



Vysoké učení technické v Brně
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
Ústav strojírenské technologie
Odbor technologie obrábění

Řezná keramika a její efektivní využití

bakalářská práce

Zadání:**Řezná keramika a její efektivní využití.**

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

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou 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.

Datum:

.....

Podpis bakaláře

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. ANTONU HUMÁROVI, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce, a Ing. Pavlu Adamovi za odborný anglický překlad.

Anotace

Prášek Vladimír
Řezná keramika a její efektivní využití.
BP, ÚST, 2008, str. 39 obr. 16 Přílohy 2

Charakteristika řezné keramiky, vývoj, rozdělení, popis výroby a výchozí materiály, základní fyzikálně-mechanické vlastnosti. Sortiment výrobků domácích a světových producentů řezných nástrojů. Doporučené pracovní podmínky. Technicko-ekonomické hodnocení.

Klíčová slova

Řezná keramika, výrobci, doporučené řezné podmínky, výroba řezné keramiky, porovnání keramických destiček.

Summary

Characterization of cutting ceramics, development, classification, production and starting material, basic physical-mechanical properties. Products assortment of world-wide producers of cutting tools. Recommend cutting conditions.

Key words

Cutting ceramics, producers, recommended cutting conditions, production cutting ceramics, comparison ceramics plates.

Seznam použitých značení, symbolů a zkratk

Značení	Jednotky	Význam
C_T	[-]	konstanta pro T-v závislost
C_v	[-]	konstanta pro T-v závislost
HB	[MPa]	pevnost podle Brinella
HIP		vysokoteplotní izostatické lisování
HRC	[MPa]	pevnost podle Rockwella
HV	[MPa]	pevnost podle Vickerse
ISO		International Organization for Standardization mezinárodní organizace pro standartizaci
KNB		kubický nitrid boru
NC		číslicově řízený stroj
RO		rychlořezná ocel
ŘK		řezná keramika
Sialon		keramika na bázi Si_3N_4
STM		supertvrdé materiály
SK		slinutý karbid
T	[min]	trvanlivost
T- v_c		Taylorův vztah
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
f	[mm]	posuv na otáčku
m	[-]	exponent
n	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky
v_c	[m/min]	řezná rychlost

Seznam tabulek, obrázků a grafů

- Obr. 1 Rozsah použití ŘK v závislosti rychlost/posuv
Obr. 1-1 Závislost tvrdosti na teplotě
Obr. 1-2 Tvary vyměnitelných destiček z ŘK
Obr. 1-3 Tvary hřbetů nástroje
Obr. 1-4 Oxidová keramika lisovaná za tepla, studena
Obr. 1-5 Směsná keramika firmy ISCAR
Obr. 1-6 Keramika na bázi keramika na bázi Si₃N₄ od firmy NTK
Obr. 1-7 Sialonová keramika CC6080 od firmy Sandvik Coromant
Obr. 1-8 Proces slinování
Obr. 1-9 Vliv vyztužujících vláken na vlastnosti oxidových keramik
Obr. 1-10 Whiskery
Obr. 1-11 Slinovací pec HIP od firmy HHS
Obr. 1-12 Rozdíly ve struktuře
Obr. 1-13 Vliv HIP na pórovitost
Obr. 1-14 Povlakovaná destička GC1690 od firmy Sandvik Coromant
Obr. 4-1 Vliv řezných podmínek na úspory nákladů
- Tab. 1-1 Porovnání základních vlastností ŘK
Tab. 1-2 Porovnání keramiky s jinými řeznými materiály
Tab. 1-3 Závislost délkové roztažnosti na teplotě
Tab. 1-4 Srovnávání teploty tavení a tvrdosti
Tab. 1-5 Vliv metody HIP na vlastnosti
Tab. 2-1 Saint-Gobain ceramic
Tab. 2-2 CeramTec SPK cutting tools
Tab. 2-3 Iscar
Tab. 2-4 Kennametal Hertel AG
Tab. 2-5 Kyocera Advantec ceramics
Tab. 2-6 Sandvik Coromant
Tab. 2-7 Sumitomo electric
Tab. 2-8 Stellram
Tab. 2-9 Tungaloy
Tab. 2-10 Kruup Widia
Tab. 3-1 Doporučené řezné podmínky pro litiny
Tab. 3-2 Doporučené řezné podmínky pro litiny
Tab. 3-3 Doporučené řezné podmínky pro litiny
Tab. 3-4 Doporučené řezné podmínky pro žáruvzdorné slitiny
Tab. 3-5 Doporučené řezné podmínky pro tvrdé materiály
Tab. 4-1 Vliv pracovních podmínek na úspory nákladů

Obsah

Zadání	2
Čestné prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Anotace.....	5
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	6
Seznam tabulek, obrázků a grafů.....	7
Obsah.....	8
Úvod.....	9
1. Charakteristika řezné keramiky.....	10
1.1. Vývoj.....	10
1.2. Vlastnosti řezné keramiky.....	11
1.2.1. Zákonitosti použití vyměnitelných břitových destiček.....	13
1.3. Rozdělení řezné keramiky	14
1.4. Výroba řezné keramiky.....	17
2. Řezná keramika v sortimentu nejvýznamnějších světových výrobců nástrojů a řezných materiálů.....	23
3. Doporučené pracovní podmínky pro efektivní využití řezné keramiky....	31
4. Technicko-ekonomické hodnocení.	34
Závěr.....	36
Literatura.....	38

Úvod

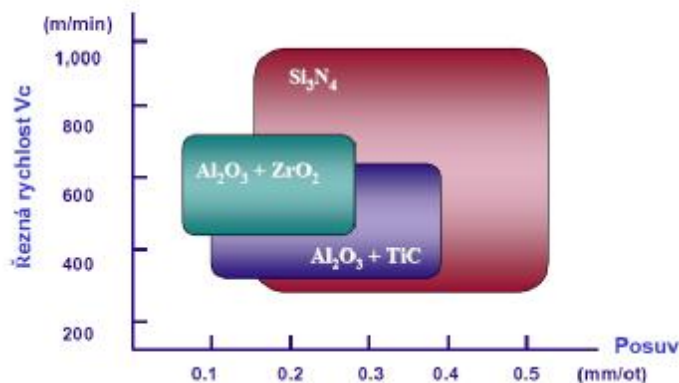
Dnešní doba přináší široký výběr keramických řezných materiálů, které prošli různými etapy vývoje. Celosvětový intenzivní vývoj začala druhá světová válka, kdy země jako je Německo neměli přístup k ložisku kobaltu, které bylo hlavním pojivem karbidů. To byl hlavní podnět vynaleznout nové řezné materiály, které nebudou obsahovat pojivo, a nebo musí obsahovat lehce dostupné suroviny. Tehdy se začly vyvíjet a vyrábět řezné materiály z keramiky. Nejvýraznější rozvoj přišel v 2. polovině 19. století nástupem číslicově řízených obráběcích strojů, vyznačující se vysokou tuhostí a velkými výkony elektromotorů. To byl nový podnět pro zdokonalování vlastností řezné keramiky.

Vynikajícími vlastnostmi, kterými se řezná keramika řadí mezi vysokovýkonné nástrojové materiály se vyznačuje vysokou tvrdostí, odolností proti působením vysokých teplot a nereagují chemicky s materiálem obrobku. Hlavní zápornou vlastností řezné keramiky je nízká houževnatost (křehkost).

Rozdělení řezné keramiky je dáno normou ČSN ISO 513. Přestože tato norma existuje, mívají keramické řezné materiály (vyměnitelné destičky) obchodní označení výrobce. Důvodem je stále nevídaná norma a z části rychlý rozvoj nových typů řezných materiálů. Nejzákladnější rozdělení řezné keramiky se dá označit jako keramika na bázi oxidu hlinitého a nitridu křemíku či jejich kombinací. Bližší rozdělení je velmi široké. Ať už udává zda se jedná o keramiku čistou, směšnou, vyztuženou vlákny (pomocí whiskerů), či způsob lisování, slinování či použití metody HIP.

Rozhodujícím ekonomickým faktorem v současné době je efektivnost řezného nástroje a relativně nízkou výrobní cenu. To vede přední světové výrobce k výrobě nových řezných materiálů dosahujících vyšších řezných rychlostí, delší trvanlivosti bříty, odolnější tepelnému a dynamickému namáhání.

Cílem této bakalářské práce je seznámení se různými druhy řezné keramiky, jejich výrobou, značením a vlastnostmi. Hlavním cílem je porovnání keramických řezných materiálů v sortimentu světových výrobců řezných materiálů. Práce je především zaměřena na oblast soustružení.



Obr.1 Rozsah použití řezné keramiky v závislosti řezná rychlost/posuv (8)

1. CHARAKTERISTIKA ŘEZNÉ KERAMIKY

1.1 Vývoj

20 ÷ 30. léta minulého století: Počáteční pokusy s užitím keramického řezného nástroje v průmyslu na bázi oxidů spadá do 20. let minulého století, kde hlavní vývojové země bylo Německo a Velká Británie. První keramický materiál na bázi Al_2O_3 , použitelný pro řezný nástroj, se podařilo německé firmě Degussa v období 2. světové války a to při výzkumných pracích zaměřených na náhradu slinutých karbidů typu WC-Co.

40. léta minulého století: O poměrně velikém zájmu ve světě o výrobky firmy Degussa, výrobu zahajují v Rusku, kde první keramický nástroj byl označen Mikrolite a také v USA. V těchto letech se začal vyrábět i slinutý Al_2O_3 a koncem i vysokoteplotně lisovaný. (4)

50. léta minulého století: Začátkem těchto let se díky rozsáhlému světovému výzkumu začínají aplikovat slinuté keramické materiály na bázi $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (0,5 ÷ 1 %). Vlivem vydrolování ostří bylo použití omezeno zejména pro jemné soustružení. Koncem 50. let se byly vyráběny keramiky typu $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$.

70. léta minulého století: Keramika typu $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$, je vyráběná metodou vysokoteplotního lisování. Důsledkem je zvýšená odolnost proti vydrolování ostří, vyšší ohybová pevnost, lomová houževnatost a tím je i zaručenější spolehlivost řezného nástroje. Slinovací proces se postupem času změnil z vysokoteplotního lisování na vysokoteplotní izostatické lisování (HIP). Bylo také zjištěno, že na pevnost keramického nástroje má vliv tvar břitové destičky a poloměr zaoblení špičky.

80 ÷ 90. léta minulého století: Byly vyrobeny další typy oxidové keramiky jako je $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$, která je vhodná pro obrábění šedé litiny, či $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiCN}$ vhodná pro obrábění kalených ocelí. Později se keramika začíná vyztužovat vlákny SiC (whiskery). Její ohybová pevnost je stejná jako u keramik typu $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$, ale lomová houževnatost je mnohem větší. Přidáním vláken SiC se značně zlepšila odolnost proti vylamování a vydrolování ostří, v důsledku mechanického zpevnění a vyšší odolnosti proti oxidaci. Výrobní novinkou se stala keramika na bázi Si_3N_4 . (1)

90. léta minulého století ÷ současnost: Během těchto let se na trhu objevují stále noví výrobci řezné keramiky, přední světový výrobci vyvíjí nové technologie (např. zapouzdřené slinování) a vylepšování jejich vlastností, tvary destiček, utvařeču třísky. Díky novým vysoce výkonným strojům se řezná keramika využívá stále více po celém světě.

1.2 Vlastnosti řezné keramiky

Keramiky je polykrystalický materiál se zrny malých rozměrů (velmi často pod $1 \mu\text{m}$), který obsahuje náhodné technologické defekty a mikrostrukturní nehomogenity. Vyznačuje se zejména vysokou tvrdostí, nízkou lomovou houževnatostí a nízkou měrnou hmotností. Pro novou keramiku je charakteristické to, že je vyráběna z poměrně čistých surovin a často z čistých výchozích chemikálií, jako keramika syntetická. Většina látek zařazovaných pod pojem „nová keramika“ jsou látky krystalické na rozdíl od tradiční keramiky, která obsahuje značný podíl skelné (amorfní) fáze. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými a kovalentními, kde jejich vazba není čistě iontová nebo čistě kovalentní, ale obvykle se vyskytují oba typy vazeb současně. V krystalické struktuře tvořící základ keramických materiálů, převažují složité mřížky kubické a hexagonální. Následující tabulka uvádí porovnání základních fyzikálních a mechanických vlastností řezných keramik.

Tab.1-1. Porovnání základních vlastností řezných keramik (6)

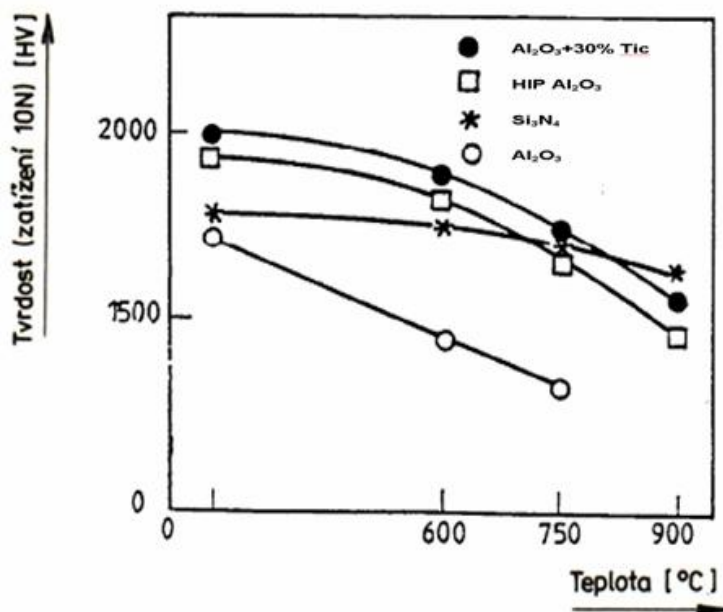
Vlastnost	Nástrojový materiál			
	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TIC}$	$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{přísady}$	
Měrná hmotnost [g/cm^3]	3,8 + 4,0	4,3 + 4,3	3,2 + 3,4	
Pevnost v ohybu [MPa]	600 + 800	600 + 900	500 + 950	
Tvrdost	[HV]	1600 + 2200	1000 + 2400	1800 + 2000
	[HRA]	91 + 94	95 + 95	86 + 95
Modul pružnosti v tahu [GPa]	340 - 400	370 + 420	300 + 380	
Součinitel délkové roztažnosti [$10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$]	7,0 + 8,5	7,0 + 8,5	1,5 + 3,5	
Měrná tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	20 + 30	20 + 25	30 + 50	
Lomová houževnatost [$\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$]		4 + 6	5 + 7	

(8)

Tab.1-2. Porovnání řezných keramik proti jiným řezným materiálům (8)

Vlastnosti		SK, K10	Keramika	PKNB	PKD
Mechanické	Hustota [g/cm^3]	14÷15	3,8÷5,0	3,4÷4,3	3,5÷4,2
	Tvrdost HV 30	1500÷1700	1800÷2500	3000÷4500	4000÷5000
	Modul pružnosti [GPa]	590÷630	300÷400	580÷680	680÷810
	Lomová houževnatost [MPa]	10,8	2až3	3,7až6,3	6,8až8,6
Tepelné	Teplotní stabilita [$^{\circ}\text{C}$]	800÷1200	1300÷1800	1500	600
	Tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	100	30÷40	40÷100	560
	Součinitel tepelné roztažnosti [$10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$]	5,4	7,5÷8,0	3÷4,5	4,2÷4,9

Keramické řezné materiály jsou velmi tvrdé i při tepelné zátěži a nereagují chemicky s materiálem obrobku. Zaručují vysokou trvanlivost břitu, snášejí vysokou teplotu na břitu (až 1350 °C) a mohou být použity při řezných rychlostech 300 až 1800 m.min⁻¹.



Obr. 1-1. Závíslost tvrdosti na teplotě (8)

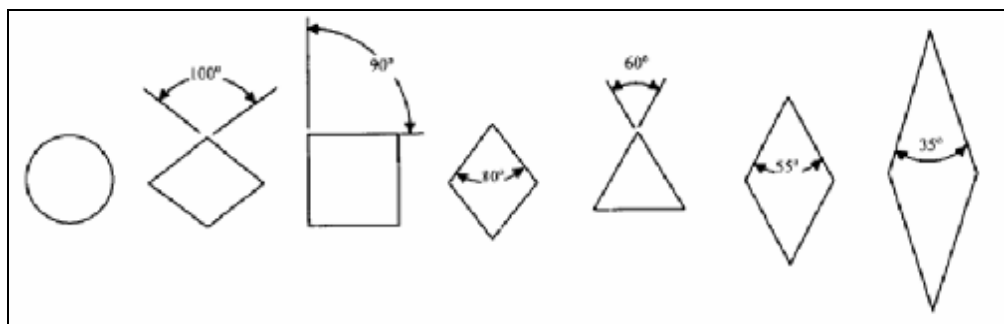
Při tepelném zpracování polykrystalické keramiky je anizotropie délkové roztažnosti nekubických krystalů jednou z příčin vnitřních napětí, ty mohou vést ke vzniku mezikrystalických trhlin. Malá tepelná vodivost má negativní vliv na vnitřní napětí, protože se mění s nárůstem teplot.

Tab.1-3. Závíslost délkové roztažnosti na teplotě (6)

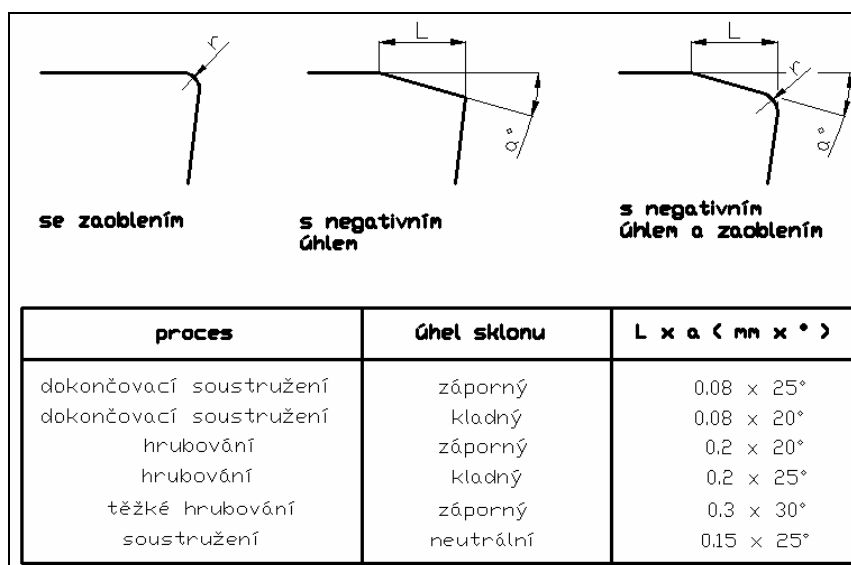
Materiál	$a [10^{-6} K^{-1}]$ pro rozsah teplot [K]											
	298 ÷ 373	373 ÷ 473	473 ÷ 573	573 ÷ 673	673 ÷ 773	773 ÷ 873	873 ÷ 973	973 ÷ 1073	1073 ÷ 1173	1173 ÷ 1273	1273 ÷ 1373	1373 ÷ 1473
Al ₂ O ₃ +TiC	7,38	7,22	7,43	7,58	7,71	7,90	8,07	8,10	8,18	8,33	8,53	8,6
Si ₃ N ₄	2,50	2,70	2,95	3,17	3,23	3,40	3,52	3,81	4,09	4,06	4,51	4,6

1.2.1 Zákonitosti použití vyměnitelných břitových destiček

Keramické břitové destičky mají většinou „negativní“ provedení, které zajišťuje nejvyšší možnou stabilitu a spolehlivost při obrábění. Fazetky různých provedení umožňují provádět hrubovací a dokončovací operace. Pokud to technologie dovolí volíme řeznou destičku s co největším poloměrem špičky (nejlépe kruhového tvaru) v důsledku zajištění dostatečné stability řezného procesu. Tloušťka břitové destičky zajišťuje bezpečnost při práci (1). V následujícím obrázku jsou znázorněny tvary keramických řezných destiček (zleva od nejideálnějšího tvaru po nejméně ideální tvar).



Obr. 1-2. tvary vyměnitelných destiček z ŘK



Obr. 1-3. Druhy hřbetu nástroje

Stroje, na kterých se řezná keramika používá, musí mít dostatečný výkon, rozsah otáček, tuhost a přesnost chodu vřetena. Obrobky musí být dostatečně kompaktní, bez sklonu ke chvění a musí umožňovat tuhé upnutí. Při jiskření nebo žhnutí destičky do červeného žáru jsou řezné podmínky vysoké a musí se snížit. Chlazení nástroje se používá jen výjimečně. Dalším kritériem je odstranění kůry obráběného materiálu zejména u odlitků a výkovků jiným řezným materiálem, který má vyšší odolnost proti abrazivnímu mechanismu opotřebení. Velmi podstatná je také najíždění a vyjíždění z řezu, které probíhá za snížených hodnot posuvu. (1,6)

1.3 Rozdělení řezné keramiky

Podle ČSN ISO 513 (22 0801) se pro rozdělení a značení keramických řezných materiálů používají symboly: (3)

CA - oxidická keramika na bázi Al_2O_3 ,

CM - směsná keramika na bázi Al_2O_3 s přísadou neoxidických komponent,

CN - neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku Si_3N_4 ,

CC - povlakovaná keramika CA, CM, CN,

Dle jiné definice rozdělení řezné keramiky můžeme k oxidické keramice zařadit ještě keramiku polosměsnou, která používá též symbol CA.

Pro lepší orientaci výrobci také používají členění převzaté od slinutých karbidů, které označuje oblast použití řezné keramiky. Základními skupinami pro keramické řezné materiály jsou P, K, S, H a zřídka i skupina M

P- oceli

M- korozivzdorná ocel

K- litiny

S- žáruvzdorné slitiny

H- kalená ocel

Přesto že existuje norma ČSN ISO 513 (22 0801), mívají řezné materiály většinou obchodní označení výrobce. Hlavním důvodem je, že se písemné symboly uvedené v této normě nevžily a také je to dané zčásti prudkým rozvojem výroby nových typů řezných materiálů.

Řezná keramika oxidová

Řeznou keramiku na bázi Al_2O_3 lze rozdělit na čistou, polosměsnou a směsnou, kde základní surovinou je velmi čistý a jemnozrný oxid hlinitý, s malým množstvím přísad (oxid zirkoničitý, karbid titanu,).

Čistá keramika

Obsahuje až 99,9 % oxidu hlinitého Al_2O_3 , má relativně nízkou pevnost, houževnatost a také malou tepelnou vodivost. (1) Tyto vlastnosti mají za následek vylamování břitů při nepříznivých podmínkách obrábění. Čistá keramika je doporučována většinou pro soustružení, vrtání a drážkování šedé litiny, uhlíkových a nízkolegovaných ocelí při použití řezné rychlosti přesahující $150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Barva čisté keramiky lisované za studena je bílá, u keramiky lisované za tepla je šedá. (2)



Obr. 1-4. Oxidová keramika lisovaná za studena (vlevo) a za tepla (vpravo) (14)

Polosměsná keramika

Vzniká přidáním různých přísad do čisté keramiky, nejčastěji oxidu zirkonu ZrO_2 až do 20 %. Polosměsná keramika obsahuje navíc další přísady v kombinaci $Al_2O_3 + ZrO_2$, $Al_2O_3 + ZrO_2 + CoO$. Výhody druhů, obsahující zirkon, spočívá v jejich zlepšené houževnatosti. Použití pro soustružení tvárné a kujné litiny, uhlíkové, legované a nástrojové oceli vytvrzenou na 68 HRC. Vyměnitelné břitové destičky vyráběné za tepla mají černou barvu.

Směsná keramika

Obsahuje vedle korundu Al_2O_3 přísadu 20-40% karbidu titanu TiC . Tento materiál má v porovnání s čistou keramikou větší odolnost proti tepelným a mechanickým rázům. Je doporučována pro frézování šedé litiny a ocelí, pro soustružení načisto a jemné soustružení ocelí cementačních, zušlechtěných a tvrdé litiny, či dokončovací obrábění žáruvzdorných superslitin, litin a ocelí. Při výrobě vyměnitelných destiček za tepla mají tyto keramické destičky černou barvu. (1,6)



Obr. 1-5. směsná keramika firmy ISCAR (11)

Řezná keramika nitridová

Řezná keramika na bázi nitridu křemíku je naprosto rozdílný materiál co se týká oproti oxidu hlinitého. Má lepší houževnatost a chování při tepelném šoku a vysokou odolnost proti mechanickému porušení břitů. Proto se doporučuje pro dokončování i hrubování šedé litiny (zde nemá konkurenci co se týče objemem odebíraného materiálu při obrábění), litiny s hrubou licí kůrou. Je vhodná i pro přerušované řezy, odolná proti teplotním rázům, vhodná pro soustružení žárovevných slitin na bázi niklu a též pro kolísající hloubku řezu. Řeznou keramiku na bázi nitridu křemíku lze též vyztužit pomocí whiskerů. Tento řezný materiál je doporučován pro obrábění šedé litiny za sucha i při chlazení, řeznými rychlostmi až $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.



Obr. 1-6. keramika na bázi Si_3N_4 od firmy NTK (14)

Řezná keramika sialonová

Jedná se o kombinaci oxidové a nitridové keramiky, kterou nezávisle objevili Oyama s Kamigaitem a Jack s Wilsonem. Hlavními výchozími materiály jsou keramické prášky Al_2O_3 , Si_3N_4 , AlN či přísada Y_2O_3 , zajišťující úplné ztuhnutí. Při slinovací teplotě kolem $1800 \text{ }^\circ\text{C}$ reaguje Y_2O_3 s Si_3N_4 a vytváří v tekutém stavu křemičitan. Po ochlazení ztuhne po hranicích jemnozrnných šestihranných krystalků a vytvoří skelnou fázi, která krystalky navzájem spojuje. Většina sialonů obsahuje malé množství skelné fáze. Tento řezný materiál je doporučován k obrábění žárovevných Ni slitinových ocelí, šedých litin. Vhodná je i pro přerušované řezy (frézování). (6)



Obr. 1-7. Sialonová keramika CC6080 od firmy Sandvik Coromant (16)

1.4 Výroba řezné keramiky

Výroba řezných destiček z keramiky je velmi podobná jako při výrobě součásti ze slinutých karbidů a cermetů (např. příprava práškové směsi, mletí, míchání, tvarování, sušení, předslinování, slinování, tepelné zpracování a úpravy povrchu). Hlavním rozdílem je, že keramické výrobky neobsahují žádné pojivo, které zaručuje spojení zrn do tuhé fáze. Za pomoci vysokého tlaku dojde k hustému uspořádání částic na tak velmi malou vzdálenost až dojde k difúzi. Proto jsou na výrobu keramických materiálů klade vysoké nároky na výrobní zařízení, ale hlavně na dodržení všech předepsaných parametrů technologického postupu výroby. (6)

Výroba oxidické keramika

Základní surovinou pro výrobu tohoto typu keramiky je velmi čistý a jemnozrnný oxid hlinitý (Al_2O_3). K němu se po vstupní kontrole přidá malé množství pomocných látek, které mají usnadnit slinování a zabránit růstu zrna (různí výrobci užívají různé materiály, kde si přesné složení střeží jako oko v hlavě. Nejčastěji pomocnými látkami jsou oxidy zirkonia, yttria, chromu, titanu, niklu, hořčíku, kobaltu a molybdenu a karbidy těžkovitých kovů jako je wolfram a titan).

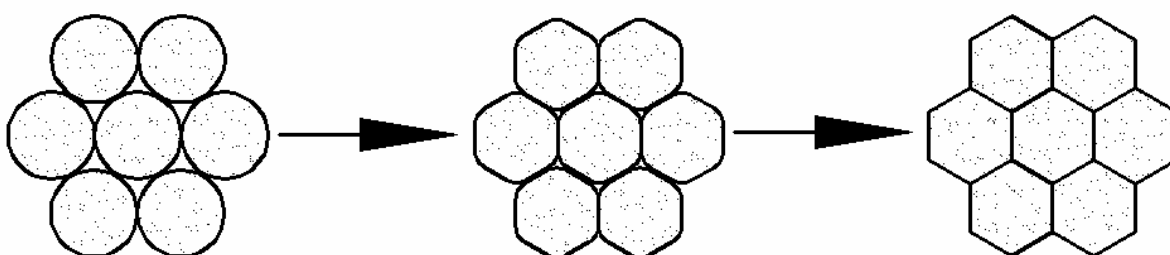
Po mokré semletí se tato směs rozpráškovaním vysuší, přičemž se získá prášek schopný soudržnosti, který je lisován na automatických lisech do požadovaného tvaru (před lisováním se někdy přidávají přísady, které zlepšují tečení prášku). Dnešní doba umožňuje vyrábět i břitové destičky s předlisovanými utvařeci třísky.

Lisování probíhá na lisech s jednostranným nebo oboustranným tlakem. Aby bylo zajištěno dobré zhutnění polotovaru v celém jeho průřezu, je lépe použít oboustranný lis. U tohoto lisu dochází k nejmenšímu zhutnění uprostřed keramické řezné destičky, což je relativně příznivé místo. Keramické polotovary lze též vyrábět izostatickým lisováním (pomocí hydrostatického tlaku kapaliny, který působí přes elastickou, pro kapalinu a plyn nerozpustnou stěnu tvarovacího pouzdra, zaplněného keramickým práškem), vstřikovacím lisem nebo litím. Vstřikovací lis je vhodný pro způsob použití zejména pro velkosériovou výrobu těles složitých tvarů. Velmi často jsou z prášku vytlačení (extruzí) tvarové tyče s průřezem odpovídajícím budoucímu tvaru břitových destiček, které jsou po slinutí pomocí diamantové okružní pily rozřezány na jednotlivé destičky. (24)

Po vylisování následuje slinování ve speciálních pecích, kde dochází ke spojení prášku do tuhého tělesa potřebného tvaru. Lze také užít metodu vysokoteplotního izostatického lisování, označovanou metoda HIP. Po slinování nebo užítí metody HIP následuje broušení na konečné rozměry, geometrickou přesnost a požadovanou kvalitu povrchu.

Výroba nitridové keramiky

Výroba nitridové keramiky je mnohem obtížnější než u oxidové díky nižší samodifúzi (vlivem kovalentní vazby mezi atomy křemíku a dusíku) a teplotě rozkladu. Proto je při výrobě řezné keramiky na bázi nitridu křemíku nutné dopovat výchozí prášek slinovacími přísadami a aplikovat technologický postup vysokoteplotního lisování nebo vysokoteplotního izostatického lisování (HIP). Slinovací aditiva vytvoří s nitridem křemíku během ohřevu tekutou fázi, která podporuje zhutňovací proces. V zásadě je možné vytvarovat výrobek ze směsi Si_3N_4 a přísad a potom jej slinovat, nebo jej vyformovat ze směsi práškového křemíku a následně nitridovat a slinovat. (6)



Obr.1-8. Proces slinování

Pokud chceme dosáhnout hutného produktu bez nespojených míst, musí se v průběhu slinování vytvořit tekutá fáze, která urychluje přemísťování hmoty. Z tohoto důvodu se do výchozí směsi přidávají speciální přísady, kterými jsou kovy nebo jejich sloučeniny, které jsou v průběhu slinování rozptýlována mezi zrna křemíku. Tato fáze během ochlazování ztuhne a její charakter a složení pak určují konkrétní soubor vlastností finálního výrobku. Výběr přísad je mimo jiné určen použitou technologií výroby nitridu křemíku.

Slinování keramiky

může probíhat v ochranné atmosféře (vodík, který musí být vyčištěný a dokonale vysušený) a má obvykle tři etapy:

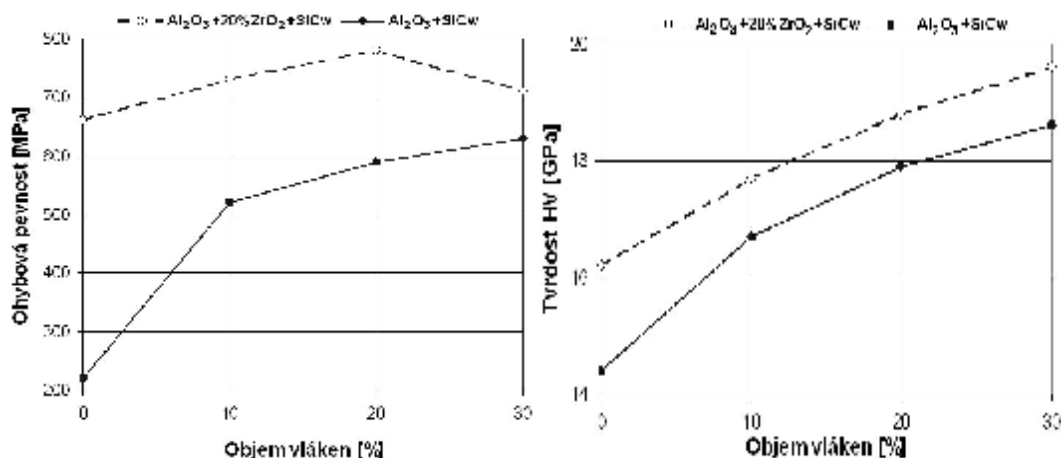
- průběžný ohřev na teplotu $700 \div 1000$ °C, v této fázi dochází k plastifikátoru
- ohřev na pracovní teplotu a výdrž na této teplotě
- ochlazení

Pece pro slinování mají zpravidla příčný průřez $100 \div 300$ cm a délku $100 \div 200$ cm. Výrobky určené pro slinování jsou uloženy v grafitových kontejnerech a postupně procházejí celým pracovním prostorem pece. Po opuštění horkého pracovního prostoru postupují kontejnery do ochlazovacího prostoru, který navazuje na ohřívací pec. Po potřebném ochlazení jsou hotové výrobky vyňaty z kontejneru a tím je proces slinování ukončen.

Dnešní doba jde rychle vpřed a tak se začíná používat nová technologie slinování, která se musí ještě řádně odzkoušet. Jde to tzv. zapouzdřené slinování. Bližší informace zatím výrobci tají.

Vyztužená keramika

Představuje relativně nový vývojový produkt. Nazývá se také keramika vyztužená whiskerem. Název je odvozen od vláken krystalu, kterému se říká whisker. Tyto whiskery mají průměr pouze cca $1\ \mu\text{m}$ a délku více než $20\ \mu\text{m}$ (jsou z karbidu křemíku a mají velmi vysokou pevnost). Vyměnitelné břitové destičky z vyztužené keramiky vykazují mimořádné účinky co se týká zvýšené houževnatosti, tvrdosti, pevnosti v tahu a odolnosti proti tepelnému šoku. Podíl whiskeru v řezném materiálu je cca. 30 %. Lisováním za tepla se dosáhne v břitové destičce stejnoměrného rozptýlení whiskeru. Možnost přerušovaného řezu, obrábění žáruvzdorných slitin, hrubování a jemnění superslitin, ocelí a litin. Barva hotových destiček je zelená. (3)



Obr.1-9. Vliv vyztužujících vláken na vlastnosti oxidových keramik (19)

Pomocí whiskerů SiC nebo Si_3N_4 jsou v dnešní době vyztužovány různé typy keramik např. $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ nebo Si_3N_4 . Pevnost těchto vláken se blíží jejich teoretické pevnosti a proto výrazně zpevňují i materiál, ve kterém jsou rovnoměrně rozptýleny. Veliký vliv na vlastnosti keramických materiálů vyztužených pomocí whiskerů má zejména velikost whiskerů, kde musí být dodržován štíhlostní poměr l/d , jejich množství a také poměry na rozhraní matrice-vlákno. Významnou vlastností vláknových kompozitů je skutečnost, že negativní vlastnosti složek se u výsledného materiálu neprojevují. Kompozit dosahuje lepších vlastností, než by odpovídalo průměru odvozenému z vlastností složek. Jde o tzv. synergický efekt (synergismus = spolupůsobení několika složek vedoucí k zesílení účinku). Vazba mezi vlákny a matricí musí být čistě mechanická (matrice "svírá" vlákno), bez jakékoli chemické reakce, která zhoršuje vlastnosti vláken. Zlepšení mechanických vlastností dochází zejména proto, že zabraňují šíření trhlin. (3)



Obr.1-10. Whiskery (19)

Keramika vyráběná metodou HIP

Principem vysokoteplotního izostatického lisování je, že na slinované těleso při vysoké teplotě působí všestranný tlak plynu (až 200 MPa), který umožní udržet jeho tvar. Pracovní plyn bývá většinou argon a u výrobků na bázi nitridu křemíku se používá dusík. V průběhu procesu nedochází k tvorbě textury. Díky velikým tlakům je možnost menšího množství přísad. Důsledkem je lepší mikrostruktura (jemnější zrna, méně mikrostrukturních defektů).



Model	Vnitřní rozměr pece [mm]	Max. teplota [°C]	Výrobní kapacita [kg/proces]	Min. tlak [Pa]	Max. tlak [MPa]	Výkon [kVA]	Plyn
HHSgr 50/50/125	500x500x1250	1600	800	7×10^{-1}	6	370	N ₂ , Ar, (H ₂)

Obr. 1-11 Slinovací pec HIP od firmy HHS (10)

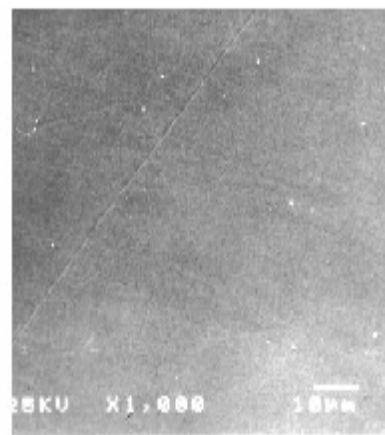
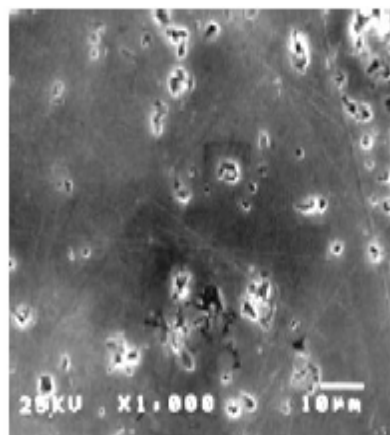
Před použitím aplikace HIP musí být materiál obalen nepropustným materiálem, který zabraňuje přístupu plynů (argonu, dusíku) do pórů. Obal tvoří sklo nebo keramické prášky (většinou vícevrstvé), které bývají od slinovaného materiálu izolovány interní vrstvou nitridu bóru.

Po ukončení celého procesu je třeba ochaný obal odstranit chemickou cestou nebo opískováním.

Metoda HIP je technologicky velice náročná co se týče technologičnosti pece, také její energetická náročnost a v neposlední řadě vysoké pořizovací náklady. Odplatou je získání keramického řezného nástroje s vysokou hutností, jemnozrnností, pevností, měrnou hmotností, atd.

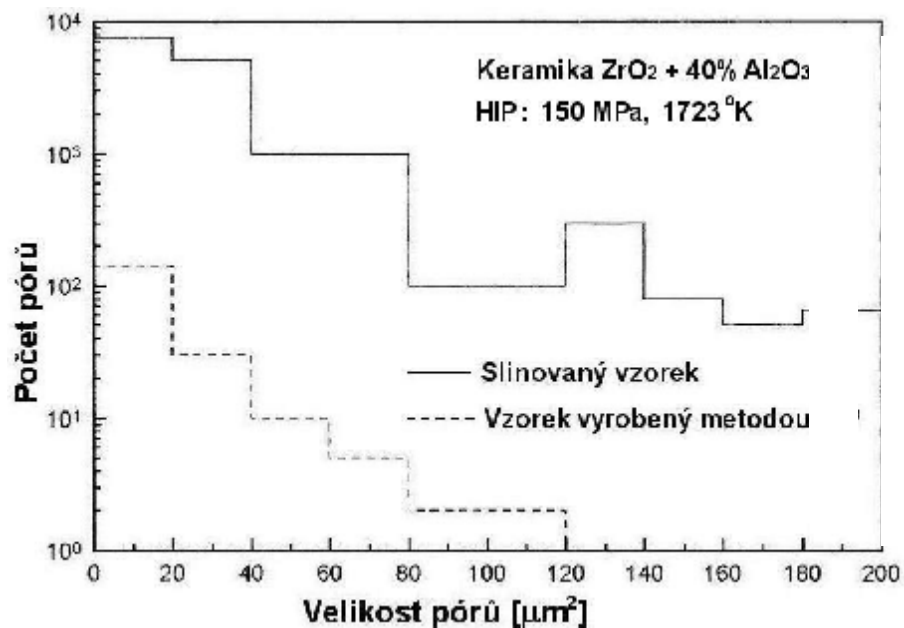
Tab.1-5. Vliv HIP na vlastnosti (6)

Materiál	Měrná hmotnost [g cm ⁻³]		Tvrdost [HRA]	
	Slinování	HIP	Slinování	HIP
Al ₂ O ₃	3,94	3,97	93,3	94,5
Al ₂ O ₃ + TiC	4,27	4,37	94,2	95,0
Sialon	3,24	3,26	92,7	92,7



Před HIP Al₂O₃ Po HIP

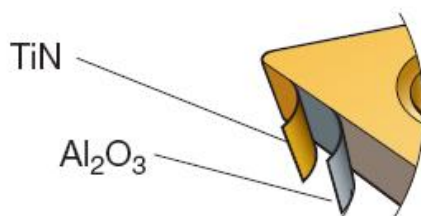
Obr.1-12. Rozdíly ve struktuře (19)



Obr.1-13 Vliv HIP na pórovitosti

Povlakovaná keramika

Dnešní doba umožňuje povlakování keramických řezných destiček podobně jako je u slinutých karbidů. Povlakovaná keramika se většinou skládá z podkladu nitridu křemíku a z tenkého povlaku TiN o tloušťce 1 μm nebo také Al_2O_3 -TiN jako je například u keramické destičky GC1690 (K10) od firmy Sandvik Coromant. Tento řezný materiál je velmi vhodný pro lehké hrubování, střední obrábění a dokončovací operace u tvárné litiny . Jsou vhodné pro přerušované i nepřerušované řezy. (6)



Obr.1-14 Povlakovaná destička GC1690 od firmy Sandvik Coromat (16)

2. Řezná keramika v sortimentu nejvýznamnějších světových výrobců nástrojů a rezných materiálů.

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

Země: Česká republika, Turnov

Saint-Gobain Grup je jednou z nejstarších a nejprestižnějších firem ve Francii. Byla založena v roce 1665 a hned se dostala do povědomí zakázkou na výrobu zrcadel. Dnes je Saint-Gobain výrobní společností s více než 170 tis. zaměstnanci, asi 1200 podniků po celém světě. Odvětví keramiky, přestože je ve skupině jedním z nejmladších, zaměstnává přibližně 16 tisíc lidí ve 170 podnicích.

Firma SGAC, s.r.o. Turnov vznikla v srpnu roku 1999 a je největším výrobcem odvětví keramiky společnosti Saint-Gobain ve střední Evropě. V dnešní době se zabývá třemi hlavními výrobními aktivitami. První je výroba keramických těsnících destiček do vodovodních baterií, montáž a prodej kompletních vložek do pákových baterií. Druhým odvětvím je výroba keramických filtrů na roztavené kovy pro slévárny. Třetí oblast zahrnuje speciální technickou keramiku jako jsou rezné nástroje (vyměnitelné břitové destičky pro obrábění kovů), nástroje na tváření trubek, dílce z elektrokeramiky a náročné výrobky z High-Tech keramiky.



Tab.2-1. Saint-Gobain ceramic

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
DISAL 100 (D100)	K01-K05	čistá (CA)	-čistá oxidová keramika (99% Al ₂ O ₃). Je vhodná především pro obrábění šedé litiny
DISAL 200 (D200)		polosměsná	-polosměsná oxidová keramika (na bázi Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ a CoO). Je vhodná pro obrábění šedé, sférické i temperované litiny, konstrukčních, zušlechťených i rychlořezných ocelí lehkým přerušovaným řezem.
DISAL 210 (D210)			
DISAL 320 (D320)	K01-K05 S01-S10 H01-H10	směsná (CM)	- směsná keramika (na bázi Al ₂ O ₃ a TiC). Umožňuje obrábění s částečně přerušovaným řezem i použití rezné kapaliny. Lze použít pro obrábění tvrzené litiny a kalených ocelí (do 64 HRC), včetně středního a jemného frézování.
DISAL 420 (D420)	M05-M20 K05-K15	nitridová (CN)	nitridová keramika (na bázi Si ₃ N ₄). Umožňuje obrábění běžným přerušovaným řezem i použití rezné kapaliny. Tento druh keramiky je zvláště vhodný pro obrábění všech druhů litin, včetně litiny s kúrou. Je také nejvhodnější pro frézování (hrubování) k dosažení maximálních rezných výkonů.
DISAL 460 (D460)	M20-M30 K10-K20		

CeramTec SPK cutting tools

Země: Německo, Plochingen

CeramTec AG je jednou z nejstarších a nejprestižnějších podniků v Německu. Byla založena v roce 1903. Postupem let se rozrostla do čtyřech základních odvětví, které mají mnoho společností po celém světě. První odvětví automobilový průmysl, druhé odvětví lékařství (týká se hlavně implantátů jako např. zuby, klouby), dále elektrotechnika a v neposlední řadě strojí průmysl.

Firma CeramTec SPK vznikla v roce 1951. zabývá se třemi základními výrobami řezných materiálů. V první řadě se jedná o keramické řezné materiály (viz tab. 2-2.). Druhé hlavní odvětví jsou řezné materiály na bázi kubického nitridu bóru (CNB). S vysokým obsahem CBN, které jsou vhodné pro operace soustružení a frézování šedé litiny, tvárné litiny. Označované WBN 100,101, 750. a s nízkým obsahem CNB označované WBN 560, 570, 575 vhodné pro obrábění tvrdých materiálů, oceli, vyznačující se tvrdostí do 68 HRC. Poslední sortimentem je výroba cernetů vhodné pro obrábění korozivzdorných ocelí, tvárné litiny. Označované SC 15, 40, 60, 735.



Tab.2-2. CeramTec SPK cutting tools

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
SN60	K01-K10	čistá (CA)	– osvědčený druh s vysokou odolností proti opotřebením. Vhodný pro obrábění litiny bez řezného média nepřerušovaným řezem, zejména však dokončovací operace šedé litiny.
SN80	P10-P20 K05-K15		– standardní třída keramiky pro obrábění tvárné litiny nepřerušovaným řezem. Ideální druh pro vysokovýkonné obrábění litiny. vhodná také k lehkému hrubování oceli.
SH2	K01-K10	směsná (CM)	– tato směsná keramika má lepší mechanické a tepelné vlastnosti. Vhodná pro obrábění litiny od hrubování až po dokončování.
SL500	K10-K20	nitridová (CN)	– tento druh má vysokou čistotu výchozích materiálů. Je vhodný pro soustružení, vrtání, frézování litiny. rozsah použití je od hrubovacích operací až po dokončovací operace.
SL506			– tento materiál je určen pro vysokovýkonné obrábění litiny, obzvláště dokončovací operace.
SL800 R			– řezný materiál vyznačující se tvrdým jádrem a zvýšenou tvrdostí povrchu.
SL 550 C	K15-K25	povlakovaná (CC)	– pro obrábění tvárné litiny přerušovaným i nepřerušovaným řezem.
SL 554 C			– povlak TiN zvyšuje odolnost proti opotřebením. Tento povlakovaný druh je vhodný pro přerušovaný i nepřerušovaný řez k hrubování litiny.

ISCAR

Země: Izrael, Tefen

ISCAR je výrobcem unikátních a inovativních nástrojů pro všechny aplikace třískového obrábění kovů. Společnost byla založena v roce 1952 v dřevěné garáži za domem pana Stefa Wertheimera, jejího zakladatele. ISCAR pak expandoval z původní jediné výrobně marketingové jednotky do nadnárodní společnosti reprezentované dnes ve více než 50 zemích světa. Díky neustálé inovaci se stala jednou z nejrychleji rostoucích ve svém oboru.

Firma ISCAR se zabývá nejen řeznou keramikou, ale veškerým sortimentem (destičky, upínací držáky, nástroje, atd.) určený pro soustružení, frézování, vrtání,



Tab.2-3. Iscar

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
IN1	P01-P10 K01-K10	čistá (CA)	– oxidová keramika s příměsí ZrO ₂ . Poskytuje zvýšenou houževnatost a odolnost proti opotřebením. Vhodné zejména pro rychlostní dokončování oceli a litiny bez řezného média.
IN22	P01-P10 K01-K10	směsná (CM)	– rychlostní obrábění nástrojových, kalených a chromových ocelí, tvrzené litiny. Vhodné pro polohrubování a dokončování litiny bez chlazení
IN23	P01-P15 K01-K15		– lehké soustružení šedé litiny a tvárné litiny s přerušovaným řezem. Lze také použít pro dokončovací frézování šedé litiny.
IS8	M30 K01-K20	nitridová (CN)	– pro obrábění tvárné litiny a super slitin. Hrubování s přerušovaným řezem. Při obrábění se používá řezné médium.
IS80	M30 K01-K20	povlakovaná (CC)	– více vrstvi povlak nanesený metodou CVD na substrátu

KENNAMETAL HERTEL AG

Země: Německo, Fürth

Firmu Kennametal založil v roce 1938 v USA pan Philip M. McKenn. V současnosti působí v 60-ti zemích celého světa a nabízí vyčerpávající škálu nejmodernějších obráběcích nástrojů, pro třískové obrábění ocelí a slitin kovů. Ať už se jedná o vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů, povlakované i nepovlakované, destičky z řezné keramiky, cermetu, s řeznou hranou z PKD nebo CBN. Dále dodává veškerý sortiment pro soustružení, frézování a vrtání.

V roce 1993 se Kennametal Hertel AG stal hlavním výrobcem v Evropě s výrobky pro obrábění dodávané po celém světě.



Tab.2-4. Kennametal Hertel AG

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
KYON 1615		směsná (CM)	– vysoce výkonný keramický materiál na bázi Al_2O_3 s příměsí TiCN pro střední obrábění kalených ocelí.
KYON 3500	M15-M30 K15-K35	nitridová (CN)	– řezný materiál pro obrábění obtížně obrobitelných litin, zvláště s přerušovanou třískou. Vhodný pro šedou litinu s použitím i bez chlazení.
KYON 1310	K05-K15		– sialonová keramika navržena pro max. životnost při obrábění šedé litiny za sucha. Vyniká dobrou houževnatostí a odolností proti opotřebením. Vhodná pro nepřerušovanou třísku při obrábění litiny.
KYON 1540	M10-M25 K05-K15		– revoluční sialonový materiál vyvinutý pro obrábění žárovečných slitin. Výborná kombinace vlastností jako je lomová houževnatost a odolnost proti tepelnému rázu při dokončovacích operacích. V porovnání s jinými sialonovými keramikami dosahuje lepších vlastností za podstatně nižší cenu. Poskytuje možnost větší hloubky řezu ve srovnání s vyztuženými keramikami.
KYON 2100	M05-M20 K05-K15		– sialonová keramika pro dokončovací operace žárovečných slitin s výbornou otěruvzdorností. Ideální pro vysokorychlostní obrábění tvrdých žárovečných slitin (>48 HRC) a frézování.
KYON 3400	K10-K30	povlakovaná (CC)	– keramika na bázi Si_3N_4 s povlakem naneseným metodou CVD. Používá se pro obrábění litiny. Vhodný pro vysokorychlostní obrábění tvárné litiny.
KYON 4400			– oxidová keramika s TiN povlakem pro vyšší odolnost proti opotřebením a zlepšení povrchové úpravy. Používá se pro vysokorychlostní obrábění, zejména dokončování.

Kyocera Advantec ceramics

Země: Japonsko, Kjóto

Kyocera Corporation byla založena v roce 1959 Dr. Kazuem Inamorim jako Kyoto Ceramic Co., specializující se na výrobu konstrukční keramiky. V současné době je společnost Kyocera Corporation jedním z celosvětových vedoucích výrobců přesné keramiky, elektronických součástek, solárních článků, mobilních telefonů a kancelářského IT zařízení.



Tab.2-5. Kyocera Advances ceramics

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
KA30	K01-K10	čistá (CA)	– čistá oxidová keramika určena pro vysokorychlostní obrábění litiny, zejména však dokončovací operace.
SN60	K01-K10	polosměsná (CA)	– keramika na bázi Al_2O_3+ZrO . Určená dokončovací operace u litin..
A65	K01-K10 H01-H10	směsná (CM)	– keramika Al_2O_3+TiC . Navrhuta pro střední a dokončovací operace u oceli, litin a velmi tvrdých materiálů.
KS500	K05-K15	nitridová (CN)	– určená pro obrábění litiny přerušovaným řezem. Možnost použití chlazení.
KS6000	K05-K15		– keramika určená pro hrubování litiny a žárovevých slitin..
A66N	K01-K10 H01-H15	povlakovaná (CC)	– směsná keramika s povlakem TiN. Používá se pro dokončovací a střední obrábění u litin a dokončování kalených materiálů.

Sumitomo Electric

Země: Japonsko

U firmy Sumitomo Electric se jedná opět o velkou celosvětovou společnost zabývající se různými technologiemi. Její převážná část sídlí v Asii a USA. Veliká část výroby je zaměřena na optické kabely pro automobilový, letecký, elektronický i strojírenský průmysl.

Z řezných nástrojů se zabývá kromě řezné keramiky, která je uvedena v následující tabulce také slinutými karbidy, syntetickým diamantem či výrobou kompozitních materiálů.



Tab.2-7. Sumitomo electric

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
NB90S	P01-P05 K01-K10	směsná (CM)	- směsná keramika Al_2O_3+TiC pro dokončovací operace oceli do tvrdosti 60 HRC.
NS30	K01-K20	nitridová (CN)	– pro hrubovací soustružení a frézování litiny.
NS260	K01-K10		- vhodná pro dokončování a lehké hrubování při soustružení a frézování litiny.
NS260C	K01-K20	povlakovaná (CC)	určená k vysokorychlostnímu obrábění litiny nepřerušovaným řezem. Povlak je složení Al_2O_3/Ti .

Sandik Coromant

Země: Německo,

Firmu Sandik Coromant založil v roce 1862 v Německu pan Göran Fredrik Göransson. V 1942 se začla firma zabývat výrobou řezných nástrojů. V současnosti působí v několika zemích celého světa. a nabízí široký výběr obráběcích nástrojů, pro třískové obrábění ocelí a slitin kovů. Ať už se jedná o vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů, povlakované i nepovlakované, destičky z řezné keramiky. Dále dodává veškerý sortiment pro soustružení, frézování a vr-tání. Také působí v odvětví automobilového průmyslu, leteckého průmyslu, elektrotechnického, či v lékařství.



Tab.2-6. Sandik Coromant

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
CC620	K01-K05	čistá (CA)	-je čistá oxidová keramická třída na bázi oxidu hlinitého s malým přídatkem oxidu zirkonu, který jí dodává zvýšenou houževnatost. CC620 je určena pro vysoké řezné rychlosti při obrábění litiny a oceli za stabilních podmínek. Obrábění musí probíhat v řezném prostředí.
CC650	K01-K05 S01-S10 H05-H10	směsná (CM)	- je směsná keramická třída na bázi oxidu hlinitého s přídatkem karbidu titanu. Doporučuje se zejména pro dokončování litiny, kalené oceli, tvrzené oceli a tepelně odolných slitin, kde se vyžaduje kombinace odolnosti proti opotřebení a dobrých tepelných vlastností.
CC670	S05-S25 H05-H15		- je keramika z karbidu křemíku vyztužená vlákny "whiskery", s náhodnou orientací vláken v nosném materiálu. Je zvláště vhodná pro vysokorychlostní obrábění tepelně odolných superslitin a tvrzených materiálů s vysokými nároky na spolehlivost nebo houževnatost.
CC680	S05-S20	nitridová (CN)	- je keramika SiAlON. Tato třída je vhodná pro vysokorychlostní obrábění tepelně - --je keramika z čistého nitridu křemíku velmi vhodná pro hrubování až dokončování šedé litiny za stabilních podmínek.
GC1690	K05-K15	povlakovaná (CC)	-se skládá z podkladu z nitridu křemíku a z tenkého povlaku Al ₂ O ₃ -TiN o tloušťce 1 μm. Vlastnosti GC1690 předurčují tuto třídu pro lehké hrubování, střední obrábění a dokončovací operace u litiny.

Stellram

Země: Švýcarsko , Nyon

Stellram byla založena v roce 1929 pod názvem Wolfram & Molybden AG ve Švýcarsku. V roce 1932 zahájila výrobu tvrdokovu. V dalších 50. letech se firma Stellram rozšířila po celé Evropě i světě. Zaměstnává 1200 lidí ve 12 zemích a prodejní zastoupení má ve více než 40 zemích. Rychlý rozvoj Stellram byla schopnost řešit složité problémy v obrábění a stále je na prvních místech co se týká zvyšování rezných rychlostí a tím zkracování pracovních časů.

Také firma Stellram nemá ve své nabídce pouze keramické rezné nástroje ale také vyměnitelné destičky ze slinutých karbidů. Dále vyrábí veškeré upínací nástroje pro vyměnitelné destičky jak pro soustružení, frézování, vrtání, zapichování či řezání závitu. Řezné nástroje jsou povlakované i napovlakované.



Tab.2-8. Stellram

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
SA 7402	P01-P10 K01-K15 H01-H10	směsná (CM)	– keramika na bázi $Al_2O_3 + TiC$ vyvinuta pro dokončovací a polodokončovací operace kalených ocelí a litiny. Vyniká znamenitou odolností proti opotřebení za vysokých teplot, je vhodná jako alternativa za CBN při stabilních podmínkách.
SA 8204	K01-K20 H5-H20	nitridová (CN)	– určeno pro hrubování a přerušované obrábění litiny. Možnost použití s chlazením i bez chlazení.
SA 8405	K01-K10 S01-S15 H01-H10		– keramika o složení $Si_3N_4 + TiN$ určená k hrubování, přerušované obrábění litiny a obrábění niklových slitin. U obrábění litiny lze i použít chlazení, ale u niklových slitin lze obrábět pouze s chlazením.

Tungaloy

Země: Japonsko , Kawasaki

Založena v roce 1934 v Japonsku. Zabývá se výrobou a prodejem, slinutých karbidů, keramické rezné materiály (viz tab. 2-9.), výroba cermetů, PCNB, PCD, aj. Disponuje širokým výběrem nástrojů pro upínání vyměnitelných destiček, vrtáčky na tištěné spoje, atd.. Dále se zabývá výrobou keramických brzdových destiček na automobily nebo keramických obložení na spojky pro závodní speciály.



Tab.2-9. Tungaloy

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
LX 21	H10	směsná (CM)	- směsná keramika Al_2O_3+TiC pro nepřerušované obrábění litiny se znamenitou odolností proti opotřebení.
FX 105	K01-K10	nitridová (CN)	- pro nepřerušované až středně přerušované vysokorychlostní obrábění litiny. Vhodná také pro oceli a žárovevné slitiny.
CXC 373	K01-K20	povlakovaná (CC)	- keramika na bázi Si_3N_4 s povlakem Al_2O_3 .
LX11	P01-P10 H10		- jemnozrnná struktura Al_2O_3+TiC s povlakem TiN naneseným metodou PVD. Slouží pro dokončovací operace kalených a nástrojových ocelí o tvrdosti 45-65 HRC.

Krupp Widia

Země: Německo, Essen

V roce 1926 vyrobila první karbid na světě a později i první povlakovaný karbid. Distributory má téměř ve 40. zemích světa. Také její nabídka co se týče soustružení, frézování, vrtání je velmi pestrá. V nové nabídce propagují nový revoluční povlak umožňující vysokých řezných rychlostí oproti předchozímu. Opět budou dosahovat vyšších výkonů než předchozí.



Tab.2-10. Krupp WIDIA

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
CW 2015	K05-K10 H05-H15	směsná (CM)	- keramika o složení Al_2O_3+TiCN pro dokončovací a podokončovací operace u kalených ocelí a litin.
CW 5025	K10-K20	nitridová (CN)	- určená pro hrubování a silně přerušovaný řez. Možnost obrábění s i bez chlazení.

3. Doporučené pracovní podmínky pro efektivní využití keramiky

Tab.3-1 Doporučené řezné podmínky pro litiny (K01-K10).

Výrobce	Označení	Druh	Tvrdost [HB]	f [mm]	a _p [mm]	v _c [m/min]			
						Rozsah	Optim. hodnota		
CeramTec	SH2	Šedá	140-210	0,20-0,60	0,3-1,0	400-1200	800		
			220-240	0,20-0,60	0,3-1,0	300-800	600		
			250-280	0,20-0,60	0,3-1,0	150-500	400		
	SN60	Šedá			0,20-0,40	0,3-0,5	250-600	400	
					0,20-0,40	0,3-1,0	150-400	350	
					0,20-0,60	0,3-1,0	400-1200	700	
Sumitomo Electric	NS260C		<220			240-1070			
						240-760			
						240-1070			
			>220					180-760	
Tungaloy	FX105		150-250	0,20-0,40	1,0-5,0	150-610			
						0,05-0,30	200-850		
							0,20-0,40	150-460	
						Sandvik Coromant	CC620	Šedá	180-220
Temper.	130-230	0,20-0,35	1,0-3,0	480-800	600				
Tvárná	160-380	0,20-0,35	1,0-3,0	380-480	430				
CC650	Šedá	180-220	0,20-0,35	1,0-3,0	480-800		600		
	Temper.	130-230	0,20-0,35	1,0-3,0	480-800		600		
	Tvárná	160-380	0,20-0,35	1,0-3,0	380-480		430		

l) Hodnoty pro přerušovaný řez

Tato tabulka udává doporučené řezné rychlosti pro obrábění litiny v rozmezí K01-K10. Jak vyplývá z tabulky, řezná rychlost se u jednotlivých výrobců podstatně liší. Například srovnáme-li břitovou destičku CC620 od firmy Sandvik Coromant a břitovou destičku SH2 od firmy CeramTec při soustružení šedé litiny, je zřejmé, že SH2 bude použita při podstatně vyšších řezných rychlostech.

Tab. 3-2 Doporučené řezné podmínky pro litiny (K10-K20).

Výrobce	Označení	Druh	Tvrdost [HB]	f [mm]	a _p [mm]	v _c [m/min]	
						Rozsah	Optim. hodnota
Sandvik Coromant	CC6090	Šedá	180-220	0,30-0,50	2,0-5,0	430-700	570
		Temper.	130-230	0,30-0,50	2,0-5,0	400-700	570
	CC1690	Šedá	180-220	0,20-0,50	1,5-5,0	435-740	570
		Temper.	130-230	0,20-0,50	1,5-5,0	400-740	570
		Tvárná	160-380	0,20-0,50	1,5-5,0	220-580	430

Tab. 3-2 - pokračování

Výrobce	Označení	Druh	Tvrdost [HB]	f [mm]	a _p [mm]	v _c [m/min]	
						Rozsah	Optim. hodnota
CeramTec	SN80	Šedá ^R	140-210	0,25-0,50	>1,5	300-1000	600
			220-240			200-800	500
			250-280			100-400	300
	SL500	Šedá ^{RC}	140-210	0,25-0,90	>1,5	300-1500	800
			220-240			300-1200	
			250-280			300-1000	
		Šedá ^{RI}	140-210	0,25-0,70		300-1500	
			220-240			300-1200	
			250-280			300-1000	
	Šedá ^F	140-280	0,15-0,35	>1,0	300-1500		
	SL550C	Tvárná ^{RC}		0,25-0,60	>1,5	400-600	450
				0,25-0,60	>1,5	150-450	350
		Tvárná ^{RI}		0,25-0,40	>0,5	350-700	500
				0,10-0,25	<2,0	400-600	450
Tvárná ^{SRC}			0,10-0,25	<2,0	150-350	350	
Tvárná ^{SRI}		0,10-0,25	<1,5	350-700	500		
Iscar	IN23	Šedá	160-250	0,10-0,40	1,0-4,0	200-600	
		Tvárná	180-260	0,05-0,20	1,0-3,0	100-400	
	IS8	Šedá	160-250	0,10-0,60	2,50	200-800	
		Tvárná	180-260	0,05-0,30	1,0-3,0	50-300	
Kennametal	KY1310	Šedá				400-1000	
Stellram	SA8204	Šedá				150-800	
		Temper.				150-470	
		Tvárná				150-690	
	SA7202	Šedá				150-750	
		Temper.				150-410	
		Tvárná				450-605	

^R) Hrubování, ^{RC}) Hrubování nepřerušovaným řezem, ^{RI}) Hrubování přerušovaným řezem, ^{SRC}) Polohrubování nepřerušovaným řezem, ^{SRI}) Polohrubování přerušovaným řezem.

V tabulce pro obrábění litiny v rozmezí K10-K20 udávají někteří výrobci (např. Sandvik Coromant) podrobné informace, jak o materiálu obrobku, tak o řezných podmínkách, které plně informují o rozsahu použití dané řezné destičky. Jiní výrobci (např. Stellram) udává pouze druh litiny bez další specifikace. Nevýhodou je také to, že firma Stellram neudává velikosti posuvu ani údaj a_p. Firma Ceramtec udává u svých řezných destiček i druh operace, při které je možno destičku použít. (19)

Tab. 3-3. Doporučené řezné podmínky pro litiny (K20-K35).

Výrobce	Označení	Druh	f [mm]	a _p [mm]	v _c [m/min]
					Rozsah
Iscar	IS80	Šedá	0,10-0,50	2,0-5,0	200-1000
Kennametal	KY3500	Šedá			300-1000
		Tvárná			280-480
	KY3400	Tvárná			280-580

Tab. 3-4. Doporučené řezné podmínky pro žáruvzdorné slitiny (S05-S20).

Výrobce	Označení	Materiál	Stav	f [mm]	a _p [mm]	v _c [m/min]	
						Rozsah	Optim. hodnota
Sandvik Coromant	CC670	Slitiny Ni	Žíhané	0,10-0,45	0,3-5,0	180-500	350
			Vystárnuté	0,05-0,25	0,3-5,0	180-400	300
			Odlévané	0,05-0,20	0,3-5,0	180-230	200
		Slitiny Co	Žíhané	0,10-0,25	0,3-5,0	180-350	250
			Homogenizované a vystárnuté	0,05-0,20	0,3-5,0	190-300	200
			Odlévané	0,05-0,20	0,3-5,0	180-250	200
	CC6080	Slitiny Ni	Žíhané	0,10-0,25	0,3-5,0	220-380	250
			Vystárnuté	0,05-0,20	0,3-5,0	180-300	200
			Odlévané	0,10-0,15	0,3-5,0	170-240	200
Stellram	SA8405	Slitiny Ni				100-200	
		Slitiny Fe				115-230	
		Slitiny Co				90-160	

Řezná keramika v tabulce je především určena pro obrábění slitiny, z čehož plyne malé zastoupení firem i řezných destiček v porovnávací tabulce pro žáruvzdorné slitiny v rozsahu S05-S20. Řezné rychlosti jsou zde výrazně nižší, než u obrábění litiny. (19)

Tab. 3-5 Doporučené řezné podmínky pro tvrdé materiály (H01-H10).

Výrobce	Označení	Materiál	Stav	f [mm]	a _p [mm]	v _c [m/min]	
						Rozsah	Optim. hodnota
Iscar	IN22	Tvrzená litina	400 HB			30-170	
Sandvik Coromant	CC650	Kalená ocel		0,05-0,20	0,1-0,4	60-180	120
	CC670	Kalená ocel		0,05-0,28	0,1-0,4	90-180	140
	CC1690	Tvrzená litina	S kůrou	0,75-1,1	2,0-5,0	25-75	45
	CC650	Tvrzená litina	Bez kůry	0,25-1,0	1,5-4,0	30-150	
Stellram	SA7402	Kalená ocel	>1400 MPa >415 HB			20-85	
		Tvrzená litina	1400 MPa 400 HB			20-85	
	SA8405	Tvrzená litina	40-60 HRC	0,15-0,25	0,75-2,0	75-110	
		Slitiny Fe		0,07-0,13	0,25	100-140	

Řezná rychlost při obrábění kalených ocelí a tvrzených litin jsou velmi malé v porovnání s obráběním litiny. Při obrábění destičkami z řezné keramiky se doporučuje odstranění kůry jiným řezným materiálem, ale břitová destička GC 1690 od firmy Sandvik Coromant umožňuje obrábění tvrzené litiny i bez předchozího odstranění kůry při doporučené řezné rychlosti 45 m/min. (19)

4. Technicko-ekonomické hodnocení

Cílem této kapitoly není uvádět konkrétní ceny produktů, či který výrobce uvádí na světový trh kvalitnější nebo levnější výrobek oproti konkurenci. Takové srovnávání by nebylo objektivní, protože každý výrobce má trochu jiné složení výrobku, hodící se pro různé aplikace nebo řezné rychlosti. V kapitole budou upřednostňovány zejména závislosti řezných rychlostí, opotřebením bříty, trvanlivosti nástroje a uvést možnosti efektivního obrábění.

Efektivnost při obrábění lze zvyšovat například zvyšováním otáček a posuvu, tím dojde ke zkrácování řezných časů a tím se krátí doba trvanlivosti nástroje. V dnešní době se vývoj nejvíce zaměřuje na zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností.

Trvanlivost řezného nástroje – čistá doba, po kterou řezný nástroj pracuje od začátku obrábění až do opotřebením bříty na předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria (byla zachována geometrická přesnost obrobku, drsnost povrchu, atd.).

Životnost nástroje – je součet všech trvanlivostí, nebo také jako celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti až po jeho vyřazení.

Trvanlivost nástroje, stejně jako opotřebením závisí zejména na metodě obrábění (soustružení, frézování atd.), vlastnostech obrobku tak nástroje a řezných podmínkách. Z řezných podmínek má na trvanlivost největší vliv řezná rychlost. Závislost těchto dvou veličin je dána "T- v_c závislost" (Taylorův vztah). (6)

$$T = f(v_c) = \frac{C_T}{v_c^m} \text{ [min]} \quad (5.1)$$

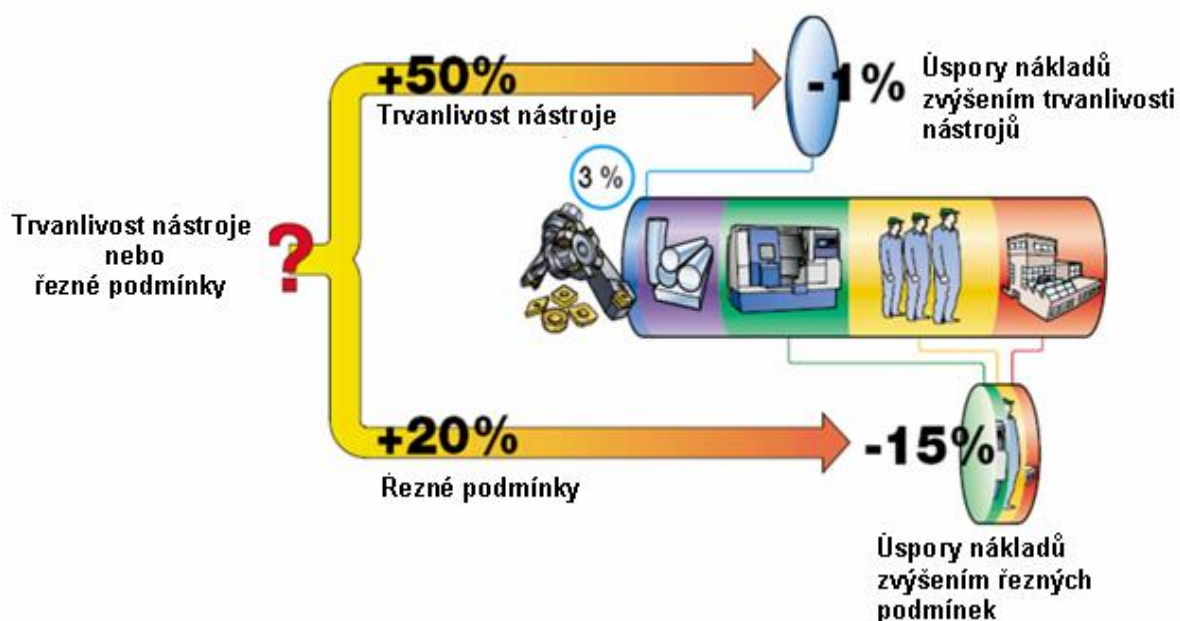
kde: C_T [-] – konstanta,
 v_c [m/min] – řezná rychlost,
 m [-] – exponent,

Konstanta C_T je závislá především na materiálu obrobku a nástroje. Nabývá hodnot 10^8 až 10^{12} . Exponent m charakterizuje především vlastnosti řezného nástroje:

nástrojová ocel	$m=10-8$	(až 6)
rychlořezná ocel	$m=8-5$	(až 3)
slinutý karbid	$m=5-2,5$	(až 2)
řezná keramika	$m=2,5-1,5$	(až 1,2)

Pokud výrobci uvádí reálné hodnoty C_v a m pro vztah T- v_c závislosti a ceny nabízených produktu, lze najít podmínky výhodné nejen z hlediska úběru obráběného materiálu, ale i ekonomických nákladů.

Další možností jak lze zvýšit úspory nákladů vynaložených na obrobení součástí ukazuje obr. 4-1.



Obr.4-1. Vliv řezných podmínek na úspory nákladů (16)

Jestliže-li se zvýší trvanlivost řezného nástroje o 50%, vlivem snížení řezných rychlostí, posuvů, množství odebírané třísky, tak celkové úspory činí 1%. Při opačném postupu, kdy zvýšíme řezné podmínky o 20%, (využívány vyšší výkony stroje, tudíž menší počet strojů a obsluhy) budou celkové úspory 15%.

Trendem dnešní doby je tedy už zmiňované použití co nejmodernějších a nejefektivnějších řezných nástrojů, které umožňují obrábět při maximálních řezných rychlostech. Další variantou se nabízí, zvýšením otáček vřetene, tím dojde k větší produktivitě stoje za cenu zkrácení trvanlivosti řezného nástroje. U řezného nástroje (vyměnitelné destičky z ŘK) se sice musí provádět jejich častější výměna. Ovšem cena řezného nástroje proti stroji či platu personálu je podstatně nižší. Záleží jen na spotřebiteli jakou variantu si zvolí.

Závěr

Vývoj technologií obrábění zajišťuje nejen zvyšování výkonů při úběru materiálu, ale i vyšší rozměrovou a tvarovou přesnost, jakost obrobených povrchů, zkrácení časů obrábění a snížení podílu pracovníka na obsluze obráběcího stroje.

Světový přední výrobci řezných nástrojů, se proto snaží zdokonalovat optimální řezné podmínky (hloubky řezu, posuvu a řezné rychlosti) a optimální trvanlivosti nástroje. Řezné nástroje z keramiky zajišťují vysokou produktivitu výroby při obrábění. Dosahují požadované jakosti obrobeného povrchu, zvyšuje se jejich použitelnost, atd. Výrobci úzce spolupracují s uživateli, a snaží se vyrobit řezné nástroje na míru dle individuálních požadavků. To vede k efektivnějšímu využití nástroje, a tím i snížení celkových nákladů.

Vývoj se dnes nejvíce zaměřuje na využití nových materiálů, které při značné otěruvzdornosti a delší trvanlivosti bříty dobře snášejí tepelné a dynamické namáhání i při velkých provozních rychlostech. Mezi ně se řadí i keramické řezné materiály, u kterých se za poslední léta výrazně zlepšily jejich vlastnosti. To umožnilo podstatné rozšíření jejich aplikace ve strojírenské praxi, kde nalézají stále širší uplatnění u obrábění s plynulým řezem (soustružení), ale i u obrábění s řezem přerušovaným (frézování). Pro použití keramických řezných nástrojů musí mít stroje dostatečný výkon elektromotorů, velký rozsah vřetené otáček a posuvů, vysokou tuhost, zakrytovaný pracovní prostor a zajištěný odvod třísek.

Řeznou keramiku (ŘK) dnes řadíme mezi vysokovýkonné řezné materiály vyznačující se vysokou tvrdostí, odolností proti opotřeбенí za vysokých teplot a nízkou houževnatostí a měrnou hmotností. Jsou vhodné pro velkosériovou výrobu při stálých podmínkách obrábění. Využívají se zejména pro obrábění tvrzené litiny, tvrzené oceli, povrchově cementované a cementované oceli či kalené oceli.

Tato bakalářská práce se zabývá rozdělením keramických břitových destiček v sortimentu světových výrobců řezných materiálů (Ceramtec, Kenemetal, Sandvik Coromant, atd.). Vybrané břitové destičky jsou seřazeny v přehledných tabulkách, kde spolu s nimi jsou uvedeny řezné podmínky, složení, typ operace a druh materiálu pro kterou je daná břitová destička vhodná. Toto značení je typické pro slinuté karbidy, ale výrobci řezné keramiky toto značení používají pro lepší orientaci zákazníka. Srovnáním břitových destiček různých výrobců, při obrábění stejného materiálu lze pozorovat viditelné odlišnosti ve velikosti např. řezné rychlosti či posuvu.

Resumé

Práce je zaměřena na řeznou keramiku a jejich efektivní využití v oblasti především zabývající se soustružením. Zpracovává údaje od významných světových výrobců řezných materiálů (řezné keramiky) a snaží se porovnat dané produkty mezi sebou. Vyměnitelné břitové destičky jsou seřazeny dle normy ISO 513 do určitých skupin dle obráběného materiálu, tak aby výsledné hodnoty řezné rychlosti byly co možno nejpřesnější.

Úvodní část práce se zabývá mechanickými a fyzikálními vlastnostmi řezné keramiky, jejím rozdělením a značení a výroby základních druhů řezné keramiky (na bázi oxidů a nitridů).

Hlavní zaměření práce je porovnání řezných podmínek (v_c , a_p , f), které doporučují přední světový výrobci řezných materiálů pro obrábění řeznou keramikou v závislosti na obráběném materiálu.

V technicko-ekonomickém rozboru se práce zabývá problematikou efektivnosti při třískovém obrábění kovů, kterou lze zvyšovat zkracováním řezných časů a zlepšováním řezných podmínek .

Summary

Literatura

1. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění* – Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia. 1997. 857 s. Přel. Z: Modern Metal Cutting- A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. KOČMAN, K.- PROKOP, J.: *Technologie obrábění, akademické nakladatelství CERM*. Brno: 2001. ISBN 80-214-1996-2.
3. LEEA, T.-C., JIANXIMB,D. Ultrasonic erosion of whisker-reinforced ceramic composited. *Ceramic International*. 27(2001).pp. 755-760. ISSN 02634368.
4. LI,X.S. Ceramic cutting tool –an introduction. *Key Enginering Materiále*.Vol .96. 1994. pp. 1-18.
5. PTÁČEK, L. a kol. *Nauka o materiálu II.*, akademické nakladatelství CERM, Brno : 2000. 393 s. ISBN 80 -7204 -130 - 4.
6. HUMÁR,A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vydání. Brno: CCB. 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.

7. CERAMTEC. *Cutting tools produkt*. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web:
<http://www.ceramaseal.com/products/cutting_materials/applications.cfm>.
8. ČEP, R. *Nové metody řezivosti řezné keramiky*, Ostrava: VŠB-TU Ostrava,2003.
9. GREENLEAF CORPORATION.Seagertown, Pennsylvania, USA. *WG-300*. [online]. Dostupné na World Wide Web:<<http://www.greenleafcorporation.com/image/PDF/WG-300.pdf>>.
- 10.HHS.*HIP turnace*. . [online]. Dostupné 19.05.2008 na World Wide Web: <<http://global.kyocera.com/prdct/tool/ceratip/repert/ceramic.html>>.
- 11.ISCAR.: *Cutting Ceramic*. [online]. Dostupné 19.05.2008 na World Wide Web: <<http://www.carbidedepot.com/iscar-gradecharts.htm>>. <<http://www.carbidedepot.com/iscar-spdsfds.htm>>.
- 12.KYOCERA. *Ceramics*. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web: <<http://global.kyocera.com/prdct/tool/ceratip/repert/ceramic.html>>.
- 13.MATSUMOTO, H. *High power coupler issues in normal conducting and super-conducting accelerator application*. [online]. Dostupné na World Wide Web:<<http://lcdev.kek.jp/Conf/PAC99/THCR1.pdf>>.
- 14.NTK. *Ceramics series*. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web: <<http://www.ntktech.com/ctroot/ceramic.htm>>.

15. SAINT-GOBAIN ADVANCET CERANICS: *Specifikace řezné keramiky*. 2005. [online]. Dostupné 20.3.2006 na World Wide Web:<<http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210&lang=cs>>.
16. SVDVIK COROMANT. *Cutting tools* . [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web:<<http://coroguide.coromant.sandvik.com/default.asp?LangID=ENG>>.
17. STELLRAM. *Turning grades*. [online]. Dostupné 11.02.2007 na World Wide Web: <<http://www.stellram.com/Turning/ceramics.htm>>.
18. SUMITOMO ELECTRIC. *Recommended running condition*. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web:<http://www.sumicarbide.com/pdf/turn/TB_RecRun_CCC.pdf>.
19. AMBROŽ, M. *Řezná keramika a její efektivní využití*, BC FSI VUT v Brně 2006, 49 s.
20. TOSHIBA TUNGALOY AMERICA. *Turning insert ceramics*. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web:<<http://www.tungaloyamerica.com/>>.
21. VALENITE. *Valturn - turning system*. [online]. Dostupné 23.06.2007 na World Wide Web:<<http://www.valenite.com/>>.
22. WIDIA. *Cutting tools* . [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web: <http://www.widia.com/widia/en/pdf/Widia_ESP_INCH_1-115.pdf>.
23. WIKIPEDIE. Otevřená encyklopedie. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web:<http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlav%C3%AD_strana>.
24. WHITNEY, E.D. *Ceramic cutting tool- Materiále, Development and Performance*. Noyes Publication . Park Ridge. New Persey, USA. 1944. 357 p. ISB 0-8155-1355-0. [online]. Dostupné na World Wide Web:<<http://www.knovel.com/knovel2/Toc.jsp?bookID=241>>.



Vysoké učení technické v Brně
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
Ústav strojírenské technologie
Odbor technologie obrábění

Řezná keramika a její efektivní využití

bakalářská práce

Zadání:**Řezná keramika a její efektivní využití.**

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

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou 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.

Datum:

.....

Podpis bakaláře

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. ANTONU HUMÁROVI, CSc. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce, a Ing. Pavlu Adamovi za odborný překlad z cizího jazyka.

Anotace

Prášek Vladimír
Řezná keramika a její efektivní využití.
BP, ÚST, 2008, str. 39 obr. 16 Přílohy 2

Charakteristika řezné keramiky, vývoj, rozdělení, popis výroby a výchozí materiály, základní fyzikálně-mechanické vlastnosti. Sortiment výrobků domácích a světových producentů řezných nástrojů. Doporučené pracovní podmínky. Technicko-ekonomické hodnocení.

Klíčová slova

Řezná keramika, výrobci, doporučené řezné podmínky, výroba řezné keramiky, porovnání keramických destiček.

Summary

Characterization of cutting ceramics, development, classification, production and starting material, basic physical-mechanical properties. Products assortment of world-wide producers of cutting tools. Recommend cutting conditions.

Key words

Cutting ceramics, producers, recommended cutting conditions, production cutting ceramics, comparison ceramics plates.

Seznam použitých značení, symbolů a zkratk

Značení	Jednotky	Význam
C_T	[-]	konstanta pro T-v závislost
C_v	[-]	konstanta pro T-v závislost
HB	[MPa]	pevnost podle Brinella
HIP		vysokoteplotní izostatické lisování
HRC	[MPa]	pevnost podle Rockwella
HV	[MPa]	pevnost podle Vickerse
ISO		International Organization for Standardization mezinárodní organizace pro standartizaci
KNB		kubický nitrid boru
NC		číslicově řízený stroj
RO		rychlořezná ocel
ŘK		řezná keramika
Sialon		keramika na bázi Si_3N_4
STM		supertvrdé materiály
SK		slinutý karbid
T	[min]	trvanlivost
T- v_c		Taylorův vztah
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
f	[mm]	posuv na otáčku
m	[-]	exponent
n	$[\text{min}^{-1}]$	otáčky
v_c	[m/min]	řezná rychlost

Seznam tabulek, obrázků a grafů

- Obr. 1 Rozsah použití ŘK v závislosti rychlost/posuv
Obr. 1-1 Závislost tvrdosti na teplotě
Obr. 1-2 Tvary vyměnitelných destiček z ŘK
Obr. 1-3 Tvary hřbetů nástroje
Obr. 1-4 Oxidová keramika lisovaná za tepla, studena
Obr. 1-5 Směsná keramika firmy ISCAR
Obr. 1-6 Keramika na bázi keramika na bázi Si₃N₄ od firmy NTK
Obr. 1-7 Sialonová keramika CC6080 od firmy Sandvik Coromant
Obr. 1-8 Proces slinování
Obr. 1-9 Vliv vyztužujících vláken na vlastnosti oxidových keramik
Obr. 1-10 Whiskery
Obr. 1-11 Slinovací pec HIP od firmy HHS
Obr. 1-12 Rozdíly ve struktuře
Obr. 1-13 Vliv HIP na pórovitost
Obr. 1-14 Povlakovaná destička GC1690 od firmy Sandvik Coromant
Obr. 4-1 Vliv řezných podmínek na úspory nákladů
- Tab. 1-1 Porovnání základních vlastností ŘK
Tab. 1-2 Porovnání keramiky s jinými řeznými materiály
Tab. 1-3 Závislost délkové roztažnosti na teplotě
Tab. 1-4 Srovnávání teploty tavení a tvrdosti
Tab. 1-5 Vliv metody HIP na vlastnosti
Tab. 2-1 Saint-Gobain ceramic
Tab. 2-2 CeramTec SPK cutting tools
Tab. 2-3 Iscar
Tab. 2-4 Kennametal Hertel AG
Tab. 2-5 Kyocera Advantec ceramics
Tab. 2-6 Sandvik Coromant
Tab. 2-7 Sumitomo electric
Tab. 2-8 Stellram
Tab. 2-9 Tungaloy
Tab. 2-10 Kruup Widia
Tab. 3-1 Doporučené řezné podmínky pro litiny
Tab. 3-2 Doporučené řezné podmínky pro litiny
Tab. 3-3 Doporučené řezné podmínky pro litiny
Tab. 3-4 Doporučené řezné podmínky pro žáruvzdorné slitiny
Tab. 3-5 Doporučené řezné podmínky pro tvrdé materiály
Tab. 4-1 Vliv pracovních podmínek na úspory nákladů

Obsah

Zadání	2
Čestné prohlášení.....	3
Poděkování.....	4
Anotace.....	5
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	6
Seznam tabulek, obrázků a grafů.....	7
Obsah.....	8
Úvod.....	9
1. Charakteristika řezné keramiky.....	10
1.1. Vývoj.....	10
1.2. Vlastnosti řezné keramiky.....	11
1.2.1. Zákonitosti použití vyměnitelných břitových destiček.....	13
1.3. Rozdělení řezné keramiky	14
1.4. Výroba řezné keramiky.....	17
2. Řezná keramika v sortimentu nejvýznamnějších světových výrobců nástrojů a řezných materiálů.....	23
3. Doporučené pracovní podmínky pro efektivní využití řezné keramiky....	31
4. Technicko-ekonomické hodnocení.	34
Závěr.....	36
Literatura.....	38

Úvod

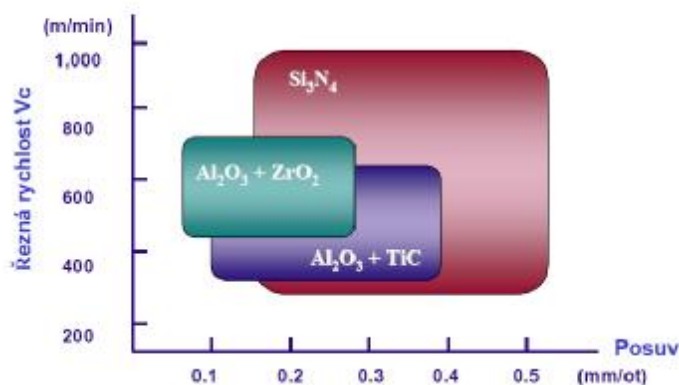
Dnešní doba přináší široký výběr keramických řezných materiálů, které prošly různými etapy vývoje. Celosvětový intenzivní vývoj začala druhá světová válka, kdy země jako je Německo neměly přístup k ložisku kobaltu, které bylo hlavním pojivem karbidů. To byl hlavní podnět vynaleznout nové řezné materiály, které nebudou obsahovat pojivo, a nebo musí obsahovat lehce dostupné suroviny. Tehdy se začaly vyvíjet a vyrábět řezné materiály z keramiky. Nejvýraznější rozvoj přišel v 2. polovině 19. století nástupem číslicově řízených obráběcích strojů, vyznačující se vysokou tuhostí a velkými výkony elektromotorů. To byl nový podnět pro zdokonalování vlastností řezné keramiky.

Řezná keramika, která se svými vynikajícími vlastnostmi řadí mezi vysokovýkonné nástrojové materiály, se vyznačuje vysokou tvrdostí, odolností proti působením vysokých teplot a nereagováním chemicky s materiálem obrobku. Hlavní zápornou vlastností řezné keramiky je nízká houževnatost (křehkost).

Rozdělení řezné keramiky je dáno normou ČSN ISO 513. Přestože tato norma existuje, mívají keramické řezné materiály (vyměnitelné destičky) obchodní označení výrobce. Důvodem je stále nevdžitá norma a z části rychlý rozvoj nových typů řezných materiálů. Nejzákladnější rozdělení řezné keramiky se dá označit jako keramika na bázi oxidu hlinitého a nitridu křemíku či jejich kombinací. Bližší rozdělení je velmi široké. Ať už udává zda se jedná o keramiku čistou, směsnou, vyztuženou vlákny (pomocí whiskerů), či způsob lisování, slinování či použití metody HIP.

Rozhodujícím ekonomickým faktorem v současné době je efektivnost řezného nástroje a relativně nízkou výrobní cenu. To vede přední světové výrobce k výrobě nových řezných materiálů dosahujících vyšších řezných rychlostí, delší trvanlivosti bříty, odolnější tepelnému a dynamickému namáhání.

Cílem této bakalářské práce je seznámení se různými druhy řezné keramiky, jejich výrobou, značením a vlastnostmi. Hlavním cílem je porovnání keramických řezných materiálů v sortimentu světových výrobců řezných materiálů. Práce je především zaměřena na oblast soustružení.



Obr.1 Rozsah použití řezné keramiky v závislosti řezná rychlost/posuv (8)

1. CHARAKTERISTIKA ŘEZNÉ KERAMIKY

1.1 Vývoj

20 ÷ 30. léta minulého století: Počáteční pokusy s užitím keramického řezného nástroje v průmyslu na bázi oxidů spadá do 20. let minulého století, kde hlavní vývojové země bylo Německo a Velká Británie. První keramický materiál na bázi Al_2O_3 , použitelný pro řezný nástroj, se podařilo německé firmě Degussa v období 2. světové války a to při výzkumných pracích zaměřených na náhradu slinutých karbidů typu WC-Co.

40. léta minulého století: O poměrně velikém zájmu ve světě o výrobky firmy Degussa, výrobu zahajují v Rusku, kde první keramický nástroj byl označen Mikrolite a také v USA. V těchto letech se začal vyrábět i slinutý Al_2O_3 a koncem i vysokoteplotně lisovaný. (4)

50. léta minulého století: Začátkem těchto let se díky rozsáhlému světovému výzkumu začínají aplikovat slinuté keramické materiály na bázi $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO}$ (0,5 ÷ 1 %). Vlivem vydrolování ostří bylo použití omezeno zejména pro jemné soustružení. Koncem 50. let se byly vyráběny keramiky typu $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$.

70. léta minulého století: Keramika typu $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$, je vyráběná metodou vysokoteplotního lisování. Důsledkem je zvýšená odolnost proti vydrolování ostří, vyšší ohybová pevnost, lomová houževnatost a tím je i zaručenější spolehlivost řezného nástroje. Slinovací proces se postupem času změnil z vysokoteplotního lisování na vysokoteplotní izostatické lisování (HIP). Bylo také zjištěno, že na pevnost keramického nástroje má vliv tvar břitové destičky a poloměr zaoblení špičky.

80 ÷ 90. léta minulého století: Byly vyrobeny další typy oxidové keramiky jako je $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$, která je vhodná pro obrábění šedé litiny, či $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiCN}$ vhodná pro obrábění kalených ocelí. Později se keramika začíná vyztužovat vlákny SiC (whiskery). Její ohybová pevnost je stejná jako u keramik typu $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$, ale lomová houževnatost je mnohem větší. Přidáním vláken SiC se značně zlepšila odolnost proti vylamování a vydrolování ostří, v důsledku mechanického zpevnění a vyšší odolnosti proti oxidaci. Výrobní novinkou se stala keramika na bázi Si_3N_4 . (1)

90. léta minulého století ÷ současnost: Během těchto let se na trhu objevují stále noví výrobci řezné keramiky, přední světový výrobci vyvíjí nové technologie (např. zapouzdřené slinování) a vylepšování jejich vlastností, tvary destiček, utvařeču třísky. Díky novým vysoce výkonným strojům se řezná keramika využívá stále více po celém světě.

1.2 Vlastnosti řezné keramiky

Keramiky je polykrystalický materiál se zrny malých rozměrů (velmi často pod $1 \mu\text{m}$), který obsahuje náhodné technologické defekty a mikrostrukturní nehomogenity. Vyznačuje se zejména vysokou tvrdostí, nízkou lomovou houževnatostí a nízkou měrnou hmotností. Pro novou keramiku je charakteristické to, že je vyráběna z poměrně čistých surovin a často z čistých výchozích chemikálií, jako keramika syntetická. Většina látek zařazovaných pod pojem „nová keramika“ jsou látky krystalické na rozdíl od tradiční keramiky, která obsahuje značný podíl skelné (amorfní) fáze. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými a kovalentními, kde jejich vazba není čistě iontová nebo čistě kovalentní, ale obvykle se vyskytují oba typy vazeb současně. V krystalické struktuře tvořící základ keramických materiálů, převažují složité mřížky kubické a hexagonální. Následující tabulka uvádí porovnání základních fyzikálních a mechanických vlastností řezných keramik.

Tab.1-1. Porovnání základních vlastností řezných keramik (6)

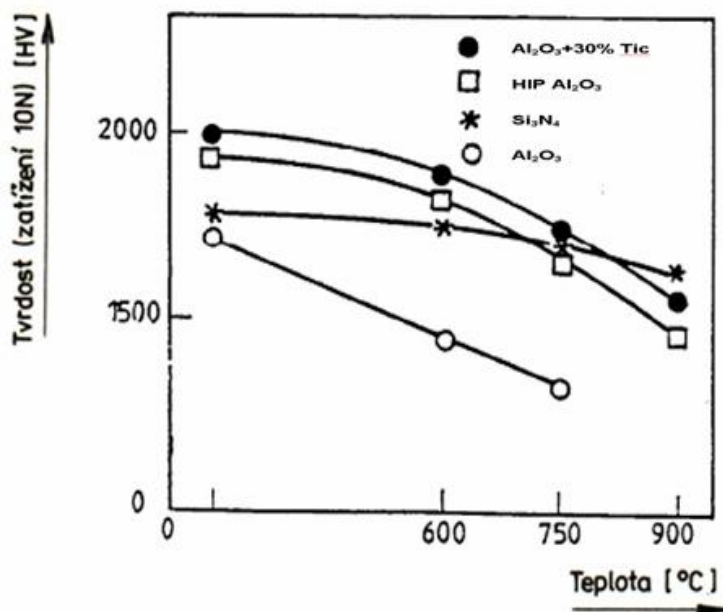
Vlastnost	Nástrojový materiál			
	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TIC}$	$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{přísady}$	
Měrná hmotnost [g/cm^3]	3,8 + 4,0	4,3 + 4,3	3,2 + 3,4	
Pevnost v ohybu [MPa]	600 + 800	600 + 900	500 + 950	
Tvrdost	[HV]	1600 + 2200	1000 + 2400	1800 + 2000
	[HRA]	91 + 94	95 + 95	86 + 95
Modul pružnosti v tahu [GPa]	340 - 400	370 + 420	300 + 380	
Součinitel délkové roztažnosti [$10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$]	7,0 + 8,5	7,0 + 8,5	1,5 + 3,5	
Měrná tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	20 + 30	20 + 25	30 + 50	
Lomová houževnatost [$\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$]		4 + 6	5 + 7	

(8)

Tab.1-2. Porovnání řezných keramik proti jiným řezným materiálům (8)

Vlastnosti		SK, K10	Keramika	PKNB	PKD
Mechanické	Hustota [g/cm^3]	14÷15	3,8÷5,0	3,4÷4,3	3,5÷4,2
	Tvrdost HV 30	1500÷1700	1800÷2500	3000÷4500	4000÷5000
	Modul pružnosti [GPa]	590÷630	300÷400	580÷680	680÷810
	Lomová houževnatost [MPa]	10,8	2až3	3,7až6,3	6,8až8,6
Tepelné	Teplotní stabilita [$^{\circ}\text{C}$]	800÷1200	1300÷1800	1500	600
	Tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	100	30÷40	40÷100	560
	Součinitel tepelné roztažnosti [$10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$]	5,4	7,5÷8,0	3÷4,5	4,2÷4,9

Keramické řezné materiály jsou velmi tvrdé i při tepelné zátěži a nereagují chemicky s materiálem obrobku. Zaručují vysokou trvanlivost břitu, snášejí vysokou teplotu na břitu (až 1350 °C) a mohou být použity při řezných rychlostech 300 až 1800 m.min⁻¹.



Obr. 1-1. Závislost tvrdosti na teplotě (8)

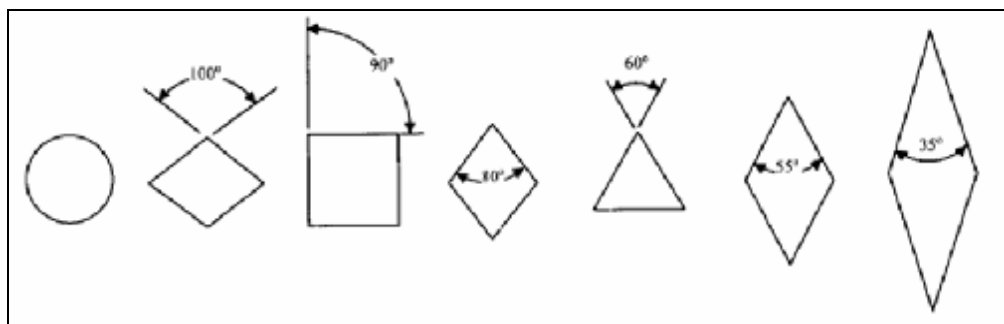
Při tepelném zpracování polykrystalické keramiky je anizotropie délkové roztažnosti nekubických krystalů jednou z příčin vnitřních napětí, ty mohou vést ke vzniku mezikrystalických trhlin. Malá tepelná vodivost má negativní vliv na vnitřní napětí, protože se mění s nárůstem teplot.

Tab.1-3. Závislost délkové roztažnosti na teplotě (6)

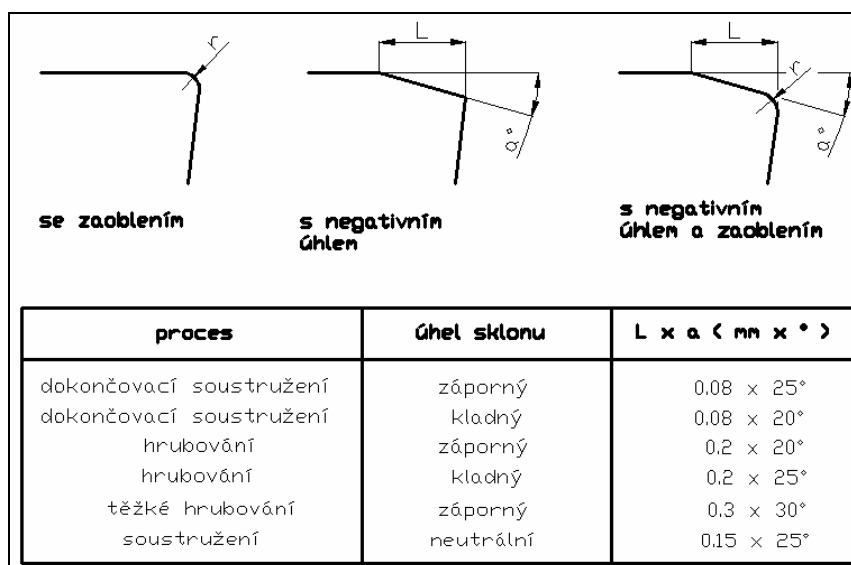
Materiál	$a [10^{-6} K^{-1}]$ pro rozsah teplot [K]											
	298 ÷ 373	373 ÷ 473	473 ÷ 573	573 ÷ 673	673 ÷ 773	773 ÷ 873	873 ÷ 973	973 ÷ 1073	1073 ÷ 1173	1173 ÷ 1273	1273 ÷ 1373	1373 ÷ 1473
Al ₂ O ₃ +TiC	7,38	7,22	7,43	7,58	7,71	7,90	8,07	8,10	8,18	8,33	8,53	8,6
Si ₃ N ₄	2,50	2,70	2,95	3,17	3,23	3,40	3,52	3,81	4,09	4,06	4,51	4,6

1.2.1 Zákonitosti použití vyměnitelných břitových destiček

Keramické břitové destičky mají většinou „negativní“ provedení, které zajišťuje nejvyšší možnou stabilitu a spolehlivost při obrábění. Fazetky různých provedení umožňují provádět hrubovací a dokončovací operace. Pokud to technologie dovolí volíme řeznou destičku s co největším poloměrem špičky (nejlépe kruhového tvaru) v důsledku zajištění dostatečné stability řezného procesu. Tloušťka břitové destičky zajišťuje bezpečnost při práci (1). V následujícím obrázku jsou znázorněny tvary keramických řezných destiček (zleva od nejideálnějšího tvaru po nejméně ideální tvar).



Obr. 1-2. tvary vyměnitelných destiček z ŘK



Obr. 1-3. Druhy hřbetu nástroje

Stroje, na kterých se řezná keramika používá, musí mít dostatečný výkon, rozsah otáček, tuhost a přesnost chodu vřetena. Obrobky musí být dostatečně kompaktní, bez sklonu ke chvění a musí umožňovat tuhé upnutí. Při jiskření nebo žhnutí destičky do červeného žáru jsou řezné podmínky vysoké a musí se snížit. Chlazení nástroje se používá jen výjimečně. Dalším kritériem je odstranění kůry obráběného materiálu zejména u odlitků a výkovků jiným řezným materiálem, který má vyšší odolnost proti abrazivnímu mechanismu opotřebení. Velmi podstatná je také najíždění a vyjíždění z řezu, které probíhá za snížených hodnot posuvu. (1,6)

1.3 Rozdělení řezné keramiky

Podle ČSN ISO 513 (22 0801) se pro rozdělení a značení keramických řezných materiálů používají symboly: (3)

CA - oxidická keramika na bázi Al_2O_3 ,

CM - směsná keramika na bázi Al_2O_3 s přísadou neoxidických komponent,

CN - neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku Si_3N_4 ,

CC - povlakovaná keramika CA, CM, CN,

Dle jiné definice rozdělení řezné keramiky můžeme k oxidické keramice zařadit ještě keramiku polosměsnou, která používá též symbol CA.

Pro lepší orientaci výrobci také používají členění převzaté od slinutých karbidů, které označuje oblast použití řezné keramiky. Základními skupinami pro keramické řezné materiály jsou P, K, S, H a zřídka i skupina M

P- oceli

M- korozivzdorná ocel

K- litiny

S- žáruvzdorné slitiny

H- kalená ocel

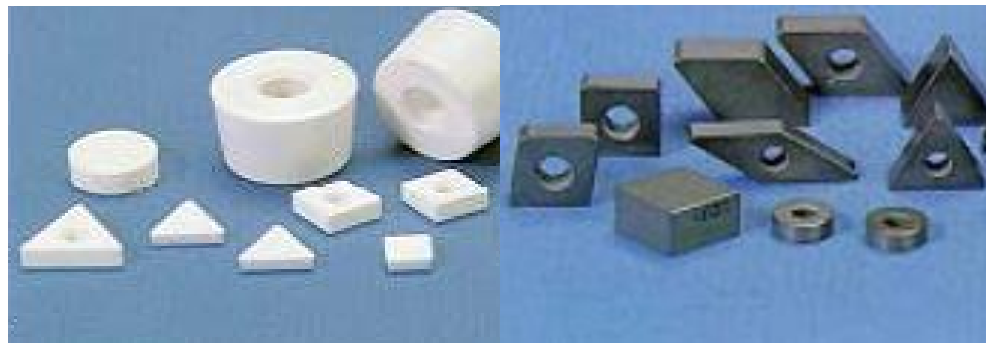
Přesto že existuje norma ČSN ISO 513 (22 0801), mívají řezné materiály většinou obchodní označení výrobce. Hlavním důvodem je, že se písemné symboly uvedené v této normě nevžily a také je to dané zčásti prudkým rozvojem výroby nových typů řezných materiálů.

Řezná keramika oxidová

Řeznou keramiku na bázi Al_2O_3 lze rozdělit na čistou, polosměsnou a směsnou, kde základní surovinou je velmi čistý a jemnozrný oxid hlinitý, s malým množstvím přísad (oxid zirkoničitý, karbid titanu,).

Čistá keramika

Obsahuje až 99,9 % oxidu hlinitého Al_2O_3 , má relativně nízkou pevnost, houževnatost a také malou tepelnou vodivost. (1) Tyto vlastnosti mají za následek vylamování břitů při nepříznivých podmínkách obrábění. Čistá keramika je doporučována většinou pro soustružení, vrtání a drážkování šedé litiny, uhlíkových a nízkolegovaných ocelí při použití řezné rychlosti přesahující $150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Barva čisté keramiky lisované za studena je bílá, u keramiky lisované za tepla je šedá. (2)



Obr. 1-4. Oxidová keramika lisovaná za studena (vlevo) a za tepla (vpravo) (14)

Polosměsná keramika

Vzniká přidáním různých přísad do čisté keramiky, nejčastěji oxidu zirkonu ZrO_2 až do 20 %. Polosměsná keramika obsahuje navíc další přísady v kombinaci $Al_2O_3 + ZrO_2$, $Al_2O_3 + ZrO_2 + CoO$. Výhody druhů, obsahující zirkon, spočívá v jejich zlepšené houževnatosti. Použití pro soustružení tvárné a kujné litiny, uhlíkové, legované a nástrojové oceli vytvrzenou na 68 HRC. Vyměnitelné břitové destičky vyráběné za tepla mají černou barvu.

Směsná keramika

Obsahuje vedle korundu Al_2O_3 přísadu 20-40% karbidu titanu TiC . Tento materiál má v porovnání s čistou keramikou větší odolnost proti tepelným a mechanickým rázům. Je doporučována pro frézování šedé litiny a ocelí, pro soustružení načisto a jemné soustružení ocelí cementačních, zušlechtěných a tvrdé litiny, či dokončovací obrábění žáruvzdorných superslitin, litin a ocelí. Při výrobě vyměnitelných destiček za tepla mají tyto keramické destičky černou barvu. (1,6)



Obr. 1-5. směsná keramika firmy ISCAR (11)

Řezná keramika nitridová

Řezná keramika na bázi nitridu křemíku je naprosto rozdílný materiál co se týká oproti oxidu hlinitého. Má lepší houževnatost a chování při tepelném šoku a vysokou odolnost proti mechanickému porušení břitů. Proto se doporučuje pro dokončování i hrubování šedé litiny (zde nemá konkurenci co se týče objemem odebíraného materiálu při obrábění), litiny s hrubou licí kůrou. Je vhodná i pro přerušované řezy, odolná proti teplotním rázům, vhodná pro soustružení žárovevných slitin na bázi niklu a též pro kolísající hloubku řezu. Řeznou keramiku na bázi nitridu křemíku lze též vyztužit pomocí whiskerů. Tento řezný materiál je doporučován pro obrábění šedé litiny za sucha i při chlazení, řeznými rychlostmi až $400 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.



Obr. 1-6. keramika na bázi Si_3N_4 od firmy NTK (14)

Řezná keramika sialonová

Jedná se o kombinaci oxidové a nitridové keramiky, kterou nezávisle objevili Oyama s Kamigaitem a Jack s Wilsonem. Hlavními výchozími materiály jsou keramické prášky Al_2O_3 , Si_3N_4 , AlN či přísada Y_2O_3 , zajišťující úplné ztuhnutí. Při slinovací teplotě kolem $1800 \text{ }^\circ\text{C}$ reaguje Y_2O_3 s Si_3N_4 a vytváří v tekutém stavu křemičitan. Po ochlazení ztuhne po hranicích jemnozrnných šestihranných krystalků a vytvoří skelnou fázi, která krystalky navzájem spojuje. Většina sialonů obsahuje malé množství skelné fáze. Tento řezný materiál je doporučován k obrábění žárovevných Ni slitinových ocelí, šedých litin. Vhodná je i pro přerušované řezy (frézování). (6)



Obr. 1-7. Sialonová keramika CC6080 od firmy Sandvik Coromant (16)

1.4 Výroba řezné keramiky

Výroba řezných destiček z keramiky je velmi podobná jako při výrobě součásti ze slinutých karbidů a cermetů (např. příprava práškové směsi, mletí, míchání, tvarování, sušení, předslinování, slinování, tepelné zpracování a úpravy povrchu). Hlavním rozdílem je, že keramické výrobky neobsahují žádné pojivo, které zaručuje spojení zrn do tuhé fáze. Za pomoci vysokého tlaku dojde k hustému uspořádání částic na tak velmi malou vzdálenost až dojde k difúzi. Proto jsou na výrobu keramických materiálů klade vysoké nároky na výrobní zařízení, ale hlavně na dodržení všech předepsaných parametrů technologického postupu výroby. (6)

Výroba oxidické keramika

Základní surovinou pro výrobu tohoto typu keramiky je velmi čistý a jemnozrnný oxid hlinitý (Al_2O_3). K němu se po vstupní kontrole přidá malé množství pomocných látek, které mají usnadnit slinování a zabránit růstu zrna (různí výrobci užívají různé materiály, kde si přesné složení střeží jako oko v hlavě. Nejčastěji pomocnými látkami jsou oxidy zirkonia, yttria, chromu, titanu, niklu, hořčíku, kobaltu a molybdenu a karbidy těžkovitých kovů jako je wolfram a titan).

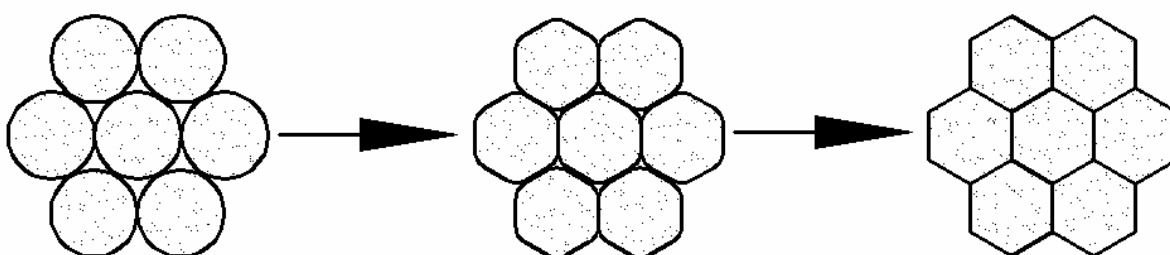
Po mokrém semletí se tato směs rozpráškovaním vysuší, přičemž se získá prášek schopný soudržnosti, který je lisován na automatických lisech do požadovaného tvaru (před lisováním se někdy přidávají přísady, které zlepšují tečení prášku). Dnešní doba umožňuje vyrábět i břitové destičky s předlisovanými utvařeci třísky.

Lisování probíhá na lisech s jednostranným nebo oboustranným tlakem. Aby bylo zajištěno dobré zhutnění polotovaru v celém jeho průřezu, je lépe použít oboustranný lis. U tohoto lisu dochází k nejmenšímu zhutnění uprostřed keramické řezné destičky, což je relativně příznivé místo. Keramické polotovary lze též vyrábět izostatickým lisováním (pomocí hydrostatického tlaku kapaliny, který působí přes elastickou, pro kapalinu a plyn nerozpustnou stěnu tvarovacího pouzdra, zaplněného keramickým práškem), vstřikovacím lisem nebo litím. Vstřikovací lis je vhodný pro způsob použití zejména pro velkosériovou výrobu těles složitých tvarů. Velmi často jsou z prášku vytlačení (extruzí) tvarové tyče s průřezem odpovídajícím budoucímu tvaru břitových destiček, které jsou po slinutí pomocí diamantové okružní pily rozřezány na jednotlivé destičky. (24)

Po vylisování následuje slinování ve speciálních pecích, kde dochází ke spojení prášku do tuhého tělesa potřebného tvaru. Lze také užít metodu vysokoteplotního izostatického lisování, označovanou metoda HIP. Po slinování nebo užítí metody HIP následuje broušení na konečné rozměry, geometrickou přesnost a požadovanou kvalitu povrchu.

Výroba nitridové keramiky

Výroba nitridové keramiky je mnohem obtížnější než u oxidové díky nižší samodifúzi (vlivem kovalentní vazby mezi atomy křemíku a dusíku) a teplotě rozkladu. Proto je při výrobě řezné keramiky na bázi nitridu křemíku nutné dopovat výchozí prášek slinovacími přísadami a aplikovat technologický postup vysokoteplotního lisování nebo vysokoteplotního izostatického lisování (HIP). Slinovací aditiva vytvoří s nitridem křemíku během ohřevu tekutou fázi, která podporuje zhutňovací proces. V zásadě je možné vytvarovat výrobek ze směsi Si_3N_4 a přísad a potom jej slinovat, nebo jej vyformovat ze směsi práškového křemíku a následně nitridovat a slinovat. (6)



Obr.1-8. Proces slinování

Pokud chceme dosáhnout hutného produktu bez nespojených míst, musí se v průběhu slinování vytvořit tekutá fáze, která urychluje přemísťování hmoty. Z tohoto důvodu se do výchozí směsi přidávají speciální přísady, kterými jsou kovy nebo jejich sloučeniny, které jsou v průběhu slinování rozptýlována mezi zrna křemíku. Tato fáze během ochlazování ztuhne a její charakter a složení pak určují konkrétní soubor vlastností finálního výrobku. Výběr přísad je mimo jiné určen použitou technologií výroby nitridu křemíku.

Slinování keramiky

může probíhat v ochranné atmosféře (vodík, který musí být vyčištěný a dokonale vysušený) a má obvykle tři etapy:

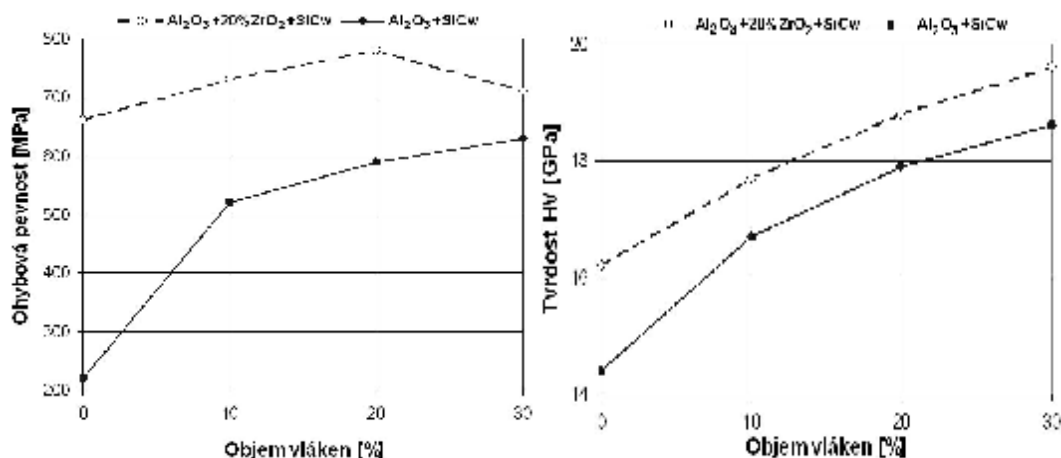
- průběžný ohřev na teplotu $700 \div 1000$ °C, v této fázi dochází k plastifikátoru
- ohřev na pracovní teplotu a výdrž na této teplotě
- ochlazení

Pece pro slinování mají zpravidla příčný průřez $100 \div 300$ cm a délku $100 \div 200$ cm. Výrobky určené pro slinování jsou uloženy v grafitových kontejnerech a postupně procházejí celým pracovním prostorem pece. Po opuštění horkého pracovního prostoru postupují kontejnery do ochlazovacího prostoru, který navazuje na ohřívací pec. Po potřebném ochlazení jsou hotové výrobky vyňaty z kontejneru a tím je proces slinování ukončen.

Dnešní doba jde rychle vpřed a tak se začíná používat nová technologie slinování, která se musí ještě řádně odzkoušet. Jde to tzv. zapouzdřené slinování. Bližší informace zatím výrobci tají.

Vyztužená keramika

Představuje relativně nový vývojový produkt. Nazývá se také keramika vyztužená whiskerem. Název je odvozen od vláken krystalu, kterému se říká whisker. Tyto whiskery mají průměr pouze cca $1\ \mu\text{m}$ a délku více než $20\ \mu\text{m}$ (jsou z karbidu křemíku a mají velmi vysokou pevnost). Vyměnitelné břitové destičky z vyztužené keramiky vykazují mimořádné účinky co se týká zvýšené houževnatosti, tvrdosti, pevnosti v tahu a odolnosti proti tepelnému šoku. Podíl whiskeru v řezném materiálu je cca. 30 %. Lisováním za tepla se dosáhne v břitové destičce stejnoměrného rozptýlení whiskeru. Možnost přerušovaného řezu, obrábění žáruvzdorných slitin, hrubování a jemnění superslitin, ocelí a litin. Barva hotových destiček je zelená. (3)



Obr.1-9. Vliv vyztužujících vláken na vlastnosti oxidových keramik (19)

Pomocí whiskerů SiC nebo Si_3N_4 jsou v dnešní době vyztužovány různé typy keramik např. $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ nebo Si_3N_4 . Pevnost těchto vláken se blíží jejich teoretické pevnosti a proto výrazně zpevňují i materiál, ve kterém jsou rovnoměrně rozptýleny. Veliký vliv na vlastnosti keramických materiálů vyztužených pomocí whiskerů má zejména velikost whiskerů, kde musí být dodržován štíhlostní poměr l/d , jejich množství a také poměry na rozhraní matrice-vláknem. Významnou vlastností vláknových kompozitů je skutečnost, že negativní vlastnosti složek se u výsledného materiálu neprojevují. Kompozit dosahuje lepších vlastností, než by odpovídalo průměru odvozenému z vlastností složek. Jde o tzv. synergický efekt (synergismus = spolupůsobení několika složek vedoucí k zesílení účinku). Vazba mezi vlákny a matricí musí být čistě mechanická (matrice "svírá" vlákno), bez jakékoli chemické reakce, která zhoršuje vlastnosti vláken. Zlepšení mechanických vlastností dochází zejména proto, že zabraňují šíření trhlin. (3)



Obr.1-10. Whiskery (19)

Keramika vyráběná metodou HIP

Principem vysokoteplotního izostatického lisování je, že na slinované těleso při vysoké teplotě působí všestranný tlak plynu (až 200 MPa), který umožní udržet jeho tvar. Pracovní plyn bývá většinou argon a u výrobků na bázi nitridu křemíku se používá dusík. V průběhu procesu nedochází k tvorbě textury. Díky velikým tlakům je možnost menšího množství přísad. Důsledkem je lepší mikrostruktura (jemnější zrna, méně mikrostrukturních defektů).



Model	Vnitřní rozměr pece [mm]	Max. teplota [°C]	Výrobní kapacita [kg/proces]	Min. tlak [Pa]	Max. tlak [MPa]	Výkon [kVA]	Plyn
HHSgr 50/50/125	500x500x1250	1600	800	7×10^{-1}	6	370	N ₂ , Ar, (H ₂)

Obr. 1-11 Slinovací pec HIP od firmy HHS (10)

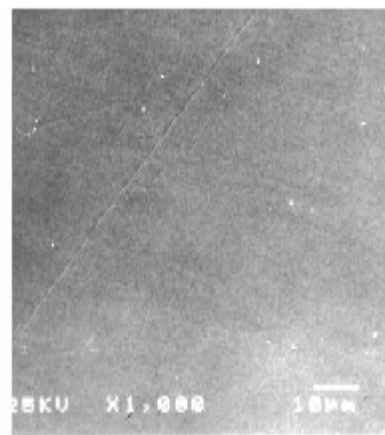
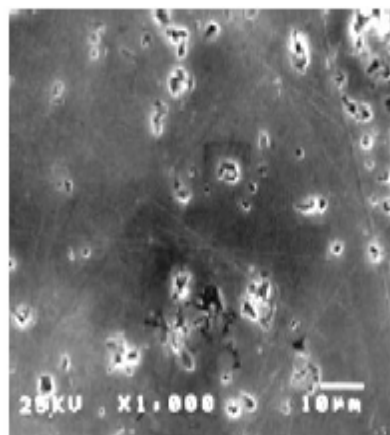
Před použitím aplikace HIP musí být materiál obalen nepropustným materiálem, který zabraňuje přístupu plynů (argonu, dusíku) do pórů. Obal tvoří sklo nebo keramické prášky (většinou vícevrstvé), které bývají od slinovaného materiálu izolovány interní vrstvou nitridu bóru.

Po ukončení celého procesu je třeba ochaný obal odstranit chemickou cestou nebo opískováním.

Metoda HIP je technologicky velice náročná co se týče technologičnosti pece, také její energetická náročnost a v neposlední řadě vysoké pořizovací náklady. Odplatou je získání keramického řezného nástroje s vysokou hutností, jemnozrnností, pevností, měrnou hmotností, atd.

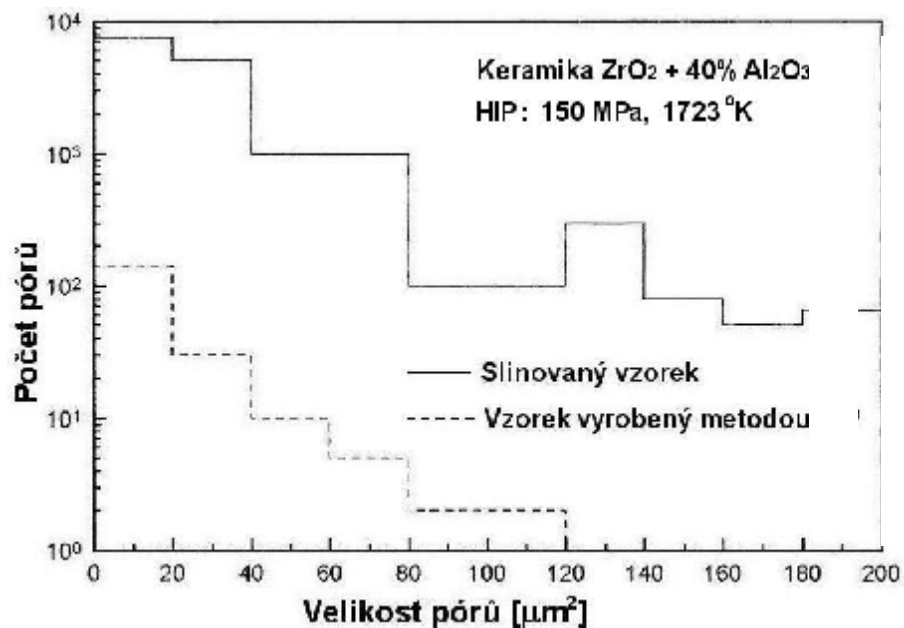
Tab.1-5. Vliv HIP na vlastnosti (6)

Materiál	Měrná hmotnost [g cm ⁻³]		Tvrdost [HRA]	
	Slinování	HIP	Slinování	HIP
Al ₂ O ₃	3,94	3,97	93,3	94,5
Al ₂ O ₃ + TiC	4,27	4,37	94,2	95,0
Sialon	3,24	3,26	92,7	92,7



Před HIP Al₂O₃ Po HIP

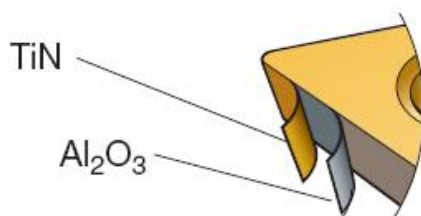
Obr.1-12. Rozdíly ve struktuře (19)



Obr.1-13 Vliv HIP na pórovitosti

Povlakovaná keramika

Dnešní doba umožňuje povlakování keramických řezných destiček podobně jako je u slinutých karbidů. Povlakovaná keramika se většinou skládá z podkladu nitridu křemíku a z tenkého povlaku TiN o tloušťce 1 μm nebo také Al_2O_3 -TiN jako je například u keramické destičky GC1690 (K10) od firmy Sandvik Coromant. Tento řezný materiál je velmi vhodný pro lehké hrubování, střední obrábění a dokončovací operace u tvárné litiny . Jsou vhodné pro přerušované i nepřerušované řezy. (6)



Obr.1-14 Povlakovaná destička GC1690 od firmy Sandvik Coromat (16)

2. Řezná keramika v sortimentu nejvýznamnějších světových výrobců nástrojů a rezných materiálů.

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

Země: Česká republika, Turnov

Saint-Gobain Grup je jednou z nejstarších a nejprestižnějších firem ve Francii. Byla založena v roce 1665 a hned se dostala do povědomí zakázkou na výrobu zrcadel. Dnes je Saint-Gobain výrobní společností s více než 170 tis. zaměstnanci, asi 1200 podniků po celém světě. Odvětví keramiky, přestože je ve skupině jedním z nejmladších, zaměstnává přibližně 16 tisíc lidí ve 170 podnicích.

Firma SGAC, s.r.o. Turnov vznikla v srpnu roku 1999 a je největším výrobcem odvětví keramiky společnosti Saint-Gobain ve střední Evropě. V dnešní době se zabývá třemi hlavními výrobními aktivitami. První je výroba keramických těsnících destiček do vodovodních baterií, montáž a prodej kompletních vložek do pákových baterií. Druhým odvětvím je výroba keramických filtrů na roztavené kovy pro slévárny. Třetí oblast zahrnuje speciální technickou keramiku jako jsou rezné nástroje (vyměnitelné břitové destičky pro obrábění kovů), nástroje na tváření trubek, dílce z elektrokeramiky a náročné výrobky z High-Tech keramiky.



Tab.2-1. Saint-Gobain ceramic

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
DISAL 100 (D100)	K01-K05	čistá (CA)	-čistá oxidová keramika (99% Al ₂ O ₃). Je vhodná především pro obrábění šedé litiny
DISAL 200 (D200)		polosměsná	-polosměsná oxidová keramika (na bázi Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ a CoO). Je vhodná pro obrábění šedé, sférické i temperované litiny, konstrukčních, zušlechťených i rychlořezných ocelí lehkým přerušovaným řezem.
DISAL 210 (D210)			
DISAL 320 (D320)	K01-K05 S01-S10 H01-H10	směsná (CM)	- směsná keramika (na bázi Al ₂ O ₃ a TiC). Umožňuje obrábění s částečně přerušovaným řezem i použití rezné kapaliny. Lze použít pro obrábění tvrzené litiny a kalených ocelí (do 64 HRC), včetně středního a jemného frézování.
DISAL 420 (D420)	M05-M20 K05-K15	nitridová (CN)	nitridová keramika (na bázi Si ₃ N ₄). Umožňuje obrábění běžným přerušovaným řezem i použití rezné kapaliny. Tento druh keramiky je zvláště vhodný pro obrábění všech druhů litin, včetně litiny s kůrou. Je také nejvhodnější pro frézování (hrubování) k dosažení maximálních rezných výkonů.
DISAL 460 (D460)	M20-M30 K10-K20		

CeramTec SPK cutting tools

Země: Německo, Plochingen

CeramTec AG je jednou z nejstarších a nejprestižnějších podniků v Německu. Byla založena v roce 1903. Postupem let se rozrostla do čtyřech základních odvětví, které mají mnoho společností po celém světě. První odvětví automobilový průmysl, druhé odvětví lékařství (týká se hlavně implantátů jako např. zuby, klouby), dále elektrotechnika a v neposlední řadě strojí průmysl.

Firma CeramTec SPK vznikla v roce 1951. zabývá se třemi základními výrobami řezných materiálů. V první řadě se jedná o keramické řezné materiály (viz tab. 2-2.). Druhé hlavní odvětví jsou řezné materiály na bázi kubického nitridu bóru (CNB). S vysokým obsahem CBN, které jsou vhodné pro operace soustružení a frézování šedé litiny, tvárné litiny. Označované WBN 100,101, 750. a s nízkým obsahem CNB označované WBN 560, 570, 575 vhodné pro obrábění tvrdých materiálů, oceli, vyznačující se tvrdostí do 68 HRC. Poslední sortimentem je výroba cernetů vhodné pro obrábění korozivzdorných ocelí, tvárné litiny. Označované SC 15, 40, 60, 735.



Tab.2-2. CeramTec SPK cutting tools

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
SN60	K01-K10	čistá (CA)	– osvědčený druh s vysokou odolností proti opotřebením. Vhodný pro obrábění litiny bez řezného média nepřerušovaným řezem, zejména však dokončovací operace šedé litiny.
SN80	P10-P20 K05-K15		– standardní třída keramiky pro obrábění tvárné litiny nepřerušovaným řezem. Ideální druh pro vysokovýkonné obrábění litiny. vhodná také k lehkému hrubování oceli.
SH2	K01-K10	směsná (CM)	– tato směsná keramika má lepší mechanické a tepelné vlastnosti. Vhodná pro obrábění litiny od hrubování až po dokončování.
SL500	K10-K20	nitridová (CN)	– tento druh má vysokou čistotu výchozích materiálů. Je vhodný pro soustružení, vrtání, frézování litiny. rozsah použití je od hrubovacích operací až po dokončovací operace.
SL506			– tento materiál je určen pro vysokovýkonné obrábění litiny, obzvláště dokončovací operace.
SL800 R			– řezný materiál vyznačující se tvrdým jádrem a zvýšenou tvrdostí povrchu.
SL 550 C	K15-K25	povlakovaná (CC)	– pro obrábění tvárné litiny přerušovaným i nepřerušovaným řezem.
SL 554 C			– povlak TiN zvyšuje odolnost proti opotřebením. Tento povlakovaný druh je vhodný pro přerušovaný i nepřerušovaný řez k hrubování litiny.

ISCAR

Země: Izrael, Tefen

ISCAR je výrobcem unikátních a inovativních nástrojů pro všechny aplikace třískového obrábění kovů. Společnost byla založena v roce 1952 v dřevěné garáži za domem pana Stefa Wertheimera, jejího zakladatele. ISCAR pak expandoval z původní jediné výrobně marketingové jednotky do nadnárodní společnosti reprezentované dnes ve více než 50 zemích světa. Díky neustálé inovaci se stala jednou z nejrychleji rostoucích ve svém oboru.

Firma ISCAR se zabývá nejen řeznou keramikou, ale veškerým sortimentem (destičky, upínací držáky, nástroje, atd.) určeným pro soustružení, frézování, vrtání.



Tab.2-3. Iscar

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
IN1	P01-P10 K01-K10	čistá (CA)	– oxidová keramika s příměsí ZrO ₂ . Poskytuje zvýšenou houževnatost a odolnost proti opotřebením. Vhodné zejména pro rychlostní dokončování oceli a litiny bez řezného média.
IN22	P01-P10 K01-K10	směsná (CM)	– rychlostní obrábění nástrojových, kalených a chromových ocelí, tvrzené litiny. Vhodné pro polohrubování a dokončování litiny bez chlazení
IN23	P01-P15 K01-K15		– lehké soustružení šedé litiny a tvárné litiny s přerušovaným řezem. Lze také použít pro dokončovací frézování šedé litiny.
IS8	M30 K01-K20	nitridová (CN)	– pro obrábění tvárné litiny a super slitin. Hrubování s přerušovaným řezem. Při obrábění se používá řezné médium.
IS80	M30 K01-K20	povlakovaná (CC)	– více vrstvi povlak nanesený metodou CVD na substrátu

KENNAMETAL HERTEL AG

Země: Německo, Fürth

Firmu Kennametal založil v roce 1938 v USA pan Philip M. McKenn. V současnosti působí v 60-ti zemích celého světa a nabízí vyčerpávající škálu nejmodernějších obráběcích nástrojů, pro třískové obrábění ocelí a slitin kovů. Ať už se jedná o vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů, povlakované i nepovlakované, destičky z řezné keramiky, cermetu, s řeznou hranou z PKD nebo CBN. Dále dodává veškerý sortiment pro soustružení, frézování a vrtání.

V roce 1993 se Kennametal Hertel AG stal hlavním výrobcem v Evropě s výrobky pro obrábění dodávané po celém světě.



Tab.2-4. Kennametal Hertel AG

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
KYON 1615		směsná (CM)	– vysoce výkonný keramický materiál na bázi Al_2O_3 s příměsí TiCN pro střední obrábění kalených ocelí.
KYON 3500	M15-M30 K15-K35	nitridová (CN)	– řezný materiál pro obrábění obtížně obrobitelných litin, zvláště s přerušovanou třískou. Vhodný pro šedou litinu s použitím i bez chlazení.
KYON 1310	K05-K15		– sialonová keramika navržena pro max. životnost při obrábění šedé litiny za sucha. Vyniká dobrou houževnatostí a odolností proti opotřebením. Vhodná pro nepřerušovanou třísku při obrábění litiny.
KYON 1540	M10-M25 K05-K15		– revoluční sialonový materiál vyvinutý pro obrábění žárovečných slitin. Výborná kombinace vlastností jako je lomová houževnatost a odolnost proti tepelnému rázu při dokončovacích operacích. V porovnání s jinými sialonovými keramikami dosahuje lepších vlastností za podstatně nižší cenu. Poskytuje možnost větší hloubky řezu ve srovnání s vyztuženými keramikami.
KYON 2100	M05-M20 K05-K15		– sialonová keramika pro dokončovací operace žárovečných slitin s výbornou otěruvzdorností. Ideální pro vysokorychlostní obrábění tvrdých žárovečných slitin (>48 HRC) a frézování.
KYON 3400	K10-K30	povlakovaná (CC)	– keramika na bázi Si_3N_4 s povlakem naneseným metodou CVD. Používá se pro obrábění litiny. Vhodný pro vysokorychlostní obrábění tvárné litiny.
KYON 4400			– oxidová keramika s TiN povlakem pro vyšší odolnost proti opotřebením a zlepšení povrchové úpravy. Používá se pro vysokorychlostní obrábění, zejména dokončování.

Kyocera Advantec ceramics

Země: Japonsko, Kjóto

Kyocera Corporation byla založena v roce 1959 Dr. Kazuem Inamorim jako Kyoto Ceramic Co., specializující se na výrobu konstrukční keramiky. V současné době je společnost Kyocera Corporation jedním z celosvětových vedoucích výrobců přesné keramiky, elektronických součástek, solárních článků, mobilních telefonů a kancelářského IT zařízení.



Tab.2-5. Kyocera Advances ceramics

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
KA30	K01-K10	čistá (CA)	– čistá oxidová keramika určena pro vysokorychlostní obrábění litiny, zejména však dokončovací operace.
SN60	K01-K10	polosměsná (CA)	– keramika na bázi Al_2O_3+ZrO . Určená dokončovací operace u litin..
A65	K01-K10 H01-H10	směsná (CM)	– keramika Al_2O_3+TiC . Navrhuta pro střední a dokončovací operace u oceli, litin a velmi tvrdých materiálů.
KS500	K05-K15	nitridová (CN)	– určená pro obrábění litiny přerušovaným řezem. Možnost použití chlazení.
KS6000	K05-K15		– keramika určená pro hrubování litiny a žárovevých slitin..
A66N	K01-K10 H01-H15	povlakovaná (CC)	– směsná keramika s povlakem TiN. Používá se pro dokončovací a střední obrábění u litin a dokončování kalených materiálů.

Sumitomo Electric

Země: Japonsko

U firmy Sumitomo Electric se jedná opět o velkou celosvětovou společnost zabývající se různými technologiemi. Její převážná část sídlí v Asii a USA. Velká část výroby je zaměřena na optické kabely pro automobilový, letecký, elektronický i strojírenský průmysl.

Z řezných nástrojů se zabývá kromě řezné keramiky, která je uvedena v následující tabulce také slinutými karbidy, syntetickým diamantem či výrobou kompozitních materiálů.



Tab.2-7. Sumitomo electric

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
NB90S	P01-P05 K01-K10	směsná (CM)	- směsná keramika Al_2O_3+TiC pro dokončovací operace oceli do tvrdosti 60 HRC.
NS30	K01-K20	nitridová (CN)	– pro hrubovací soustružení a frézování litiny.
NS260	K01-K10		- vhodná pro dokončování a lehké hrubování při soustružení a frézování litiny.
NS260C	K01-K20	povlakovaná (CC)	určená k vysokorychlostnímu obrábění litiny nepřerušovaným řezem. Povlak je složení Al_2O_3/Ti .

Sandik Coromant

Země: Německo,

Firmu Sandik Coromant založil v roce 1862 v Německu pan Göran Fredrik Göransson. V 1942 se začala firma zabývat výrobou řezných nástrojů. V současnosti působí v několika zemích celého světa. a nabízí široký výběr obráběcích nástrojů, pro třískové obrábění ocelí a slitin kovů. Ať už se jedná o vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů, povlakované i nepovlakované, destičky z řezné keramiky. Dále dodává veškerý sortiment pro soustružení, frézování a vrtání. Také působí v odvětví automobilového průmyslu, leteckého průmyslu, elektrotechnického, či v lékařství.



Tab.2-6. Sandik Coromant

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
CC620	K01-K05	čistá (CA)	-je čistá oxidová keramická třída na bázi oxidu hlinitého s malým přídatkem oxidu zirkonu, který jí dodává zvýšenou houževnatost. CC620 je určena pro vysoké řezné rychlosti při obrábění litiny a oceli za stabilních podmínek. Obrábění musí probíhat v řezném prostředí.
CC650	K01-K05 S01-S10 H05-H10	směsná (CM)	- je směsná keramická třída na bázi oxidu hlinitého s přídatkem karbidu titanu. Doporučuje se zejména pro dokončování litiny, kalené oceli, tvrzené oceli a tepelně odolných slitin, kde se vyžaduje kombinace odolnosti proti opotřebení a dobrých tepelných vlastností.
CC670	S05-S25 H05-H15		- je keramika z karbidu křemíku vyztužená vlákny "whiskery", s náhodnou orientací vláken v nosném materiálu. Je zvláště vhodná pro vysokorychlostní obrábění tepelně odolných superslitin a tvrzených materiálů s vysokými nároky na spolehlivost nebo houževnatost.
CC680	S05-S20	nitridová (CN)	- je keramika SiAlON. Tato třída je vhodná pro vysokorychlostní obrábění tepelně - --je keramika z čistého nitridu křemíku velmi vhodná pro hrubování až dokončování šedé litiny za stabilních podmínek.
GC1690	K05-K15	povlakovaná (CC)	-se skládá z podkladu z nitridu křemíku a z tenkého povlaku Al ₂ O ₃ -TiN o tloušťce 1 μm. Vlastnosti GC1690 předurčují tuto třídu pro lehké hrubování, střední obrábění a dokončovací operace u litiny.

Stellram

Země: Švýcarsko , Nyon

Stellram byla založena v roce 1929 pod názvem Wolfram & Molybden AG ve Švýcarsku. V roce 1932 zahájila výrobu tvrdokovu. V dalších 50. letech se firma Stellram rozšířila po celé Evropě i světě. Zaměstnává 1200 lidí ve 12 zemích a prodejní zastoupení má ve více než 40 zemích. Rychlý rozvoj firmy Stellram umožňuje řešit složité problémy v obrábění a stále je na prvních místech co se týká zvyšování rezných rychlostí a tím zkracování pracovních časů.

Také firma Stellram nemá ve své nabídce pouze keramické rezné nástroje ale také vyměnitelné destičky ze slinutých karbidů. Dále vyrábí veškeré upínací nástroje pro vyměnitelné destičky jak pro soustružení, frézování, vrtání, zapichování či řezání závitu. Řezné nástroje jsou povlakované i napovlakované.



Tab.2-8. Stellram

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
SA 7402	P01-P10 K01-K15 H01-H10	směsná (CM)	– keramika na bázi $Al_2O_3 + TiC$ vyvinuta pro dokončovací a polodokončovací operace kalených ocelí a litiny. Vyniká znamenitou odolností proti opotřebení za vysokých teplot, je vhodná jako alternativa za CBN při stabilních podmínkách.
SA 8204	K01-K20 H5-H20	nitridová (CN)	– určeno pro hrubování a přerušované obrábění litiny. Možnost použití s chlazením i bez chlazení.
SA 8405	K01-K10 S01-S15 H01-H10		– keramika o složení $Si_3N_4 + TiN$ určená k hrubování, přerušované obrábění litiny a obrábění niklových slitin. U obrábění litiny lze i použít chlazení, ale u niklových slitin lze obrábět pouze s chlazením.

Tungaloy

Země: Japonsko , Kawasaki

Založena v roce 1934 v Japonsku. Zabývá se výrobou a prodejem, slinutých karbidů, keramické rezné materiály (viz tab. 2-9.), výroba cermetů, PCNB, PCD, aj. Disponuje širokým výběrem nástrojů pro upínání vyměnitelných destiček, vrtáčků na tištěné spoje, atd.. Dále se zabývá výrobou keramických brzdových destiček na automobily nebo keramických obložení na spojky pro závodní speciály.



Tab.2-9. Tungaloy

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
LX 21	H10	směsná (CM)	- směsná keramika Al_2O_3+TiC pro nepřerušované obrábění litiny se znamenitou odolností proti opotřebení.
FX 105	K01-K10	nitridová (CN)	- pro nepřerušované až středně přerušované vysokorychlostní obrábění litiny. Vhodná také pro oceli a žárovečné slitiny.
CXC 373	K01-K20	povlakovaná (CC)	- keramika na bázi Si_3N_4 s povlakem Al_2O_3 .
LX11	P01-P10 H10		- jemnozrnná struktura Al_2O_3+TiC s povlakem TiN naneseným metodou PVD. Slouží pro dokončovací operace kalených a nástrojových ocelí o tvrdosti 45-65 HRC.

Krupp Widia

Země: Německo, Essen

V roce 1926 vyrobila první karbid na světě a později i první povlakovaný karbid. Distributory má téměř ve 40. zemích světa. Také její nabídka co se týče soustružení, frézování, vrtání je velmi pestrá. V nové nabídce propagují nový revoluční povlak umožňující vysoké řezné rychlosti oproti předchozímu. Opět budou dosahovat vyšších výkonů než předchozí řezné nástroje.



Tab.2-10. Krupp WIDIA

Označení výrobce	ISO	TYP	Vlastnosti
CW 2015	K05-K10 H05-H15	směsná (CM)	- keramika o složení Al_2O_3+TiCN pro dokončovací a polodokončovací operace u kalených ocelí a litin.
CW 5025	K10-K20	nitridová (CN)	- určena pro hrubování a silně přerušovaný řez. Možnost obrábění s i bez chlazení.

3. Doporučené pracovní podmínky pro efektivní využití keramiky

Tab.3-1 Doporučené řezné podmínky pro litiny (K01-K10).

Výrobce	Označení	Druh	Tvrdost [HB]	f [mm]	a _p [mm]	v _c [m/min]		
						Rozsah	Optim. hodnota	
CeramTec	SH2	Šedá	140-210	0,20-0,60	0,3-1,0	400-1200	800	
			220-240	0,20-0,60	0,3-1,0	300-800	600	
			250-280	0,20-0,60	0,3-1,0	150-500	400	
	SN60	Šedá		0,20-0,40	0,3-0,5	250-600	400	
				0,20-0,40	0,3-1,0	150-400	350	
				0,20-0,60	0,3-1,0	400-1200	700	
Sumitomo Electric	NS260C	Šedá	140-210	0,20-0,60	0,3-1,0	400-1200	700	
			220-240	0,20-0,60	0,3-1,0	300-800	550	
			250-280	0,20-0,60	0,3-1,0	150-450	350	
Tungaloy	FX105		<220	0,25-0,50		240-1070		
				0,35-0,65		240-760		
			>220	0,25-0,50		240-1070		
				0,35-0,65		180-760		
Sandvik Coromant	CC620	Šedá	150-250	0,20-0,40	1,0-5,0	150-610		
			150-250	0,05-0,30	0,10 až 2,0	200-850		
				0,20-0,40	0,50 až 5,0	150-460		
Sandvik Coromant	CC620	Šedá	180-220	0,20-0,35	1,0-3,0	480-800	600	
			Temper.	130-230	0,20-0,35	1,0-3,0	480-800	600
			Tvárná	160-380	0,20-0,35	1,0-3,0	380-480	430
	CC650	Šedá	180-220	0,20-0,35	1,0-3,0	480-800	600	
			Temper.	130-230	0,20-0,35	1,0-3,0	480-800	600
			Tvárná	160-380	0,20-0,35	1,0-3,0	380-480	430

l) Hodnoty pro přerušovaný řez

Tato tabulka udává doporučené řezné rychlosti pro obrábění litiny v rozmezí K01-K10. Jak vyplývá z tabulky, řezná rychlost se u jednotlivých výrobců podstatně liší. Například srovnáme-li břitovou destičku CC620 od firmy Sandvik Coromant a břitovou destičku SH2 od firmy CeramTec při soustružení šedé litiny, je zřejmé, že SH2 bude použita při podstatně vyšších řezných rychlostech.

Tab. 3-2 Doporučené řezné podmínky pro litiny (K10-K20).

Výrobce	Označení	Druh	Tvrdost [HB]	f [mm]	a _p [mm]	v _c [m/min]	
						Rozsah	Optim. hodnota
Sandvik Coromant	CC6090	Šedá	180-220	0,30-0,50	2,0-5,0	430-700	570
		Temper.	130-230	0,30-0,50	2,0-5,0	400-700	570
	CC1690	Šedá	180-220	0,20-0,50	1,5-5,0	435-740	570
		Temper.	130-230	0,20-0,50	1,5-5,0	400-740	570
		Tvárná	160-380	0,20-0,50	1,5-5,0	220-580	430

Tab. 3-2 - pokračování

Výrobce	Označení	Druh	Tvrdost [HB]	f [mm]	a _p [mm]	v _c [m/min]	
						Rozsah	Optim. hodnota
CeramTec	SN80	Šedá ^R	140-210	0,25-0,50	>1,5	300-1000	600
			220-240			200-800	500
			250-280			100-400	300
	SL500	Šedá ^{RC}	140-210	0,25-0,90	>1,5	300-1500	800
			220-240			300-1200	
			250-280			300-1000	
		Šedá ^{RI}	140-210	300-1500			
			220-240	300-1200			
			250-280	300-1000			
	SL550C	Tvárná ^{RC}		0,25-0,60	>1,5	400-600	450
						150-450	350
		Tvárná ^{RI}		0,25-0,40	>0,5	350-700	500
		Tvárná ^{SRC}		0,10-0,25	<2,0	400-600	450
	150-350		350				
Iscar	IN23	Šedá	160-250	0,10-0,40	1,0-4,0	200-600	
		Tvárná	180-260	0,05-0,20	1,0-3,0	100-400	
Kennametal	KY1310	Šedá				400-1000	
		Tvárná					
Stellram	SA8204	Šedá				150-800	
		Temper.				150-470	
		Tvárná				150-690	
	SA7202	Šedá				150-750	
		Temper.				150-410	
		Tvárná				450-605	

^R) Hrubování, ^{RC}) Hrubování nepřerušovaným řezem, ^{RI}) Hrubování přerušovaným řezem, ^{SRC}) Polohrubování nepřerušovaným řezem, ^{SRI}) Polohrubování přerušovaným řezem.

V tabulce pro obrábění litiny v rozmezí K10-K20 udávají někteří výrobci (např. Sandvik Coromant) podrobné informace, jak o materiálu obrobku, tak o řezných podmínkách, které plně informují o rozsahu použití dané řezné destičky. Jiný výrobce (např. Stellram) udává pouze druh litiny bez další specifikace. Nevýhodou je také to, že firma Stellram neudává velikosti posuvu ani údaj a_p. Firma Ceramtec udává u svých řezných destiček i druh operace, při které je možno destičku použít.(19)

Tab. 3-3. Doporučené řezné podmínky pro litiny (K20-K35).

Výrobce	Označení	Druh	f [mm]	a _p [mm]	v _c [m/min]
					Rozsah
Iscar	IS80	Šedá	0,10-0,50	2,0-5,0	200-1000
Kennametal	KY3500	Šedá			300-1000
		Tvárná			280-480
	KY3400	Tvárná			280-580

Tab. 3-4. Doporučené řezné podmínky pro žáruvzdorné slitiny (S05-S20).

Výrobce	Označení	Materiál	Stav	f [mm]	a _p [mm]	v _c [m/min]	
						Rozsah	Optim. hodnota
Sandvik Coromant	CC670	Slitiny Ni	Žíhané	0,10-0,45	0,3-5,0	180-500	350
			Vystárnuté	0,05-0,25	0,3-5,0	180-400	300
			Odlévané	0,05-0,20	0,3-5,0	180-230	200
		Slitiny Co	Žíhané	0,10-0,25	0,3-5,0	180-350	250
			Homogenizované a vystárnuté	0,05-0,20	0,3-5,0	190-300	200
			Odlévané	0,05-0,20	0,3-5,0	180-250	200
	CC6080	Slitiny Ni	Žíhané	0,10-0,25	0,3-5,0	220-380	250
			Vystárnuté	0,05-0,20	0,3-5,0	180-300	200
			Odlévané	0,10-0,15	0,3-5,0	170-240	200
Stellram	SA8405	Slitiny Ni				100-200	
		Slitiny Fe				115-230	
		Slitiny Co				90-160	

Řezná keramika v tabulce je především určena pro obrábění slitiny, z čehož plyne malé zastoupení firem i řezných destiček v porovnávací tabulce pro žáruvzdorné slitiny v rozsahu S05-S20. Řezné rychlosti jsou zde výrazně nižší, než u obrábění litiny. (19)

Tab. 3-5 Doporučené řezné podmínky pro tvrdé materiály (H01-H10).

Výrobce	Označení	Materiál	Stav	f [mm]	a _p [mm]	v _c [m/min]	
						Rozsah	Optim. hodnota
Iscar	IN22	Tvrzená litina	400 HB			30-170	
Sandvik Coromant	CC650	Kalená ocel		0,05-0,20	0,1-0,4	60-180	120
	CC670	Kalená ocel		0,05-0,28	0,1-0,4	90-180	140
	CC1690	Tvrzená litina	S kůrou	0,75-1,1	2,0-5,0	25-75	45
	CC650	Tvrzená litina	Bez kůry	0,25-1,0	1,5-4,0	30-150	
Stellram	SA7402	Kalená ocel	>1400 MPa >415 HB			20-85	
		Tvrzená litina	1400 MPa 400 HB			20-85	
	SA8405	Tvrzená litina	40-60 HRC	0,15-0,25	0,75-2,0	75-110	
		Slitiny Fe		0,07-0,13	0,25	100-140	

Řezná rychlost při obrábění kalených ocelí a tvrzených litin jsou velmi malé v porovnání s obráběním litiny. Při obrábění destičkami z řezné keramiky se doporučuje odstranění kůry jiným řezným materiálem, ale břitová destička GC 1690 od firmy Sandvik Coromant umožňuje obrábění tvrzené litiny i bez předchozího odstranění kůry při doporučené řezné rychlosti 45 m/min.(19)

4. Technicko-ekonomické hodnocení

Cílem této kapitoly není uvádět konkrétní ceny produktů, či který výrobce uvádí na světový trh kvalitnější nebo levnější výrobek oproti konkurenci. Takové srovnávání by nebylo objektivní, protože každý výrobce má trochu jiné složení výrobku, hodící se pro různé aplikace nebo řezné rychlosti. V kapitole budou upřednostňovány zejména závislosti řezných rychlostí, opotřebením bříty, trvanlivosti nástroje a uvedeny možnosti efektivního obrábění.

Efektivnost při obrábění lze zvyšovat například zvyšováním otáček a posuvu, tím dojde ke zkrácování řezných časů a tím se krátí doba trvanlivosti nástroje. V dnešní době se vývoj nejvíce zaměřuje na zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností.

Trvanlivost řezného nástroje – čistá doba, po kterou řezný nástroj pracuje od začátku obrábění až do opotřebením bříty na předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria (byla zachována geometrická přesnost obrobku, drsnost povrchu, atd.).

Životnost nástroje – je součet všech trvanlivostí, nebo také jako celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti až po jeho vyřazení.

Trvanlivost nástroje, stejně jako opotřebením závisí zejména na metodě obrábění (soustružení, frézování atd.), vlastnostech obrobku tak nástroje a řezných podmínkách. Z řezných podmínek má na trvanlivost největší vliv řezná rychlost. Závislost těchto dvou veličin je dána "T- v_c závislost" (Taylorův vztah). (6)

$$T = f(v_c) = \frac{C_T}{v_c^m} \text{ [min]} \quad (5.1)$$

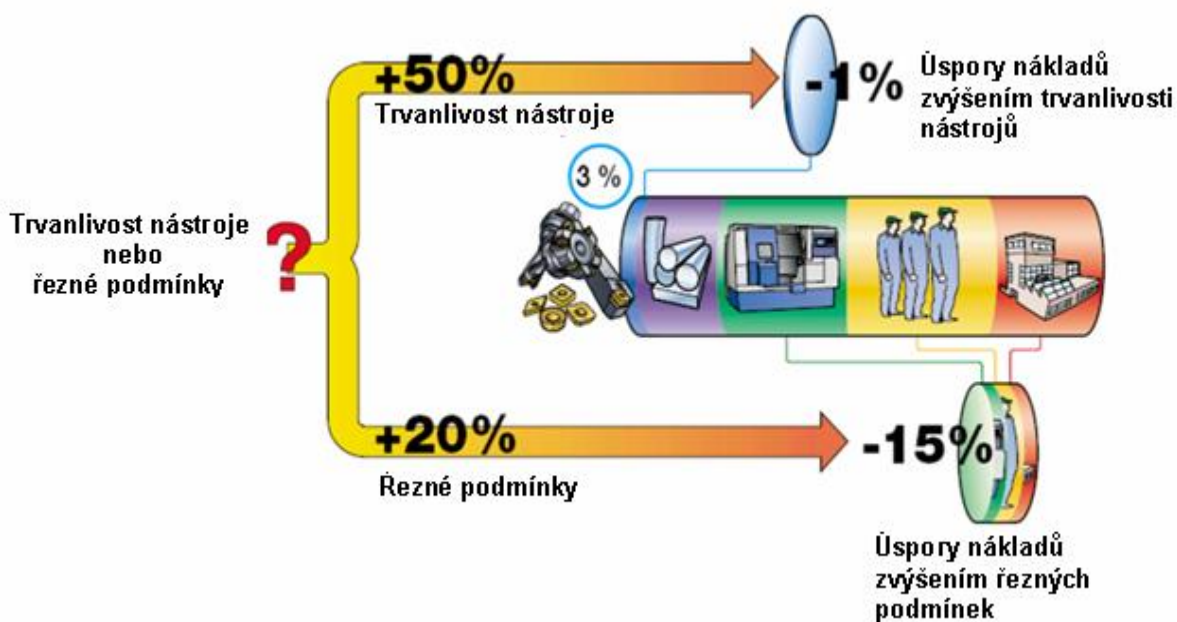
kde: C_T [-] – konstanta,
 v_c [m/min] – řezná rychlost,
 m [-] – exponent,

Konstanta C_T je závislá především na materiálu obrobku a nástroje. Nabývá hodnot 10^8 až 10^{12} . Exponent m charakterizuje především vlastnosti řezného nástroje:

nástrojová ocel	$m=10-8$	(až 6)
rychlořezná ocel	$m=8-5$	(až 3)
slinutý karbid	$m=5-2,5$	(až 2)
řezná keramika	$m=2,5-1,5$	(až 1,2)

Pokud výrobci uvádí reálné hodnoty C_v a m pro vztah $T-v_c$ závislosti a ceny nabízených produktů, lze najít podmínky výhodné nejen z hlediska úběru obráběného materiálu, ale i ekonomických nákladů.

Další možností jak lze zvýšit úspory nákladů vynaložených na obrobení součástí ukazuje obr. 4-1.



Obr.4-1. Vliv řezných podmínek na úspory nákladů (16)

Jestliže-li se zvýší trvanlivost řezného nástroje o 50%, vlivem snížení řezných rychlostí, posuvů, množství odebírané třísky, tak celkové úspory činí 1%. Při opačném postupu, kdy zvýšíme řezné podmínky o 20%, (využívány vyšší výkony stroje, tudíž menší počet strojů a obsluhy) budou celkové úspory 15%.

Trendem dnešní doby je tedy už zmiňované použití co nejmodernějších a nejefektivnějších řezných nástrojů, které umožňují obrábět při maximálních řezných rychlostech. Další variantou se nabízí, zvýšením otáček vřetene, tím dojde k větší produktivitě stroje za cenu zkrácení trvanlivosti řezného nástroje. U řezného nástroje (vyměnitelné destičky z ŘK) se sice musí provádět jejich častější výměna. Ovšem cena řezného nástroje proti stroji či platu personálu je podstatně nižší. Záleží jen na spotřebiteli jakou variantu si zvolí.

Závěr

Vývoj technologií obrábění zajišťuje nejen zvyšování výkonů při úběru materiálu, ale i vyšší rozměrovou a tvarovou přesnost, jakost obrobených povrchů, zkrácení časů obrábění a snížení podílu pracovníka na obsluze obráběcího stroje.

Světový přední výrobci řezných nástrojů, se proto snaží zdokonalovat optimální řezné podmínky (hloubky řezu, posuvu a řezné rychlosti) a optimální trvanlivosti nástroje. Řezné nástroje z keramiky zajišťují vysokou produktivitu výroby při obrábění. Dosahují požadované jakosti obrobeného povrchu, zvyšuje se jejich použitelnost, atd. Výrobci úzce spolupracují s uživateli, a snaží se vyrobit řezné nástroje na míru dle individuálních požadavků. To vede k efektivnějšímu využití nástroje, a tím i snížení celkových nákladů.

Vývoj se dnes nejvíce zaměřuje na využití nových materiálů, které při značné otěruvzdornosti a delší trvanlivosti břítu dobře snášejí tepelné a dynamické namáhání i při velkých provozních rychlostech. Mezi ně se řadí i keramické řezné materiály, u kterých se za poslední léta výrazně zlepšily jejich vlastnosti. To umožnilo podstatné rozšíření jejich aplikace ve strojírenské praxi, kde nalézají stále širší uplatnění u obrábění s plynulým řezem (soustružení), ale i u obrábění s řezem přerušovaným (frézování). Pro použití keramických řezných nástrojů musí mít stroje dostatečný výkon elektromotorů, velký rozsah vřetené otáček a posuvů, vysokou tuhost, zakrytovaný pracovní prostor a zajištěný odvod třísek.

Řeznou keramiku (ŘK) dnes řadíme mezi vysokovýkonné řezné materiály vyznačující se vysokou tvrdostí, odolností proti opotřebením za vysokých teplot a nízkou houževnatostí a měrnou hmotností. Jsou vhodné pro velkosériovou výrobu při stálých podmínkách obrábění. Využívají se zejména pro obrábění tvrzené litiny, tvrzené oceli, povrchově cementované a cementované oceli či kalené oceli.

Tato bakalářská práce se zabývá rozdělením keramických břitových destiček v sortimentu světových výrobců řezných materiálů (Ceramtec, Kenemetal, Sandvik Coromant, atd.). Vybrané břitové destičky jsou seřazeny v přehledných tabulkách, kde spolu s nimi jsou uvedeny řezné podmínky, složení, typ operace a druh materiálu pro který je daná břitová destička vhodná. Toto značení je typické pro slinuté karbidy, ale výrobci řezné keramiky toto značení používají pro lepší orientaci zákazníka. Srovnáním břitových destiček různých výrobců, při obrábění stejného materiálu lze pozorovat viditelné odlišnosti ve velikosti např. řezné rychlosti či posuvu.

Resumé

Práce je zaměřena na řeznou keramiku a jejich efektivní využití v oblasti především zabývající se soustružením. Zpracovává údaje od významných světových výrobců řezných materiálů (řezné keramiky) a snaží se porovnat dané produkty mezi sebou. Vyměnitelné břitové destičky jsou seřazeny dle normy ISO 513 do určitých skupin dle obráběného materiálu, tak aby výsledné hodnoty řezné rychlosti byly co možno nejpřesnější.

Úvodní část práce se zabývá mechanickými a fyzikálními vlastnostmi řezné keramiky, jejím rozdělením a značení a výroby základních druhů řezné keramiky (na bázi oxidů a nitridů).

Hlavní zaměření práce je porovnání řezných podmínek (v_c , a_p , f), které doporučují přední světový výrobci řezných materiálů pro obrábění řeznou keramikou v závislosti na obráběném materiálu.

V technicko-ekonomickém rozboru se práce zabývá problematikou efektivnosti při třískovém obrábění kovů, kterou lze zvyšovat zkracováním řezných časů a zlepšováním řezných podmínek .

Literatura

1. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění* – Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia. 1997. 857 s. Přel. Z: Modern Metal Cutting- A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. KOČMAN, K.- PROKOP, J.: *Technologie obrábění, akademické nakladatelství CERM*. Brno: 2001. ISBN 80-214-1996-2.
3. LEEA, T.-C., JIANXIMB,D. Ultrasonic erosion of whisker-reinforced ceramic composites. *Ceramic International*. 27(2001).pp. 755-760. ISSN 02634368.
4. LI,X.S. Ceramic cutting tool –an introduction. *Key Enginerring Materiále*.Vol .96. 1994. pp. 1-18.
5. PTÁČEK, L. a kol. *Nauka o materiálu II.*, akademické nakladatelství CERM, Brno : 2000. 393 s. ISBN 80 -7204 -130 - 4.
6. HUMÁR,A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. 1. vydání. Brno: CCB. 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.
7. CERAMTEC. *Cutting tools produkt*. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web:
<http://www.ceramaseal.com/products/cutting_materials/applications.cfm>.
8. ČEP, R. *Nové metody řezivosti řezné keramiky*, Ostrava: VŠB-TU Ostrava,2003.
9. GREENLEAF CORPORATION.Seagertown, Pennsylvania, USA. *WG-300*. [online]. Dostupné na World Wide Web:<<http://www.greenleafcorporation.com/image/PDF/WG-300.pdf>>.
- 10.HHS.*HIP turnace*. . [online]. Dostupné 19.05.2008 na World Wide Web: <<http://global.kyocera.com/prdct/tool/ceratip/repert/ceramic.html>>.
- 11.ISCAR.: *Cutting Ceramic*. [online]. Dostupné 19.05.2008 na World Wide Web: <<http://www.carbidedepot.com/iscar-gradecharts.htm>>. <<http://www.carbidedepot.com/iscar-spdsfds.htm>>.
- 12.KYOCERA. *Ceramics*. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web: <<http://global.kyocera.com/prdct/tool/ceratip/repert/ceramic.html>>.
- 13.MATSUMOTO, H. *High power coupler issues in normal conducting and superconducting accelerator application*. [online]. Dostupné na World Wide Web:<<http://lcdev.kek.jp/Conf/PAC99/THCR1.pdf>>.
- 14.NTK. *Ceramics series*. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web: <<http://www.ntktech.com/ctroot/ceramic.htm>>.

15. SAINT-GOBAIN ADVANCET CERANICS: *Specifikace řezné keramiky*. 2005. [online]. Dostupné 20.3.2006 na World Wide Web: <<http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210&lang=cs>>.
16. SVDVIK COROMANT. *Cutting tools*. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web: <<http://coroguide.coromant.sandvik.com/default.asp?LangID=ENG>>.
17. STELLRAM. *Turning grades*. [online]. Dostupné 11.02.2007 na World Wide Web: <<http://www.stellram.com/Turning/ceramics.htm>>.
18. SUMITOMO ELECTRIC. *Recommended running condition*. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web: <http://www.sumicarbide.com/pdf/turn/TB_RecRun_CCC.pdf>.
19. AMBROŽ, M. *Řezná keramika a její efektivní využití*, BC FSI VUT v Brně 2006, 49 s.
20. TOSHIBA TUNGALOY AMERICA. *Turning insert ceramics*. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web: <<http://www.tungaloyamerica.com/>>.
21. VALENITE. *Valturn - turning system*. [online]. Dostupné 23.06.2007 na World Wide Web: <<http://www.valenite.com/>>.
22. WIDIA. *Cutting tools*. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web: <http://www.widia.com/widia/en/pdf/Widia_ESP_INCH_1-115.pdf>.
23. WIKIPEDIE. Otevřená encyklopedie. [online]. Dostupné 13.05.2008 na World Wide Web: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hlav%C3%AD_strana>.
24. WHITNEY, E.D. *Ceramic cutting tool- Materiále, Development and Performance*. Noyes Publication. Park Ridge. New Persey, USA. 1944. 357 p. ISB 0-8155-1355-0. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.knovel.com/knovel2/Toc.jsp?bookID=241>>.