perlitická). Porovnání řezných podmínek na temperovaných litinách uvádí tabulka 4.5.

Z tab. 4.5 je zřejmé, že výrobci Sandvik Coromant a Kennametal uvádějí pro obrábění temperovaných litin přibližně stejné hodnoty řezných podmínek jako doporučují pro obrábění litin šedých. Širší spektrum řezné rychlosti uvádí Kennametal, který ale naopak doporučuje volit nižší hodnoty posuvů než společnost Sandvik Coromant.

Tab. 4.5 Řezné podmínky pro obrábění temperovaných litin^{23, 3}

Výrobce	Keramika	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]
Sandvik Coromant	CC620	480 – 800	0,1 – 0,45	0,1 – 5,0
	CC650		0,06 – 0,45	
	CC6050	400 – 800	0,2 – 0,7	0,1 – 7,0
	CC6090			
	GC1690			
Kennametal	K060	300 – 900	0,1 – 0,4	-
	K090			

4.2.4 Obrábění tvrzených litin

Společnosti Ceramtec a Kennametal uvádějí své doporučené řezné podmínky pro tvrzené litiny v rozmezí hodnot tvrdostí 40 – 65 HRC. Sandvik Coromant a Iscar mají doporučené řezné podmínky pro odlévané nebo odlévané a vystárnuté tvrzené litiny do tvrdost HB 400 (přibližně 43 HRC). Porovnání řezných podmínek následuje v tab. 4.6.

Tab. 4.6 Řezné podmínky pro obrábění tvrzených litin^{8, 5, 23, 20, 3}

Výrobce	Keramika	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]
Ceramtec	SH 2	30 – 200	0,06 – 0,30	0,5 – 4,0
	SH 3			
Sandvik Coromant	CC650	30 – 150	0,2 – 1,2	1,5 – 4,0
	CC670	20 – 150	0,1 – 1,2	0,4 – 10
	CC6090	20 – 75	0,4 – 1,2	1,5 – 10
	GC1690			
Kennametal	KY4400	45 – 190	0,063 – 0,25	0,1 – 1,6
	KY1615	90 – 140	0,1 – 0,4	0,25 – 4,0
Iscar	IN22	30 – 200	0,05 – 0,2	0,2 – 1,5

Z tabulky 4.6 je zřejmé, že výrobci doporučují přibližně stejné hodnoty řezných rychlostí. Jinak je tomu u volby posuvů a šířky záběru ostří. Znatelné rozmezí hodnot doporučuje volit Sandvik Coromant, kde se volba posuvu na otáčku pohybuje od hodnoty 0,1 mm až po hodnotu 1,2 mm. Při porovnání šířky záběru ostří vyčnívá horní hodnota u Sandviku, která dosahuje až 10 mm. Při takto vysoké hodnotě bude jistě volena minimální hodnota posuvu na otáčku. Nejběžnější rozmezí hodnot šířky záběru ostří je však udáváno mezi hodnotami 1 až 5 mm.

4.3 Obrábění žáruvzdorných materiálů

Do této skupiny materiálů jsou řazeny žáruvzdorné superslitiny na bázi železa, niklu a kobaltu a slitiny titanu. Ceramtec neuvádí žádnou řeznou keramiku pro obrábění této skupiny materiálů. Porovnání řezných podmínek je uvedeno v tab. 4.7.

Tab. 4.7 Řezné podmínky pro obrábění žáruvzdorných materiálů ^{23, 20, 3}

Výrobce	Keramika	Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]	Šířka záběru ostří a_p [mm]
Sandvik Coromant	CC670	150 – 600 ¹⁾	0,06 – 0,35	0,3 – 5,0
		150 – 450 ²⁾	0,05 – 0,35	
Kennametal	KY1525	170 – 370	0,063 – 0,40	0,16 – 5,0
	KY1540	120 – 320		
	KY2100	150 - 350		
Iscar	IS8	50 – 300	0,05 – 0,3	1,0 – 3,0
	IS9	100 – 350	0,1 – 0,3	1,0 – 4,0

1) Pro obráběný materiál na bázi niklu

2) Pro obráběný materiál na bázi kobaltu

Nejširší spektrum doporučených hodnot řezných rychlostí má u své keramiky Sandvik Coromant, který má jednu keramiku doporučenou pro obrábění superslitin na bázi niklu a druhou pro obrábění materiálu na bázi kobaltu. Posuvy na otáčku se u ostatních výrobců nijak zvlášť neliší. Rozdíl je opět ve volbě šíře záběru ostří. Sandvik a Kennametal mají celkem široký rozsah záběru, pro vyšší hodnoty budou jistě voleny nižší hodnoty posuvů na otáčku.

Z výše uvedených tabulek je patrné, že zmiňovaní výrobci keramických řezných nástrojů pro svoje druhy keramiky na stejném obráběném materiálu nabízejí široký rozsah pracovních podmínek, ať už se jedná o řeznou rychlost, posuv na otáčku, či šířku záběru ostří.

Volba pracovních podmínek nezávisí pouze na druhu obráběného materiálu, ale také na typu operace. Základní typy operací jsou hrubování, střední obrábění a dokončování. Při hrubování se volí řezná rychlost nižší, posuv na otáčku a šířka záběru ostří zpravidla uvedených rozsahů vyšší. Při dokončování se naopak volí řezná rychlost vyšší a pro získání co nejlepší jakosti vzniklého povrchu se volí nižší posuv na otáčku a menší šířka záběru ostří.

Volba pracovních podmínek dále závisí na druhu obrobku. Zda se jedná o obrobek se silným přerušením povrchu (přerušované řezání), nebo o souvislý povrch.

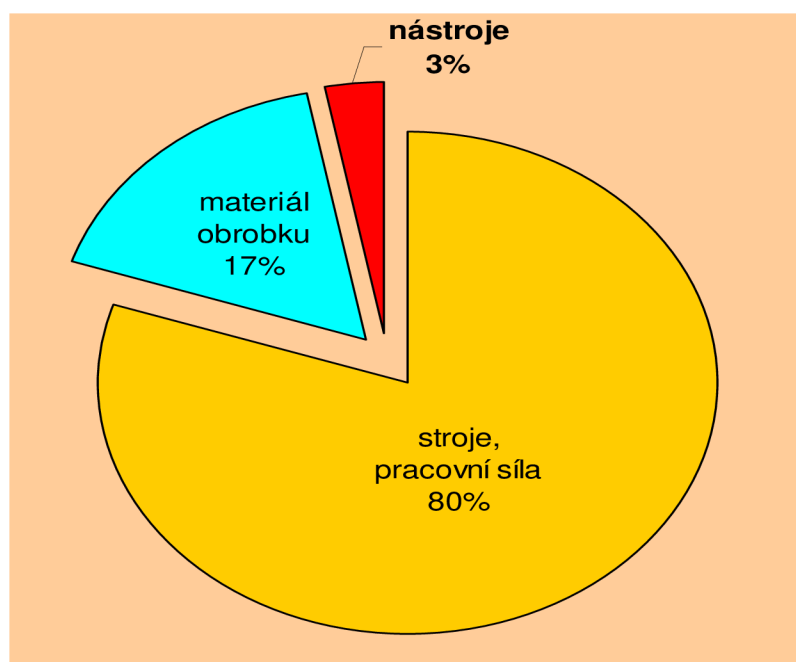
Dalším důležitým faktorem při volbě řezných podmínek je výběr tvaru a velikosti vyměnitelné břitové destičky. Pro různé tvary destiček jsou doporučovány různé pracovní podmínky.

5 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Správné používání moderních řezných nástrojů spolu s optimalizovaným řezáním má zásadní vliv na základní úsporný efekt. Účinnost (efektivnost) výrobních systémů společností je hodnocena na základě ekonomických hodnotových ukazatelů. Jedním z nich je produktivita, která je definována jako poměr mezi vstupem a výstupem prvků výrobního řetězce. Jako vstupy jsou uvažovány výrobní faktory, kterými jsou např. materiál, stroje, zařízení, zaměstnanci, kapitál, půda atd. Jako výstupy jsou chápány výrobky vyrobené za danou časovou jednotku.

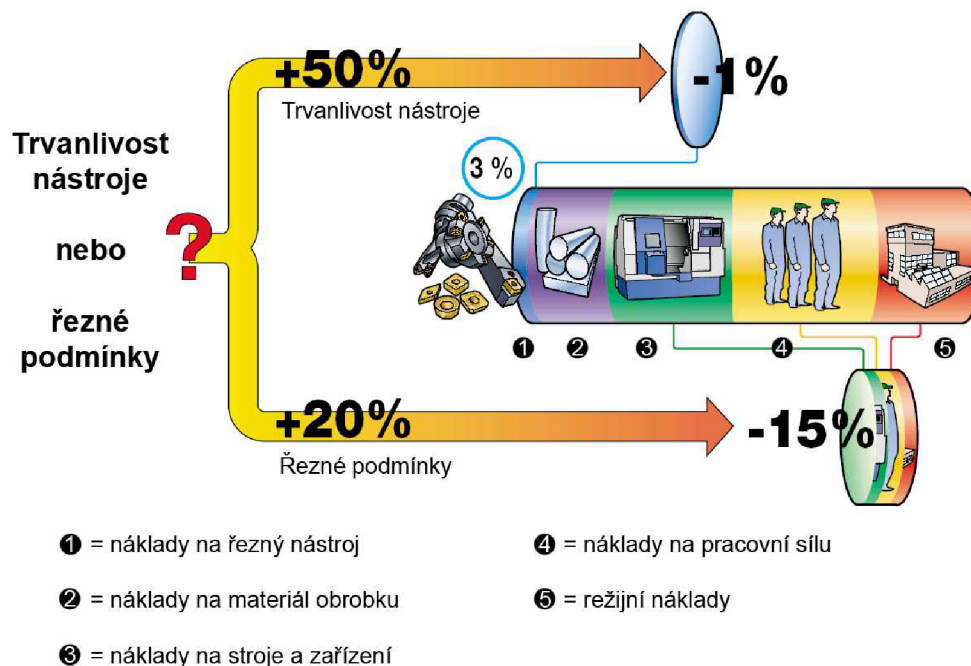
Cílem společností je maximalizovat poměr vstupu / výstupu tj. produktivitu ve výrobním řetězci. Vzhledem k tomu, že je velmi obtížné najít pouze jeden výrobní faktor, který má předpoklad k vytváření zásadních změn, jedná se tak spíše o kombinaci libovolných faktorů, které mění např.:

- zvýšení řezných podmínek = kratší výrobní časy;
- méně zmetkových výrobků = vyšší kvalita a cena výrobků;
- méně výměn nástrojů = méně času;
- technické vzdělávání zaměstnanců = lepší pochopení a méně odpadu; apod.

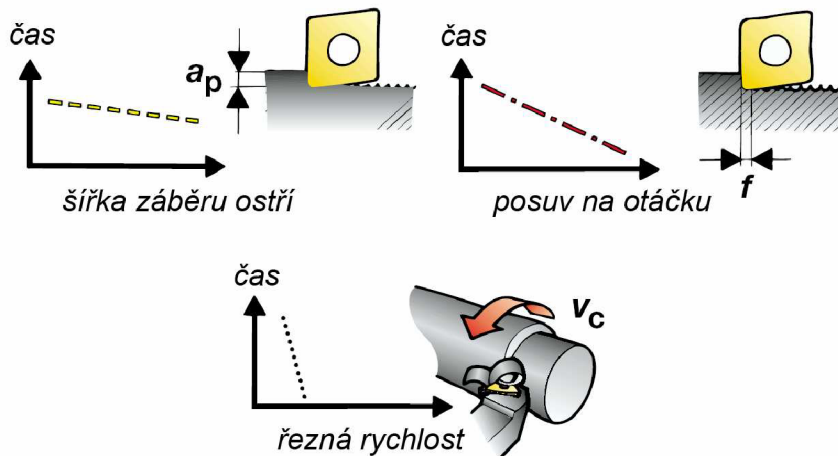


Obr. 5.1 Podíly výrobních nákladů⁹

Přibližně jen tři procenta z celkových výrobních nákladů jsou spojena s náklady na řezný nástroj (obr. 5.1). Úspory nákladů na nástroj budou mít tedy pouze zanedbatelný efekt a nejsou srovnatelné s úsporami, které mohou být dosaženy snížením produkčních nákladů pomocí zvýšení jednotek vstupu.

Obr. 5.2 Vliv zvýšení trvanlivosti a řezných podmínek ³²

Obr. 5.2. ukazuje porovnání vlivu dvou faktorů, zvýšení trvanlivosti řezného nástroje a zvýšení řezných podmínek na snížení celkových nákladů firmy. Podle materiálů poskytnutých společnostmi Sandvik Coromant se v důsledku zvýšení trvanlivosti řezného nástroje celkové náklady sníží pouze o 1 %. Důvodem pro takto nízký efekt je zanedbatelný podíl nákladů na nástroj na celkových nákladech společnosti. Zvýší-li se ovšem druhý z uvažovaných faktorů, řezné podmínky (zejména řezná rychlost, posuv) o 20 %, sníží se celkové náklady až o 15 %. Zvýšení řezných podmínek bude mít tak sice za následek snížení trvanlivosti nástroje a následné zvýšení nákladů na nástroj, přesto ale bude mít výsledný efekt v podobě snížení výrobních časů převažující vliv na celkové náklady, a tak i na sledovanou produktivitu společnosti.

Obr. 5.3 Změny časů vlivem zvýšení řezných podmínek ³²

Největší vliv na snížení výrobního času má řezná rychlost. Naopak nejmenší vliv má zvýšená šířka záběru ostří (obr. 5.3). Další možností, jak by se dalo dosáhnout zvýšení produktivity, je použití řezných destiček „Wiper“. Jedná se o destičku se speciální geometrií břítu. Tato destička umožňuje použití dvojnásobného posuvu při zachování stejné jakosti povrchu. Moderní řezné nástroje jsou vyvíjeny tak, aby dokázaly vydržet stále vyšší teploty bez většího poklesu tvrdosti a odolnosti proti opotřebení. Proto je rostoucím trendem v kovoobráběcím průmyslu obrábět nasucho, bez chlazení. Odstraněním chladicí kapaliny se sníží nejen náklady na její pořízení, ale i čas údržby a čištění stroje. Tím se zvýší produktivita.

ZÁVĚR

Řezná keramika patří do skupiny netradičních řezných materiálů a je využívána přibližně v 4-5 % z celkového objemu řezných materiálů. Používá se především pro obrábění velmi tvrdých materiálů a umožňuje vysokorychlostní obrábění, kde odolává vysokým teplotám.

Řezná keramika je materiál vyrobený práškovou metalurgií, na rozdíl od slinutých karbidů ale neobsahuje žádný pojivý materiál. Při obrábění tvrdých materiálů jsou na řezné nástroje kladeny vyšší nároky na tvrdost, odolnost proti opotřebení a odolnost proti vysokým teplotám. Hlavní výhodou keramických řezných nástrojů je právě vysoká tvrdost i za teplot okolo 1200°C, pevnost v tlaku, stálá pevnost v ohybu i za vysokých teplot, vysoká chemická stabilita a odolnost proti opotřebení. V současnosti jsou vyráběny keramiky na bázi oxidu hlinitého Al_2O_3 a keramiky na bázi nitridu křemíku Si_3N_4 . Mechanické vlastnosti lze zlepšit přidáním vláken SiC (Whiskery) a nebo povlakováním metodou CVD a PVD.

Při nasazení takto výkonných řezných materiálů do výrobního procesu se vyžaduje pro efektivní využití dodržení určitých zásad. Jedná se především o splnění podmínky tuhosti v systému stroj – nástroj – obrobek, aby bylo zamezeno kmitání a následnému poškození břitu nástroje. Dále se jedná o použití výkonných obráběcích strojů s širokým rozsahem posuvů a otáček a s možností nastavení vysokých řezných rychlostí. Stroje by měly být dostatečně zakrytovány z důvodu ochrany obsluhy a měly by mít zajištěn dostatečný odvod třísek.

Hlavním cílem diplomové práce bylo vyhodnocení a porovnání pracovních řezných podmínek (řezná rychlost, posuv na otáčku, šířka záběru ostří) na jednotlivých druzích obráběného materiálu, které vybraní výrobci doporučují pro efektivní soustružnické aplikace svých druhů řezné keramiky. Byli vybráni čtyři světoví výrobci (Ceramtec, Sandvik Coromant, Kennametal a Iscar) a jeden tuzemský výrobce Saint-Gobain Advanced Ceramics, s.r.o., Turnov (zkr. SGAC). Byl zhotoven přehled jejich nabídek řezné keramiky a poté následovalo porovnání pracovních podmínek. V porovnání pracovních podmínek se nevyskytuje český výrobce SGAC, jelikož neposkytuje firemní literaturu s doporučenými podmínkami.

Výše jmenovaní výrobci patří mezi světové producenty s nejrozšířenějším sortimentem řezné keramiky. Tato skupina výrobců vyrábí řezné keramiky typu oxidová – čistá a směsná, nitridová, povlakovaná a většina vyrábí i keramiky vztužené whiskery. V porovnání pracovních podmínek bylo zjištěno, že keramiky od jednotlivých výrobců se příliš neliší, mají podobné doporučení řezných podmínek pro efektivní využití. Nejvíce znatelný rozdíl je v rozsahu řezných rychlostí. Ceramtec uvádí u svých druhů keramik celkem velké rozsahy, kdežto ostatní výrobci mají své druhy keramik odstupňované po menších částech.

Jedním z nejvýznamnějších producentů řezné keramiky je Ceramtec, který patří mezi průkopníky uvedení řezné keramiky na trh. Jako jediný se od počátku svého založení věnuje hlavně řezné keramice, kdežto ostatní výrobci mají výrobu zaměřenou zejména na slinutý karbid a ostatní řezné materiály.

Technicko-ekonomické zhodnocení se věnuje porovnání dopadu na celkové výrobní náklady, rozhodne-li se společnost zvýšit buď trvanlivost řezného nástroje nebo řezné podmínky. Mnohem vyššího efektu dosahuje zvýšení řezných podmínek, zejména pak řezné rychlosti a posuvu, a to tak, že při 20 % zvýšení dosáhnou celkové náklady poklesu až o 15 %. Úspora v podobě zkrácení výrobních časů tak přesáhne i náklady na nástroj, které vzniknou snížením trvanlivosti nástroje, a to právě v důsledku zvýšení jeho řezných podmínek. Zkrácení výrobního času pak lze nejlépe dosáhnout pomocí změny řezné rychlosti. Řešení nabízí i použití destiček „Wiper“ se speciální geometrií bříty. Její výhoda spočívá v možnosti použití dvojnásobného posuvu při zachování stejné jakosti povrchu. Trendem posledních let je dále obrábění za sucha, odpadají tak náklady na pořízení chladicí kapaliny i celkovou údržbu a čištění stroje. Všechny tyto faktory mají zásadní vliv na zvýšení produktivity výrobního procesu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- 1 AB Sandvik – Coromant. *New Ceramic Grades CC6060 and CC6065*. [online]. [cit. 22.3.2009]. Dostupné na WWW: <<http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/Aerospace/eng/C-1040-076.pdf>>
- 2 AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cuttign - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- 3 AB SANDVIK COROMANT, Sandviken, Švédsko. *Příručka firmy Sandvik Coromant – Technická příručka obrábění*. Vytiskla firma Elanders, Švédsko. AB Sandvik Coromant 2005.10.
- 4 CAI, K.F., a spol. *Preparation, microstructures and properties of Al₂O₃ – TiC composites*. *Ceramics International*. 28 (2002). Pp. 217-222. ISSN 0272-8842.
- 5 CERAMTEC AG, Germany. *Catalogue – Recommendations for the use od SPK Cutting Tools*.
- 6 CeramTec AG. *Cutting Materials*. [online]. [cit. 17.3.2009]. Dostupné na WWW: <http://www2.ceramtec.com/products/cutting_materials.cfm>
- 7 CeramTec AG. *SPK Cutting Ceramics*. [online]. [cit. 17.3.2009]. Dostupné na WWW: <<http://www.ceramtec.com/00945,0124,-0390,0700.php#keramik>>
- 8 CERAMTEC, Germany. *Ceramic inserts for turning*. [online]. [cit. 7.4.2009]. Dostupné na WWW: <<http://pdf.directindustry.com/pdf/ceram-tec/ceramic-inserts-for-turning/5715-41651.html>>.
- 9 CERATIZIT USA Inc. Latrobe, USA. *ProfileMaster – has totally redefined the machining process*. [online]. [cit. 17.5.2009]. Dostupné na WWW: <www.ceratizit.com/downloads/catalogue/GD_PRO-0241-0804_EN.pdf>
- 10 ČEP, Robert. *Přednášky z předmětu strojírenská technologie – přednáška 3 – prezentace*. [online]. [cit. 10. březen 2009]. Dostupné na WWW: <http://home.vsb.cz/robert.cep/stroj_tech_II.htm>

- 11 ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu – disertační práce*. [online], [cit. 9.březen 2009]. Ostrava : VŠB – TU Ostrava Fakulta strojní, 2005. 101 s. Dostupné na WWW: <http://home.vsb.cz/robert.cep/PDF/disertacni_prace.pdf>
- 12 DAGUANO, J. K. F. M., a spol. *Properties of ZrO₂-Al₂O₃ composite as a function of isothermal holding time*. [online]. [cit. 13. březen 2009]. International Journal of Refractory Metals & Hard Materials 25. 374-379. (2007). Dostupné na WWW: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6TY1-4MWGFJC-1-M&_cdi=5605&_user=10&_orig=search&_coverDate=11%2F30%2F2007&_sk=999749994&view=c&wchp=dGLbVIW-zSkWz&md5=5c7ddb6fb5b6c9781373ec17633b16ee&ie=/sdarticle.pdf>.
- 13 DERMU INTERNATIONAL TOOLS s.r.l. Torino, Italy. *Metalcutting tools and systems*. [online]. [cit. 1.4.2009]. Dostupné na WWW: <http://www.der-mu.com/allegati%5CGreenleaf_01.pdf>
- 14 DOBRZAŃSKI, L. A, a spol. *Structure and properties of the multi-component TiAlSiN coatings obtained in the PVD process in the nitride tool ceramics*. Journal of Materials Processing Technology 157–158 (2004). pp. 331–340. ISSN 0924-0136
- 15 FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
- 16 GREENLEAF CORPORATION. Saegertown, Pennsylvania, USA. *WG-300 Application Guide*. [online]. [cit. 1.4.2009]. Dostupné na WWW: <<http://www.greenleafglobalsupport.com/wcsstore/Greenleaf/upload/docs/WG300App.pdf>>
- 17 HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje* [online]. Interaktivní multimediální text pro všechny studijní programy FSI. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006, 192 s. Dostupné z WWW: <http://ust.fme-.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne-_nastroje_v2.pdf>.
- 18 HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha : MM publishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- 19 HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vydání. Brno: CCB spol. s. r. o., 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.
- 20 ISCAR. *Kompletní katalog nástrojů Iscar – Soustružení*. Czech Version 2008. 826 s.

- 21 *Izostatické lisování za tepla.* MM Průmyslové spektrum. 7/2005. s. 48. [online]. [cit. 27. únor 2009]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/izostaticke-lisovani-za-tepla>>
- 22 JERSÁK, Jan. *Základní pojmy, podstata technologie obrábění – prezentace.* [online]. [cit. 10. březen 2009]. Dostupné na WWW: <<http://www.palex.estranky.cz/archiv/uploaded/41>>
- 23 KENNAMETAL. Catalogue – Lathe Tooling. [online]. [cit. 8.4.2009]. Dostupné na WWW: <http://www.kennametal.com/images/pdf/US/Sections/KMTL-Lathe_Tooling_Catalog_4010/KMTL-lathe_4010_complete.pdf>
- 24 KENNAMETAL. *Katalog - A07-256_Grade KY4300 Flyer.* [online]. [cit. 23.3.2009]. Dostupné na WWW: <http://www.kennametal.com/images/repositories/PDFs/A07-256_KMT_KY4300.pdf>.
- 25 KENNAMETAL. *Katalog - A07-33_Grade KY1320 Flyer.* [online]. [cit. 23.3.2009]. Dostupné na WWW: <[http://www.kennametal.com/images/-repositories/PDFs/PDFs/KMT_literature_pdfs/A07-3_KMT_KY1320\(f\).pdf](http://www.kennametal.com/images/-repositories/PDFs/PDFs/KMT_literature_pdfs/A07-3_KMT_KY1320(f).pdf)>.
- 26 Keramika. Prezentace. 25 s. [online]. [cit. 10. březen 2008]. Dostupné na WWW : <<http://www.ateam.zcu.cz/keramika.pdf>>
- 27 KOČMAN, K. – PROKOP, J.. *Technologie obrábění*, Brno, CERM s.r.o., 2001, ISBN 80-214-1996-2, 270s.
- 28 Kratochvíl B. a kolektiv. *Úvod do světa materiálů.* 1. vydání. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2005. ISBN 80-7080-568-4.
- 29 KŘÍŽ, R., a kolektiv. *Tabulky materiálů a předvýrobků pro strojírenství, III. část – materiály výrobní nekovové, provozní a pomocné.* Ostrava: MONTANEX a.s. 2001. 530 s. ISBN 80-7225-044-2.
- 30 MOHYLA, M.. *Nekonvenční strojírenké materiály I.*, Ostrava, VŠB, 1994, 133s., ISBN 80-7078-236-6.
- 31 NIPPON TUNGSTEN CO. Ltd. Japan. Technical information. Application of HIP technology. [online]. [cit. 27. únor 2009]. Dostupné z WWW: <<http://www.nittan.co.jp/en/tech/techinfo/hip.html>>
- 32 NUMA INGENIERIA S.A. DE C.V., Puebla, Mexico. *Productivity – How you can improve it.* [online]. [cit. 17.5.2009]. Dostupné na WWW: <http://www.numa.com.mx/Corokey_pdfs/Centrarse%20-en%20laproductividad.pdf>

- 33 PGS Commodity Supply. *Kennametal Insert Grades*. [online]. [cit. 23.3.2009]. Dostupné na WWW: <<http://www.pgstools.com/ser-vlet/the-template/kennametalinsertgradeschart/Page#C2>>.
- 34 PTÁČEK, L. a kolektiv. *Nauka o materiálu II.*, Brno, CERM s.r.o. 2002, ISBN 80-7204-248-3, 392s.
- 35 *Řezná keramika a kubický nitrid boru*. MM Průmyslové spektrum. 9/2003. s. 42. [online]. [cit. 20. únor 2009]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspe-ktrum.com/clanek/rezna-keramika-a-kubicky-nitrid-boru>>
- 36 SAINT-GOBAIN ADVANCED CERAMICS, s.r.o., Turnov. [online]. [cit. 18.3.2009]. Dostupné na WWW: < <http://www.sgac-turnov.cz/>>
- 37 THOMASNET. *Sialon Grade meets performance of whisker ceramics*. [online]. [cit. 23.3.2009]. Dostupné na WWW:< <http://news.thomasnet.com/fullstory/18580>>.
- 38 TUAN, W.H., a spol. *Mechanical properties of Al₂O₃/ZrO₂ composites*. Journal of the European Ceramic Society. 22 (2002). Pp. 2827-2833. ISSN 0955-2219.
- 39 VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. Ústav skla a keramiky. *Ceramic Technology - References*. [online]. [cit. 2.3.2009], VŠCHT v Praze., Dostupné na WWW: <http://www.vscht.cz/sil/keramika-/Ceramic_Technology/SM-Lect-9-C.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/ Symbol	Jednotka	Popis
C_T	-	konstanta pro $T-v_c$ závislost
C_V	-	konstanta pro $T-v_c$ závislost
CVD		Chemical Vapour Deposition
E	GPa	modul pružnosti v tahu
HIP		Hot Isostatic Pressing
H_V	MPa	tvrdost podle Vickerse
J	mm.m ⁻¹	intenzita opotřebení
K_{IC}	MPa.m ^{1/2}	lomová houževnatost
KNB		kubický nitrid bóru
MTCVD		Middle Temperature Chemical Vapour Deposition
O_T	kW.m ⁻¹	odolnost proti teplotním rázům
PKD		polykrystalický diamant
PVD		Physical Vapour Deposition
R_m	MPa	pevnost v tahu
SK		slinutý karbid
T	min	trvanlivost
VB	mm	šířka fazetky opotřebení na hřbetě nástroje
VBD		vyměnitelná břitová destička
a	mm	polovina úhlopříčky vtisku
a_p	mm	šířka záběru ostří
c	mm	polovina délky trhliny
f	mm	posuv na otáčku
i_R	-	index řezivosti
m	-	exponent pro $T-v_c$ závislost
v_c	m.min ⁻¹	řezná rychlost
v_T	m.min ⁻¹	řezná rychlost daného řezného nástroje při zvolené trvanlivosti T na zvoleném materiálu obrobku
$v_{T(et.)}$	m.min ⁻¹	řezná rychlost etalonového nástroje při stejné trvanlivosti T na stejném materiálu obrobku
α	10 ⁻⁶ .K ⁻¹	součinitel délkové roztažnosti
λ	W.m ⁻¹ .K ⁻¹	měrná tepelná vodivost