

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Testy keramických řezných nástrojů při
nepravidelném přerušovaném řezu

Ceramic Cutting Tool Tests at Irregular
Interrupted Cut

Student:

Bc. Roman WEIMANN

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Roman Weimann**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Testování keramických řezných nástrojů při nepravidelném
přerušovaném řezu
Ceramic Cutting Tool Tests at Irregular Interrupted Cut**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Keramické řezné nástroje.
3. Návrh experimentu.
4. Vyhodnocení experimentálních prací.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; SADÍLEK, M.; PETŘKOVSKÁ, L.; NOVÁKOVÁ, J. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] HAVRILA, M.; ZAJAC, J.; BRYCHTA, J.; JURKO, J. *Top trendy v obrábění, I. část – Obráběné materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 205 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] ZAJAC, J.; JURKO, J.; ČEP, R. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [5] VASILKO, K.; HAVRILA, M.; MARCINCIN-NOVÁK, J.; MÁDL, J.; ZAJAC, J. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [6] Studijní literatura na www.346.vsb.cz.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě16.5.2012.....

.....Roman Klíman.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16.5.2012



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Roman WEIMANN

Adresa trvalého pobytu autora práce: Sudice, Luční 131 , 747 25

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Roman WEIMANN.: Testy keramických řezných nástrojů při nepravidelném přerušovaném řezu. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, 49 s. Diplomová práce, vedoucí: doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.

Tato diplomová práce se zabývá testováním keramických řezných nástrojů v podmínkách nepravidelného přerušovaného řezu na simulátoru přerušovaného řezu, který byl zkonstruován na katedře obrábění a montáže. V první části práce je uveden popis keramiky jako obráběcího materiálu. V druhé - experimentální části je uveden popis vybrané metodiky a detailní popis přípravku pro testování nástrojů při přerušovaném řezu. Jsou zde porovnány dva typy keramických řezných destiček od firmy ISCAR a TaeguTec z hlediska schopnosti odolávat rázům při podélném soustružení v podmínkách nepravidelného přerušovaného řezu. Na závěr je vyhodnocení jednotlivých typů, jejich srovnání a diskuze dosažených výsledků.

ANNOTATION OF THESIS

Bc. Roman WEIMANN.: Tests of ceramic cutting tools for cutting irregular intermittent. Ostrava : VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2012, 49 p. Thesis head: Assoc. Ing. Robert ČEP, Ph.D.

This thesis deals with the testing of ceramic cutting tools in intermittent cutting conditions on an irregular interrupted cut simulator, which was constructed at the Department of machining and assembly. The first part is a description of a ceramic material machining. In the second - the experimental section provides a description of the methodology and detailed description of the testing tools in intermittent cutting. There are two types of matched ceramic cutting inserts from the company ISCAR and TaeguTec in terms of ability to withstand shocks when turning the machine under conditions of intermittent irregular cut. Finally, evaluation of individual types of comparison and discussion of results.

Obsah

Seznam použitých zkratk	1
1. Úvod do problematiky	2
2. Řezná keramika	3
2.1 <i>Historický vývoj</i>	4
2.2 <i>Rozdělení řezné keramiky</i>	5
2.3 <i>Výroba</i>	8
2.3.1 <i>Výchozí materiály pro výrobu řezných keramik</i>	9
2.3.2 <i>Výroba oxidové keramiky</i>	10
2.3.3 <i>Výroba nitridové keramiky</i>	10
2.3.4 <i>HIP (Hot Isostatic Pressing - vysokoteplotní izostatické lisování)</i>	11
2.4 <i>Fyzikálně mechanické vlastnosti řezné keramiky</i>	12
2.5 <i>Využití řezné keramiky v oblasti obrábění</i>	17
2.6 <i>Vliv tvaru keramických VBD na jejich relativní pevnost</i>	19
2.6.1 <i>Nástrojový úhel špičky ϵ_r</i>	19
2.6.2 <i>Poloměr zaoblení špičky</i>	20
2.6.3 <i>Tloušťka vyměnitelné břitové destičky</i>	20
2.6.4 <i>Úprava ostří keramického řezného nástroje</i>	21
3. Metody testování nástrojů při soustružení přerušovaným řezem	21
3.1 <i>Čepový test</i>	21
3.2 <i>Lištový test</i>	23
4. Vlastní měření	24
4.1 <i>Materiál lišt</i>	24
4.2 <i>Sestavení přípravku</i>	25
4.3 <i>Úprava lišt</i>	26
4.4 <i>Řezný materiál</i>	27
4.5 <i>Nástrojový držák</i>	28
4.6 <i>Řezné parametry</i>	29

4.7	<i>Obráběcí stroj.....</i>	29
4.8	<i>Použité přístroje.....</i>	30
4.9	<i>Sledování počtu rázů.....</i>	31
5.	Zpracování a porovnání naměřených hodnot	32
5.1	<i>Porovnání naměřených hodnot při 4 a 2 lištách.....</i>	33
5.2	<i>Porovnání naměřených hodnot při 3 a 1 liště.....</i>	38
6.	Závěr	43
7.	Použitá literatura:	44

Seznam použitých zkratek

Tab.č.1. Seznam použitých zkratek

Značka	Význam	Jednotka
CSRNR	Označení typu nožového držáku dle ISO	--
SNGN	Označení druhu a tvaru vyměnitelné břitové destičky	--
GAČR	Grantová agentura české republiky	--
HIP	Izostatické lisování	--
HV	Tvrдость podle Vickerse	--
HRA	Tvrдость podle Rockwella	--
KNB	Kubický nitrid bóru	--
HB	Tvrдость podle Brinella	--
SK	Slinutý karbid	--
R	Počet rázů	--
VBD	Vyměnitelná břitová destička	--
Ra	Aritmetické úchytky profilu	[μm]
Rz	Největší výšky profilu	[μm]
Rm	Mez pevnosti	[MPa]
a_p	Hloubka řezu	mm
f	Posuv nástroje	mm
l	Délka	mm
n	Otáčky	mm^{-1}
v_c	Řezná rychlost	m^*mm^{-1}
v_f	Posunová rychlost	m^*mm^{-1}
r_ϵ	Poloměr zaoblení špičky	[mm]
ϵ_r	Nástrojový úhel špičky	[$^\circ$]

1. Úvod do problematiky

Nabídka materiálu pro řezné nástroje je v současné době velmi rozsáhlá, od nástrojových ocelí, přes slinuté karbidy, řeznou keramiku až po supertvrdé materiály. Proto se výzkum a vývoj v dnešní době spíše věnuje širšímu využití již známých materiálů pro řezné nástroje.

Tato diplomová práce se věnuje problematice obrábění, konkrétně soustružení při nepravidelném přerušovaném řezu za použití řezné keramiky, jako materiálu pro řezný nástroj.

Materiály s vysokou tvrdostí se používají zejména při vyšších řezných rychlostech a malých hloubkách řezu, kdežto materiály s vysokou houževnatostí lze použít spíše při vyšších posuvových rychlostech. Proto je nezbytné, aby byl technolog dobře seznámen s výhodami, nevýhodami a vlastnostmi (fyzikální, chemické a mechanické) materiálů z řezné keramiky, pro jejich správnou optimalizaci a výběr.

Využitelnost řezné keramiky v obrábění se neustále zvětšuje a to hlavně díky dobrým vlastnostem, které tento materiál vykazuje (např. vysoká teplotní odolnost, vysoká tvrdost a odolnost proti plastické deformaci, chemická stabilita, nízká měrná hmotnost a nízká cena). Abychom využili těchto pozitivních vlastností je samozřejmě potřeba, použít vyhovující obráběcí stroj (dostatečný výkon, vysoká tuhost, vysoká přesnost stroje, apod.), pak zajistit vysokou tuhost systému stroj-nástroj-obrobek, dále pevné a spolehlivé upnutí obrobku, apod.

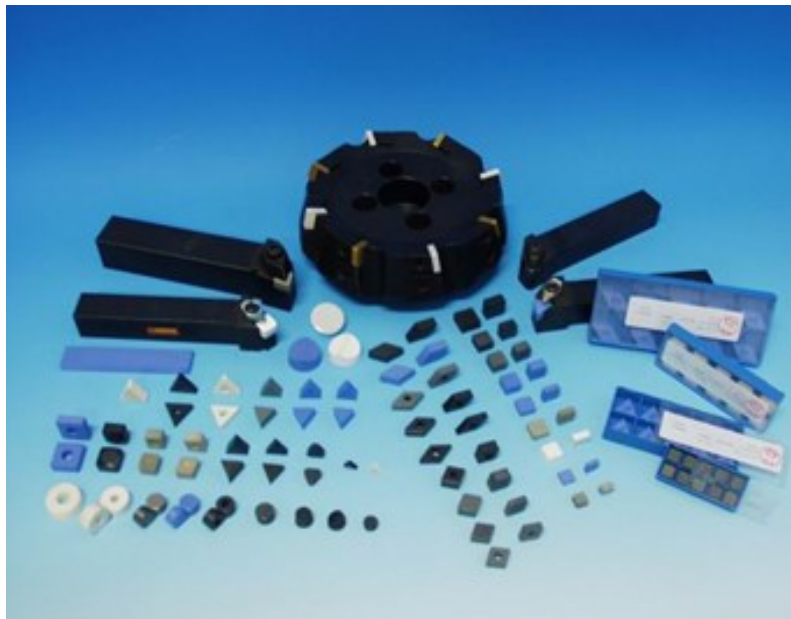
Cílem této práce je:

- popsat řeznou keramiku (rozdělení, složení, výroba apod.),
- vybrat vhodnou metodu testování,
- otestovat a srovnat dva druhy VBD z řezné keramiky od firmy ISCAR a TaeguTec v podmínkách přerušovaného řezu,
- vybrat jednu ze zkoušených destiček, která bude vykazovat nejlepší řezné vlastnosti,
- přispět k rozšíření používání keramických nástrojů

2. Řezná keramika

Moderní definicí je keramika obecně považována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavními složkami jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Tato definice zahrnuje nejen tradiční keramiku (porcelán, cihly, cement), ale i brousící materiály a řadu nových (speciálních, konstrukčních, strojírenských, průmyslových nebo jinak nazývaných keramických látek jako jsou oxidická keramika (Al_2O_3 , ZrO_2 , $\text{BeO}\dots$), ferity, feroelektrika, nitridy (na bázi Si, B, Al), karbidy (na bázi Si, B) a další.

[1]



Obr.č.1. VBD z řezné keramiky [25]

Pro současnou keramiku je charakteristické, že je vyráběna z poměrně čistých surovin a z čistých výchozích chemikálií jako keramika syntetická. Jsou to látky označované jako keramika krystalická, na rozdíl od tradiční keramiky, která obsahuje i velký podíl skelné (amorfni) fáze. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými a kovalentními. Jejich vazba však není čistě iontová nebo čistě kovalentní. Zpravidla se vyskytují obě vazby zároveň. V krystalové struktuře převažují složité mřížky kubické a hexagonální. [1]

Díky výzkumu a vývoji v posledních letech došlo k zlepšení některých vlastností keramických materiálů, což umožnilo rozšířit jejich využití ve strojírenské výrobě. Jednotlivé vlastnosti keramik je možno různě volit, podle potřeb pro konkrétní využití.

2.1 Historický vývoj

V době kamenné bylo s největší pravděpodobností poprvé využito keramického nástroje a to k ostření nožů a dalších nástrojů.

Počáteční pokusy s využitím keramických řezných nástrojů sahají do 20. let minulého století (keramika na bázi oxidů). První keramický materiál na bázi Al_2O_3 použitelný pro řezný nástroj vyvinula německá firma Degussa v období II. světové války jako pokus o náhradu slinutých karbidů WC-Co. Vzhledem k vysoké křehkosti byly aplikace omezeny na nepřerušovaný řez a k širšímu rozšíření nedošlo, protože technologie výroby nebyla zdaleka propracována tak, aby bylo možno zhotovit nástroj požadovaných vlastností. [2]

První keramické materiály na bázi oxidu hlinitého byly úspěšně aplikovány až koncem 50. let na základě intenzivního výzkumu. Ten byl zaměřen na odstranění hlavních nedostatků (hrubozrnná struktura, nízká ohybová pevnost, nízká odolnost proti teplotním rázům). Masivnějšímu rozšíření bránil i nedostatek dostatečně výkonných strojů s potřebným výkonem a rozsahem otáček vřetene, a to bez ohledu na přesnost. První nástroje obsahovaly většinu oxidu hlinitého (Al_2O_3) a malé množství slinovacích přísad (obvykle okolo 1%). Oxid hlinitý má z nástrojových materiálů nejlepší termochemickou stabilitu a vysokou odolnost proti opotřebení, ovšem nízkou odolnost proti vydrolování ostří. [2]

Na začátku 70. let byla vyvinuta keramika typu $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ s lepší odolností proti vydrolování. Tento typ řezné keramiky je dnes velmi rozšířený. Slinovací proces výroby se postupně změnil z vysokoteplotního lisování na vysokoteplotní izostatické lisování, díky tomu se snížila cena nástroje.

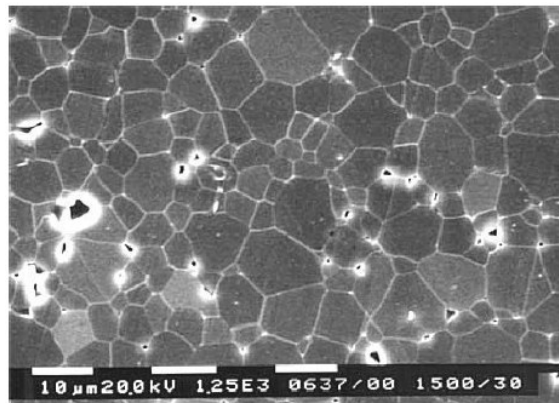
V polovině 80. let byly vyvinuty kompozity Al_2O_3 vyztužené vlákny whiskery (SiC). Karbid křemíku má sice tendenci reagovat se slitinami železa, což zapříčiňuje větší opotřebení nástroje, ovšem přidáním jeho vláken se výrazně zvýší odolnost proti vydrolení a vylamování ostří v důsledku zpevnění a odolnosti proti oxidaci. Výsledkem jsou vynikající řezné výkony těchto materiálů při obrábění superslitin, kde hrozí nebezpečí vylamování ostří. Počátkem 80. let se na trh dostávají i první keramické nástroje na bázi Si_3N_4 . Ve srovnání s oxidickými keramikami se dají používat až při dvojnásobné posuvové rychlosti. [2]

2.2 Rozdělení řezné keramiky

Řeznou keramikou lze dělit dle chemického složení na:

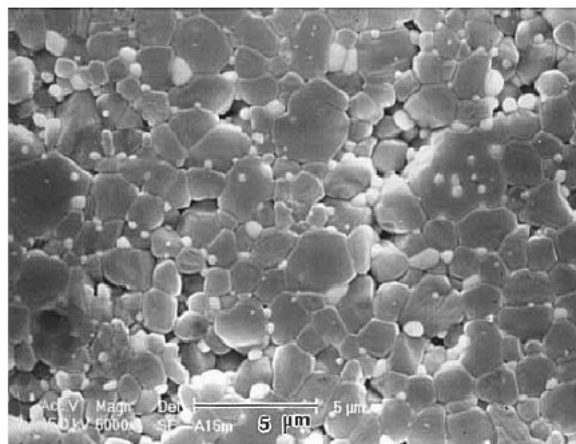
- **oxidická keramika**

a) čistá (99,5% Al_2O_3): vyznačuje se vysokou tvrdostí, ošetrivostí a vynikající chemickou odolností a stabilitou při vysokých teplotách. Nízká odolnost proti mechanickému a tepelnému rázovému zatížení a ohybové pevnosti a je vhodná jen pro operace jemného dokončování. [5]



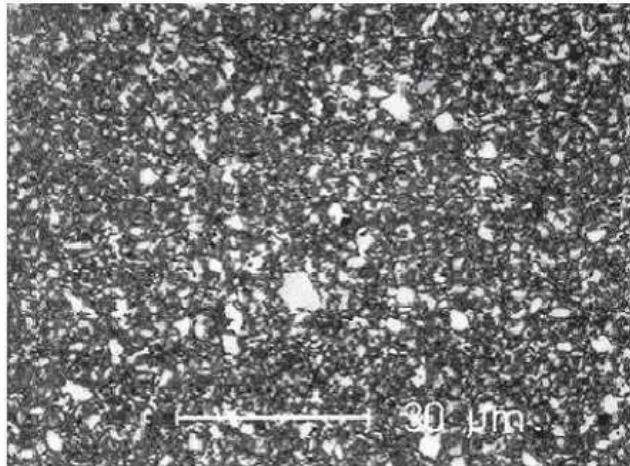
Obr.č.2. Keramika Al_2O_3 [1]

b) polosměsná ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$): s obsahem ZrO_2 15-20 %, může obsahovat i jiné složky např. CoO . Oproti čisté keramice má vyšší pevnost. Přísada ZrO_2 a zdokonalení technologie výroby snižuje náchylnost proti lomu a zvyšuje houževnatost. [5]



Obr.č.3. Keramika $\text{Al}_2\text{O}_3 + 15\%\text{ZrO}_2$ [1]

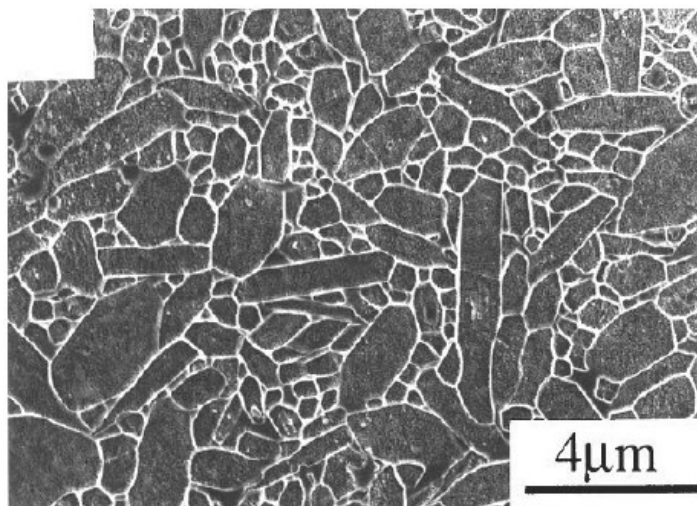
c) směsná ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{TiN}$): s přísadami TiN, TiC je charakterizována vyšší odolností proti tepelným rázům, kterou zabezpečuje přísada TiC. Přísada TiN vylepšuje odolnost proti tepelným rázům a zároveň zvyšuje pevnostní vlastnosti. Dále tyto přísady zabezpečují stabilitu mechanických vlastností při vysokých teplotách. [5]



Obr.č.4. Keramika $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ [1]

- **nitridová keramika (Si_3N_4 , $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$, $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN}$)**

- zpevněná monokrystaly křemíku SiC, tzv. whiskery v matrici Al_2O_3 , která má rovnoměrnou jemnozrnnou strukturu. Úlohou SiC vláken je bránit šíření mikrotrhlin v základní matrici. Vlákná SiC mají průměr 0,1-1 μm a délku 5 -100 μm, pevnost v tahu 7 GPa a modul pružnosti 550 GPa a zvyšují tvrdost za tepla, ohybovou pevnost. [5]



Obr.č.5. Keramika Si_3N_4 [1]



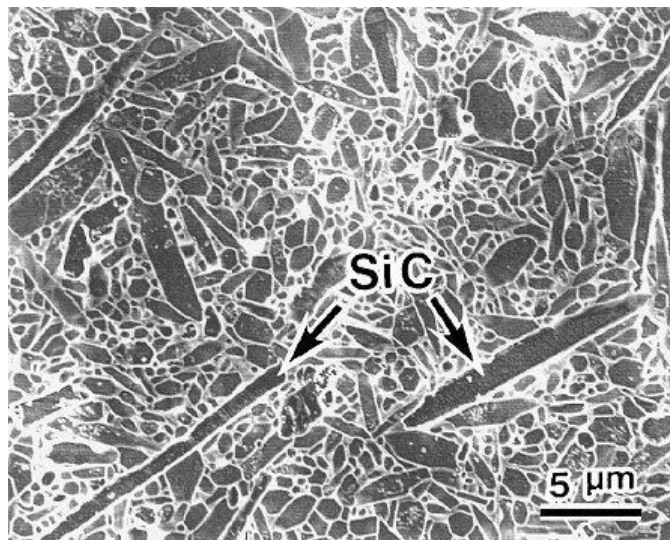
Obr.č.6. Keramika typu Sialon [1]

- **vyztužená**

-oxidická nebo nitridová keramika vyztužená pomocí whiskerů SiC nebo Si₃N₄

- (whiskery), zaujímají 20 až 30% objemu

- díky vláknům SiC se zvýší odolnost proti vydrolování a vylamování ostří a také odolnost proti oxidaci.



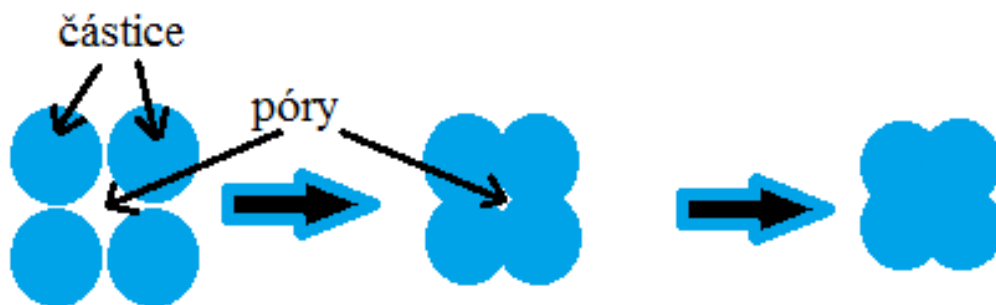
Obr.č.7. Keramika Si₃N₄ vyztužená SiCw[1]

2.3 Výroba

Proces výroby vyměnitelných břitových destiček z řezné keramiky je skoro stejný jako u výroby destiček ze slinutých karbidů nebo cermetů. Hlavní rozdíl je dán tím, že keramické destičky neobsahují žádnou pojící fázi, kdežto u slinutých karbidů ji tvoří kobalt a u cermetů ji tvoří převážně nikl. Díky tomu je výroba vyměnitelných břitových destiček z řezné keramiky snazší, ale vyžaduje vyšší nároky na výrobní zařízení a dodržování postupů výroby.

Obecný postup výroby:

- příprava směsi prášků,
- mletí,
- míchání – mísení keramiky a přísad za mokra nebo za sucha,
- tvarování – hlavně za studena, ale je možné i za tepla,
- sušení – do 100°C, za účelem odstranění těkavých složek,
- předslinování,
- slinování - nejdůležitější proces, částice se spojí v celek,
- tepelné zpracování,
- úprava povrchu.



Obr. č. 8. Slinování a jeho fáze

2.3.1 Výchozí materiály pro výrobu řezných keramik

Tab.č.2. Výchozí materiály pro výrobu řezných keramik

Hlavní výchozí materiály	Teplota tavení [°C]	Tvrдость [HV]
Al ₂ O ₃	2050	2000
ZrO ₂	2700	
Si ₃ N ₄	1900	1000
SiC	2200	2500
KNB (hexagonální nitrid boru)	3000	4700

Oxid hlinitý (Al₂O₃) – je nejčastěji vyráběn z bauxitu tzv. Bayerovým procesem (čistota konečného produktu dosahuje kolem 99,9%), který obsahuje pět základních operací [9]:

- úprava bauxitové suroviny,
- loužení,
- filtrace,
- precipitace,
- kalcinace.

Oxid zirkoničitý (ZrO₂) – lze vyrobit z křemičitanu zirkoničitého (ZrSiO₄) některou z následujících metod [9]:

- termický rozklad a redukce v elektrické peci
- alkalické tavení
- chlorace (do směsi oxidu zirkoničitého a uhlíku, která je ohřívána v šachtové peci na teplotu 800-1200°C je přiváděn chlor)
- plazmový hořák (2600°C)

Nitrid křemíku – Nitrid křemíku existuje jako sloučenina ve dvou modifikacích, α a β. [9,10]. V současné době se průmyslově využívají čtyři základní metody syntézy nitridu křemíku [9]:

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

2.3.2 Výroba oxidové keramiky

Oxidová keramika se vyrábí z oxidu hlinitého Al_2O_3 , ke kterému se přidává malé množství pomocných látek. Účelem pomocných látek je usnadnit slinování a zabránit růstu zrn. Mezi pomocné látky obecně patří:

- oxidy zirkonia,
- yttria, chromu,
- titanu, niklu,
- hořčíku,
- kobaltu
- molybdenu
- karbidy těžkovitých kovů (wolfram a titan).

Rozprašováním se semletá mokrá směs vysuší, čímž dostaneme prášek, který je schopen soudržnosti. Lisováním oboustranným tlakem na automatických lisech (je možno použít přísad ke snížení tření a zlepšení tečení) se vytváří požadovaný tvar břitové destičky. Keramické materiály je také možno vyrábět izostatickým lisováním, pomocí hydrostatického tlaku kapaliny přes elastickou a kapalině nepropustnou stěnu tvarovacího pouzdra.

Po vylisování následuje slinování ve speciálních pecích. Tam, dochází ke spojení prášku do tuhého tělesa potřebného tvaru. Keramické materiály jsou předslinovány při teplotě 1100°C po dobu 2 hodin a potom následuje konečné slinování při teplotě 1550°C také po dobu 2 hodin, v obou případech za atmosférických podmínek. Dále je možné u keramických materiálů zlepšit vlastnosti metodou HIP. To je metoda izostatického vysokoteplotního lisování. [3]

2.3.3 Výroba nitridové keramiky

Slinování Si_3N_4 při atmosférickém tlaku je mnohem obtížnější než u oxidických keramik, jako je Al_2O_3 a ZrO_2 , a to v důsledku jeho nižší samodifúze a teploty rozkladu (2112°C). [11]

Slinování tohoto druhu keramiky je při atmosférickém tlaku mnohem obtížnější než u slinování oxidové keramiky. Je to v důsledku nižší samodifúze a teploty rozkladu.

Vyšší teploty sice mohou podporovat difuzní proces, ale teplota, která je potřebná k dosažení dostatečné difuze, je tak vysoká, že materiál se před slinováním začíná rozkládat. Proto je při výrobě rezné keramiky na bázi nitridu křemíku nutno obohacovat výchozí prášek slinovacími přísadami a aplikovat postup vysokoteplotního lisování nebo vysokoteplotního izostatického lisování (HIP). Slinovací aditiva vytvoří během ohřevu tekutou fázi, která podporuje zhutňování. Pokud má být výsledný produkt hutný, bez nespojených míst, je nutné, aby se v průběhu slinovacího procesu vytvářela kapalná fáze. Z tohoto důvodu se do výchozí směsi přidávají speciální přísady (oxidy kovů). Tato fáze během ochlazování ztuhne a její charakter a složení určují konkrétní soubor vlastností finálního výrobku. [6]

Při výrobě keramických materiálů typu Sialon není nutné použít technologie izostatického lisování právě proto, že kompaktizace vzorku v procesu slinování probíhá za přítomnosti tekuté fáze i bez působení tlaku. Materiály tohoto typu mají poměrně vysokou houževnatost a své výhodné vlastnosti si zachovávají i za vyšších teplot. [8]

2.3.4 HIP (Hot Isostatic Pressing - vysokoteplotní izostatické lisování)

U této technologie lisování probíhající v tlakové nádobě, kde dochází k působení tlaku ve všech směrech a současně ke spékání. Naproti tomu u klasického vysokoteplotního lisování působí tlak jen v jednom směru.

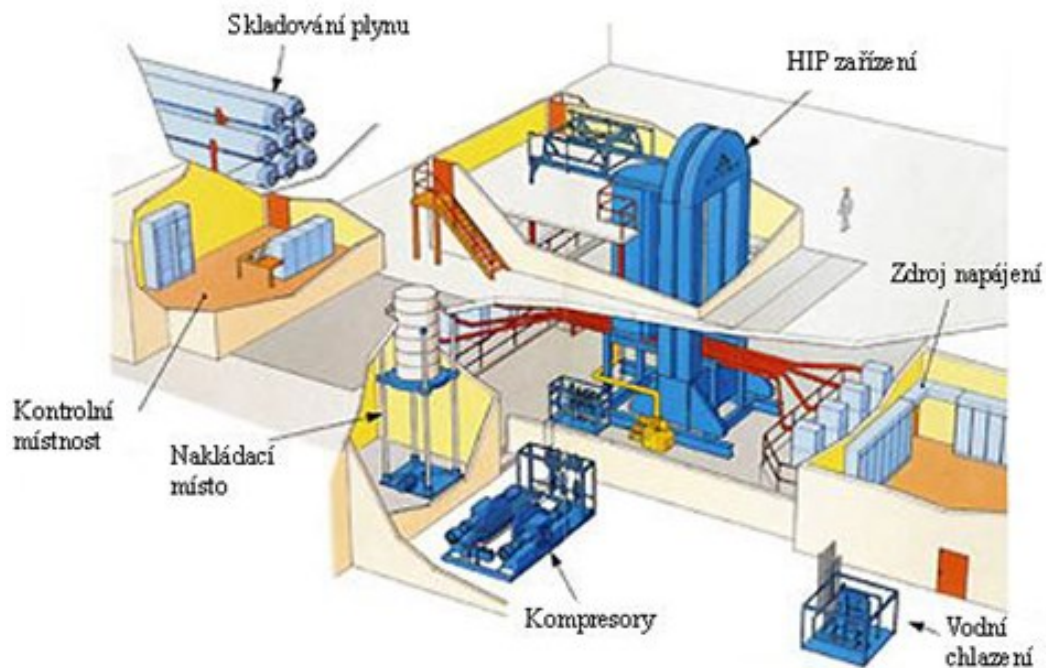
HIP se provádí dvěma postupy:

První tzv. pouzdrová metoda - připravený prášek se odplyní a uloží do nerozpustné kapsle (složené ze skla, měkké oceli, korozivzdorné oceli atd.) nebo se předem připravený prášek slinuje (bez použití kapsle).

Výhodou je celkem snadná výroba hutného materiálu.

Nevýhodou jsou poměrně náročné pomocné procesy (formování kapsle, odplynění, odstranění kapsle po slinování atd.).

Druhá metoda – velice produktivní, ale je požadavek, aby těleso bylo předem slinuto na vysokou hustotu. Výhodou této metody je snížení ceny výroby (především velkosériové), spolu s tím se zvýšila produktivita a mechanické vlastnosti keramiky.



Obr.č.9. Schéma pracoviště HIP [17]

2.4 Fyzikálně mechanické vlastnosti řezné keramiky

Mezi podstatné mechanické vlastnosti řezné keramiky patří velikost zrn, póry ve struktuře, hranice zrn, stejnosměrnost, množství trhlin atd. Cílem tohoto způsobu je proto dosáhnout co nejmenšího zrna, velmi úzkého spektra rozdělení zrn a homogenity materiálu.

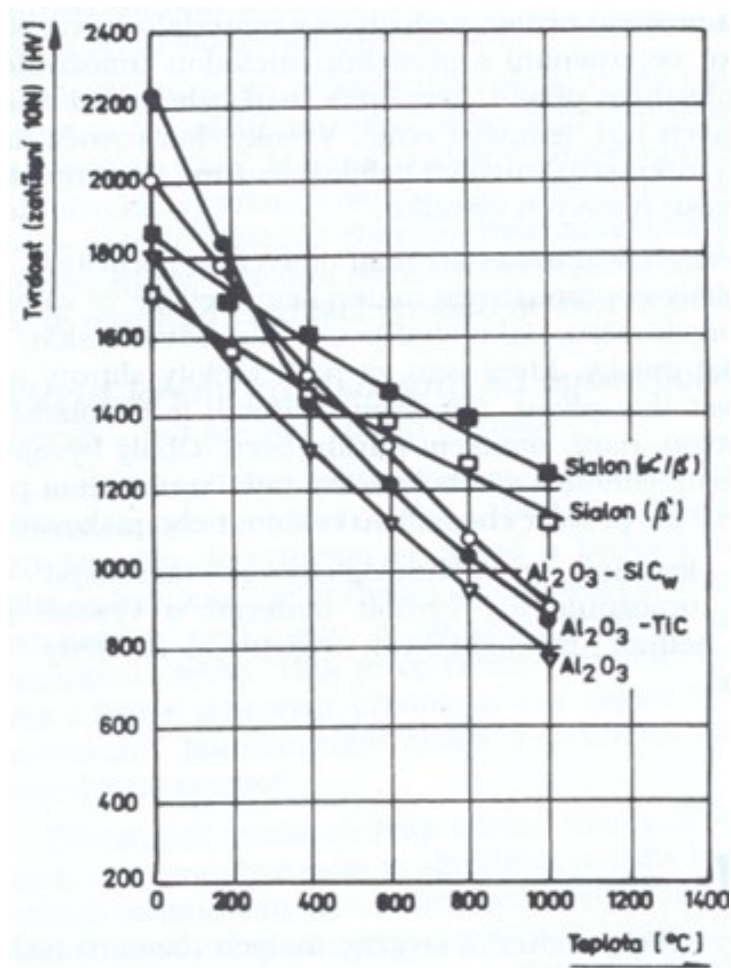
Mezi přednosti řezné keramiky patří:

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

Tyto vlastnosti zaručují při správném použití vysokou trvanlivost bříty nástroje i při vysokých řezných rychlostech.

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

Tvrdość keramiky závisí na zkušebních podmínkách, proto ji není možné jednoznačně definovat.



Obr.č.10. Závislost tvrdosti na teplotě vybraných druhů keramik [7]

Vlastnost	Nástrojový materiál					
	Slinutý karbid WC+Co	Cermety MO ₂ C +TiCN+Ni	Al ₂ O ₃ +ZrO ₂	Al ₂ O ₃ +TiC	Si ₃ N ₄ +pří-sady	
Měrná hmotnost [g cm ⁻³]	12,0-15,1	5,6-7,0	3,8-4,0	4,2-4,3	3,2-3,4	
Pevnost v ohybu [MPa]	1000-2400	1150-1800	600-800	600-900	600-950	
Tvrdość	[HV]	1900	2000	1600-2200	1000-2400	1800-2000
	[HRA]	90-92	91-93	91-94	93-95	86-95
Modul pružnosti v tahu [GPa]	520-660	500	340-400	370-420	300-380	
Součinitel délkové roztažnosti [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	4,5-7,0	7,0-7,5	7,0-8,5		1,5-3,5	
Měrná tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	80	30	20-30	20-25	30-50	
Lomová houževnatost [MPa m ^{1/2}]	10-17	10	4-6		5-7	

Obr.č.11. Typické vlastnosti vybraných nástrojových materiálů [12]

Z hlediska struktury jsou mechanické a lomové vlastnosti keramiky ovlivněny zejména[3]:

- charakterem chemické vazby, která je převážně iontová nebo kovalentní (na rozdíl od kovových materiálů, které mají kovovou vazbu), která výrazně ovlivňuje pohyblivost a manévrovatelnost dislokací, je hlavní příčinou křehkosti keramiky [8]
- složitější krystalovou strukturou (ve srovnání s kovy)
- prostorovým uspořádáním částic různých tvarů a rozměrů, fází, pórů a trhlin.

Typickou mechanickou vlastností keramiky je křehkost - keramika není prakticky schopna plastické deformace a porušuje se křehkým lomem, tj. nestabilním rychlým štěpeným lomem s malou absorpcí energie. Chybí jí tedy vlastnosti typické pro kovy, jako je tvárnost (schopnost značné plastické deformace) a houževnatost (silná absorpce energie při porušování).[3]

Mezi další příčiny křehkosti keramik patří např. nedokonale slinutí a pórovitost, ale tyto vlivy lze omezit, případně úplně odstranit.

Keramické materiály jsou podle lomového chování při pokojové teplotě někdy děleny do tří skupin [13]:

- 1) zcela křehké – nejsou schopny plastické deformace při pokojové teplotě (sem patří keramiky s vysokým Peierls – Nabarovým napětím, např. Al_2O_3 , SiO_2 , TiC , SiC , Si_3N_4).
- 2) křehké (nazývané též polokřehké) – jsou schopny omezené plastické deformace při pokojové teplotě (keramiky s dobrou pohyblivostí, ale špatnou manévrovatelností dislokací, např. MgO , ZrO_2).
- 3) Houževnaté - do této skupiny nelze zatím zařadit žádný praktický keramický materiál.

Pevnost keramiky je snižována zejména v důsledku působení těchto faktorů [14]:

- strukturní defekty atomárních a submikrometrických rozměrů,
- vady a koncentrátoři napětí příslušející mikrostruktuře,
- povrchové mikrotrhlky a vady,
- trhlky a vady vzniklé nesprávným technologickým postupem.

Vyztužené keramiky

Velmi perspektivní materiály pro řezné nástroje jsou tzv. vyztužené (zpevněné, kompozitní) keramiky, které jsou vyráběny tak, že do základní matrice (Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$, Si_3N_4 , atd.) jsou přidány vlákna SiC případně Si_3N_4 (whiskery). Vyznačují se razantním nárůstem houževnatosti a umožňují použití řezné kapaliny.



Obr. č. 12. Vyztužená keramika vlákny whiskery [26]

Vlastnost	Whiskery SiC				Whiskery Si ₃ N ₄	Matrice	
	ARCO ¹⁾	TATEHO ¹⁾	TOKAI ¹⁾	VERSAR ¹⁾	TATEHO ¹⁾	Si ₃ N ₄	Al ₂ O ₃
Délka [μm]	10-80	10-40	50-500	20-400	50-300		
Průměr [μm]	0,6	0,05-0,20	0,5	1-10	0,2-0,5		
Modul pružnosti v tahu [GPa]	680	490	400-700	550	385	300-427	400-440
Pevnost [GPa]	6,8 ²⁾	21 ²⁾	3-14 ²⁾	18 ²⁾	14 ²⁾	0,60-0,95 ³⁾	0,7 ³⁾
Měrná hmotnost [g cm ⁻³]	3,2	3,18			3,18	3,26	3,98
Součinitel délkové roztažnosti [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	4,7	4,4-4,7			2,4-2,5	2,9-3,2	8,2-8,9
Měrná tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]		40-400				30-60	25

Pozn.: 1) výrobce
2) v tahu
3) v ohybu

Obr.č.13. Fyzikální a mechanické vlastnosti whiskerů a matic [15]

Whiskery zlepšují mechanické vlastnosti kompozitu zejména proto, že brání šíření trhlin a to z následujících důvodů:

- při uvolňování vláken, která jsou rovnoběžná s rovinou trhliny dochází k odklonu směru šíření trhliny,
- vlákna kolmá k rovině trhliny se porušují v rovině trhliny, nebo několika mikrometrů od ní,
- vlákna, která nacházejí v bezprostřední blízkosti zrn matrice, vytvářejí účinné zpevňovací můstky (pouze v případě, kdy je jejich délka minimálně dvakrát větší, než je rozměr zrn).

2.5 Využití řezné keramiky v oblasti obrábění

Soustružení

Pracovní podmínky pro soustružení keramickými materiály, uvádějí výrobci v katalozích svých výrobků. Chlazení pomocí kapaliny je u naprosté většiny VBD z keramiky zakázáno. Při obrábění tvrdých materiálů je nutné volit malou hloubku řezu (ap).

Pro efektivní a hospodárné využití keramických VBD při soustružení je vhodné dodržovat tato základní pravidla [18]:

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

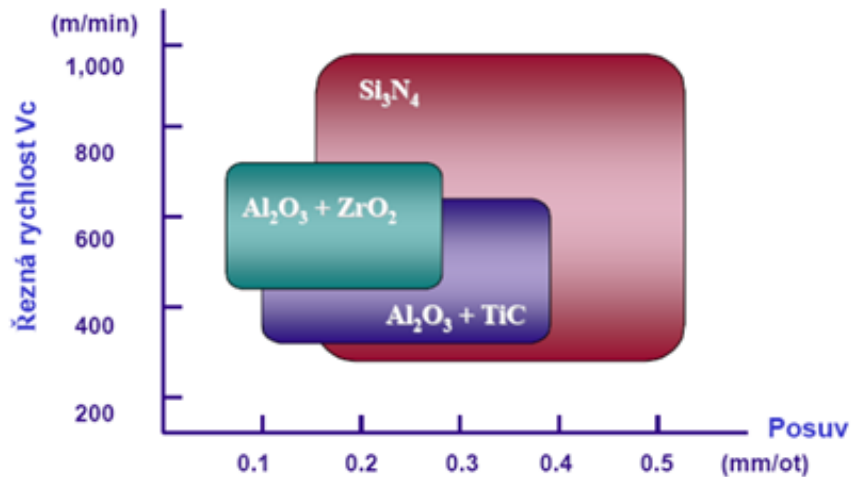
Frézování

Zpočátku nebylo možné použít řeznou keramiku pro přerušovaný řez, protože neměla dostatečnou kvalitu. Proto se využívala zejména pro soustružení. Díky vývoji a zlepšením mechanických vlastností se dosáhlo toho, že je v dnešní době možné použít řeznou keramiku i k přerušovanému řezu, tedy i frézování.

Většina řezných keramik má svou specifickou oblast, ve které se využívá.

Tab.č.3. Využití řezných keramik :[16]

Druh řezné keramiky	Charakteristické použití řezné keramiky	Charakter řezu
Al_2O_3	obrábění šedé litiny a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem vysokými rychlostmi za sucha	dokončovací operace
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$	obrábění šedé, tvárné a temperované litiny, konstrukčních i zušlechtěných ocelí za sucha	střední a dokončovací operace, částečně přerušovaný řez
$\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}$	obrábění kalených ocelí a těžko obrobitelných materiálů s částečně přerušovaným řezem za sucha i s chlazením obrábění šedé litiny a tvrzených litin	střední a dokončovací operace včetně středního a dokončovacího frézování
$\text{Al}_2\text{O}_3 +$ whiskery SiC	obrábění žáruvzdorných a žárupevných materiálů a kalené oceli	hrubovací a dokončovací operace při soustružení i frézování
Keramiky na bázi Si_3N_4	obrábění všech druhů litin, slitin na bázi Ni za sucha i s chlazením	hrubovací a dokončovací operace při soustružení i frézování

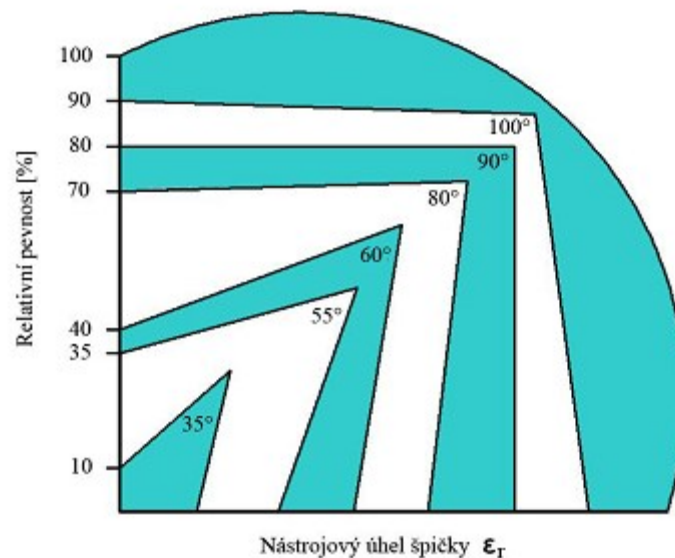


Obr.č.14. Rozsah použití řezné keramiky [16]

2.6 Vliv tvaru keramických VBD na jejich relativní pevnost

2.6.1 Nástrojový úhel špičky ϵ_r

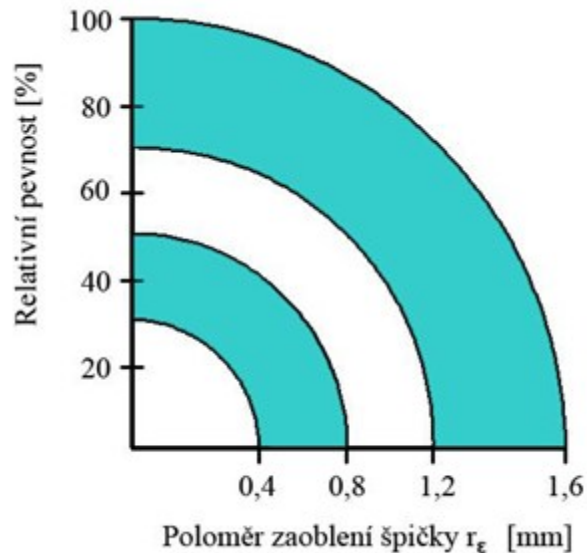
Zmenšující se úhel ϵ_r (mezi nástrojovou rovinou hlavního a vedlejšího ostří) VBD, má za následek klesající relativní pevnost. Z obrázku č.13 vidíme, že relativně nejvíce pevná bude VBD kruhového tvaru.



Obr.č.15. Relativní pevnost keramické VBD v závislosti na nástrojovém úhlu špičky [19]

2.6.2 Poloměr zaoblení špičky

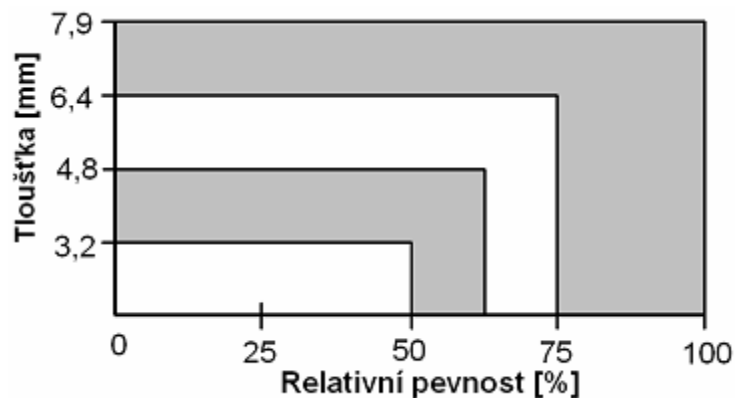
Čím větší je hodnota poloměru zaoblení špičky, tím větší je relativní pevnost vyměnitelné břitové destičky. Destičky o velkém poloměru zaoblení špičky se používají především pro hrubovací úkony. Malé poloměry jsou určeny pro dokončovací operace.



Obr.č.16. Relativní pevnost keramické VBD v závislosti na poloměru zaoblení špičky [19]

2.6.3 Tloušťka vyměnitelné břitové destičky

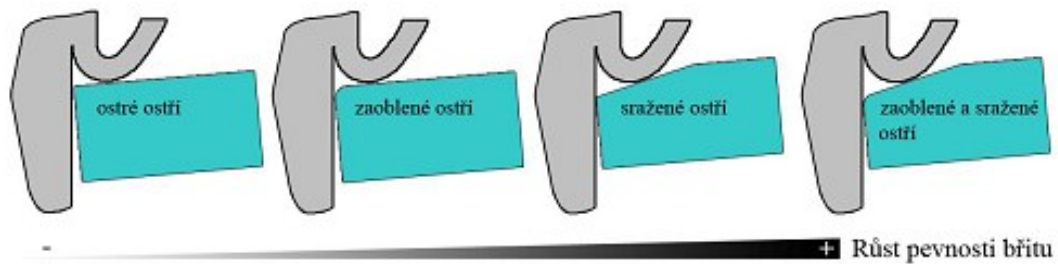
Zvětšováním tloušťky vyměnitelné břitové destičky dochází ke zvýšení rázové houževnatosti a prodloužení životnosti nástrojů, což je výhodné. Díky tomu se navyšuje obráběcí výkon a bezpečnost práce.



Obr.č.17. Relativní pevnost keramické VBD v závislosti na její tloušťce [19]

2.6.4 Úprava ostří keramického řezného nástroje

Sražením ostří na nástroji (vytvoření negativní fazetky na čele), se zvyšuje pevnost břitu. Síly působící při obrábění na ostří nástroje se v případě sraženého ostří rozprostřou do větší plochy oproti nástroji bez této úpravy. Tyto úpravy rozšiřují možnou aplikaci nástrojů z řezné keramiky (např. obrábění přerušovaným řezem, obrábění licí kůry obrobku).



Obr.č.18. Úprava ostří keramického řezného nástroje[19]

3. Metody testování nástrojů při soustružení přerušovaným řezem

Testování řezných nástrojů při soustružení přerušovaným řezem se provádí na speciálních přípravcích. Existují dvě metody testování:

Jsou jimi :

- soustružení příčné, tzv. „čepový test“,
- soustružení podélné, tzv. „lišťový test“

3.1 Čepový test

Princip této metody testování spočívá v obrábění čel osmi válečků, rovnoměrně umístěných (po kružnici) a upevněných na čelní desce přípravku dostatečnou silou zamezující prokluzu. Přípravek je upnut ve sklíčidle a pro zvýšení tuhosti je využito opěrného hrotu.

Přípravek koná rotační pohyb a nástroj posuvný příčný pohyb od středu k obvodu desky. Za jednu otáčku přípravku je břit soustružnického nože vystaven osmi rázům.

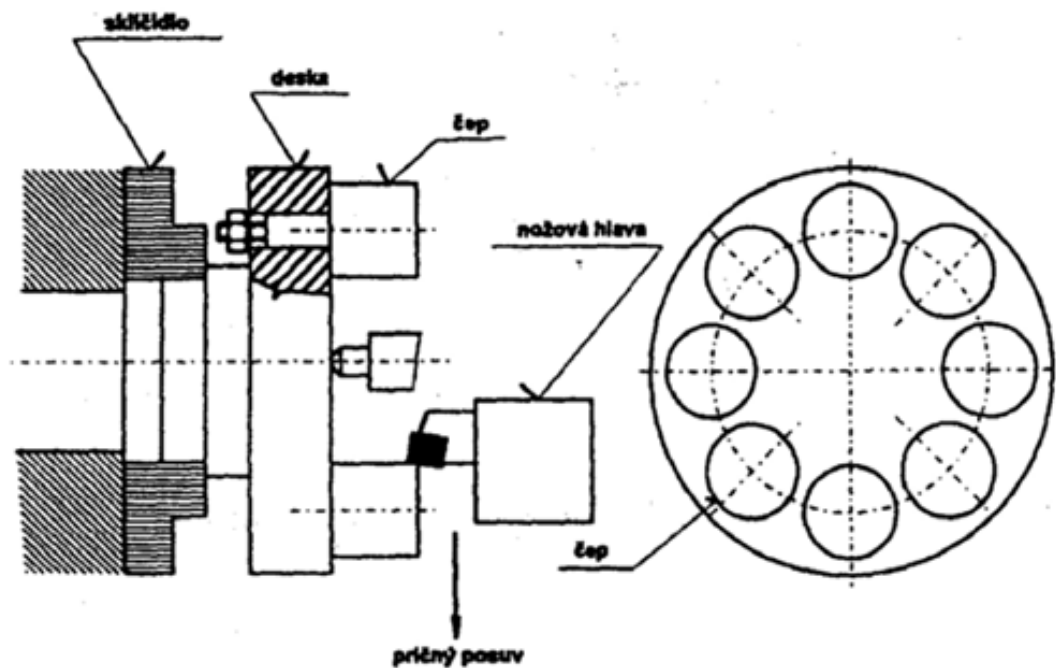
Ukazatelem určujícím odolnost břitu testovaného nástroje rázovému zatížení v přerušovaném řezu je počet rázu R , které je schopen břit vydržet než dojde k jeho destrukci.

Parametry jako hloubka řezu a_p a posuv f zůstávají po celou dobu testování stejné. Jediný parametr, u kterého dochází ke změně je řezná rychlost v_c .

Využitelnost tohoto testu je pouze na porovnání řezných materiálů od různých výrobců a druhů mezi sebou.

Mezi výhody této zkoušky patří časová nenáročnost a nízké nároky na zkušební materiál.

Nevýhodou je, že ze získaných údajů nelze stanovit řezné podmínky pro konkrétní případ soustružení přerušovaným řezem.

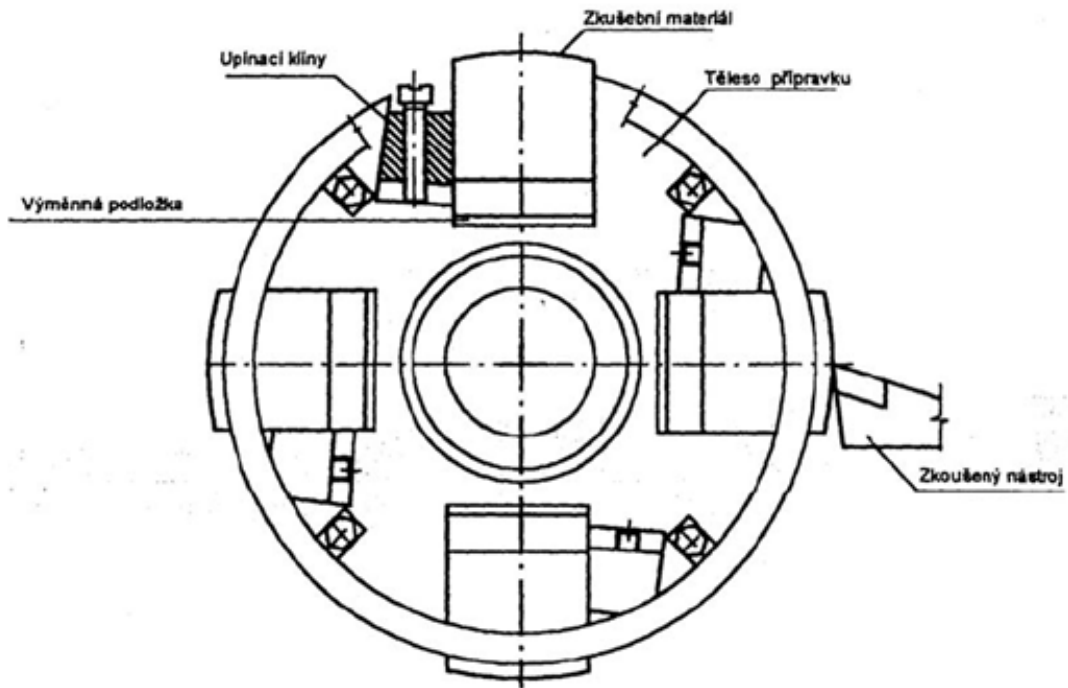


Obr. č. 19. Schéma přípravku pro čepový test [20,21]

3.2 Lištový test

Přípravek ve tvaru válce je tvořen čtyřmi vyměnitelnými lištami, upnutými v drážkách přípravku pomocí upínacích klínů. Lišty je možno podkládat podložkami, čímž je možné zajistit stálý řezný průměr. Přípravek je dále opatřen pojistnými kroužky, které jsou přišroubovány k přípravku. Tyto pojistné kroužky zamezují vypadnutí lišt z přípravku, v případě nedostatečného upnutí. Výhodou tohoto přípravku je jednoduchá výměna lišt, díky tomu lze použít různých obráběných materiálů.

Tento přípravek byl zhotoven v rámci řešení grantového projektu GAČR č.101/93/0129 v laboratořích katedry obrábění a montáže [21].



Obr.č.20. Schéma přípravku pro lištový test [20,21]

4. Vlastní měření

V této diplomové práci byla využita jedna z výše uvedených metod testování, a to metoda soustružení podélné, tzv. „lišťový test“, která byla využita pro testování keramických řezných nástrojů při nepravidelném přerušovaném řezu.

Nepravidelné přerušování řezu bylo vytvořeno vyjmutím nejprve jedné, dvou a nakonec tří vyměnitelných lišt z přípravku.

4.1 Materiál lišt

Lišty jsou vyrobeny z materiálu 12 050/ČSN 41 2050 (uhlíková ocel k zušlechťování a povrchovému kalení).

Mechanické vlastnosti materiálu: mez pevnosti $R_m = 637 \text{ Mpa}$

Tvrдость = 180-220 HB

Rozměry lišt: 48x60 mm obráběná délka 600 mm.



Obr.č.21. Fotografie neupravených lišt

4.2 Sestavení přípravku

V první řadě je třeba přípravek upnout do soustruhu. Přípravek se upíná do sklíčidla soustruhu a podepírá se hrotem ustaveným v pinole koníku.



Obr.č.22. Fotografie upnutého přípravku bez lišt

Po upnutí následuje jednotlivé vkládání a upínání neupravených lišt do přípravku pomocí upínacích klínů. Poté co máme všechny lišty upnuty v přípravku, zajistíme je ještě pojistným kroužkem.



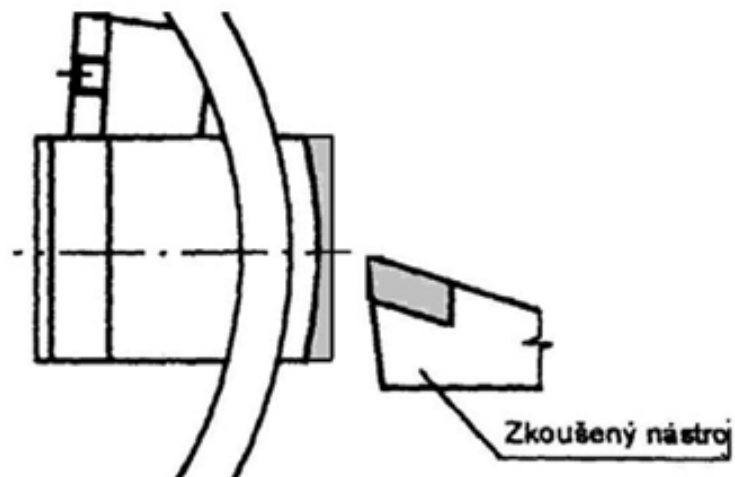
Obr.č.23. Fotografie přípravku s třemi neupravenými lištami

4.3 Úprava lišt

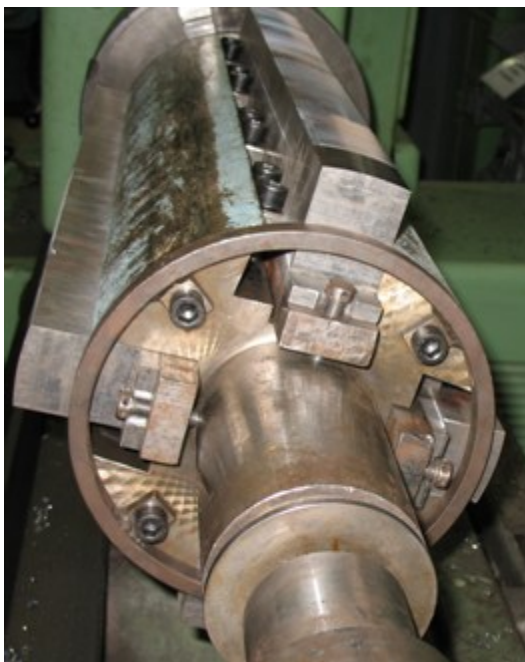


Obr.č.24. Fotografie přípravku připraveného k úpravě lišt

Aby byla zaručena konstantní hloubka třísky při měření a zamezilo se rozkmitání soustavy, je nutné odřezat první hloubku třísky ještě dříve než začneme provádět měření.



Obr.č.25. Úprava lišt [6]

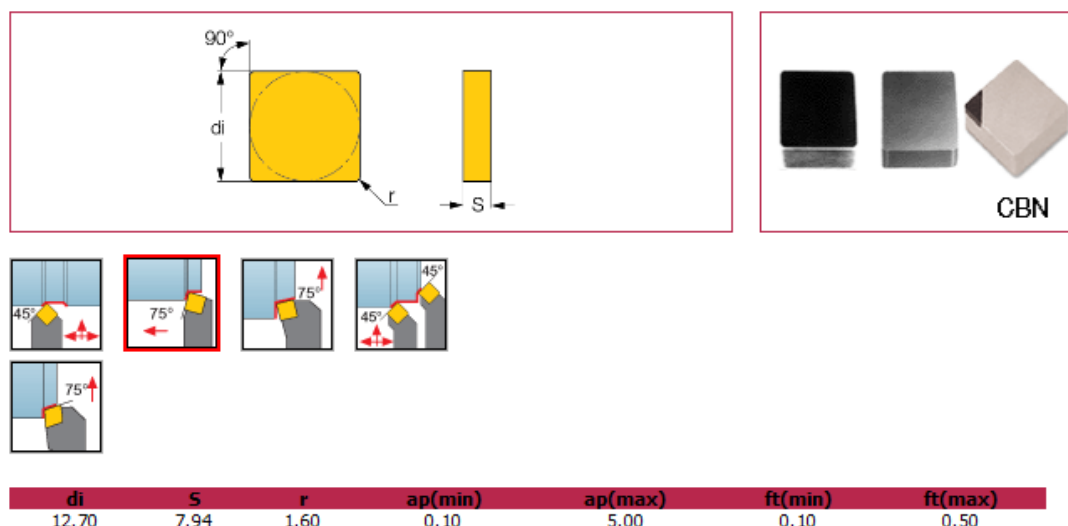


Obr.č.26. Fotografie přípravku s upravenými lištami

4.4 Řezný materiál

Jako první řezný materiál byly použity keramické VBD od firmy ISCAR typu SNGN 120716T IN23.

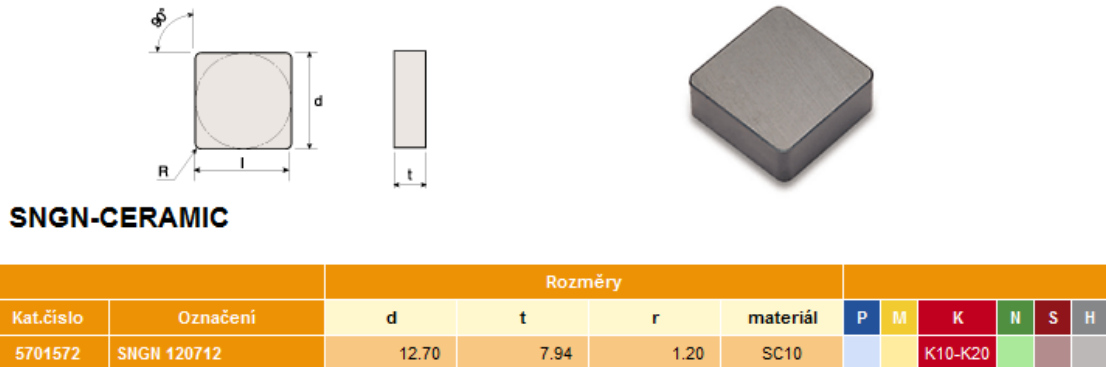
Bílá keramika (Al_2O_3+TiCN), vhodná pro litiny a kalené oceli. Využití pro dokončování při vysokých řezných rychlostech bez chlazení.



Obr.č.27. VBD SNGN 120716T IN23 [23]

Jako druhý řezný materiál byly použity keramické VBD od firmy TaeguTec ČR s.r.o typu SNGN 120712 SC10.

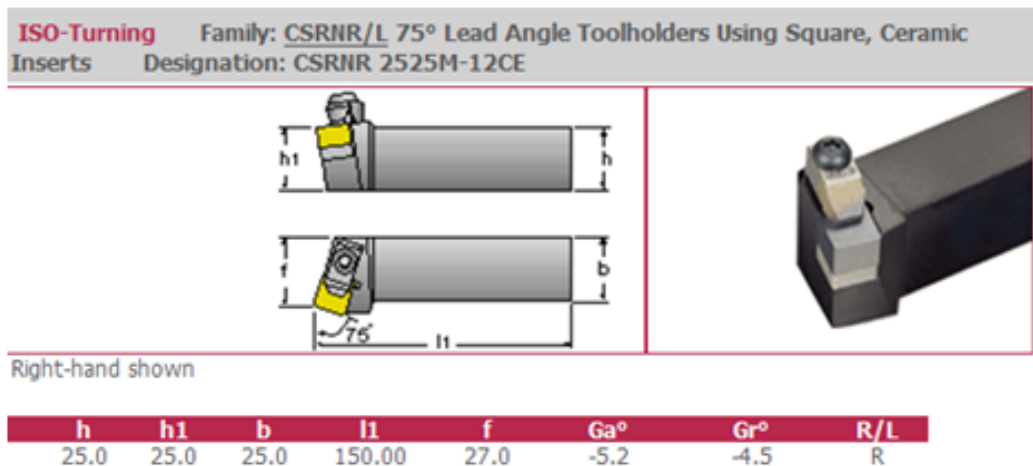
Povlakovaná keramika, vysoká otěruvzdornost s vynikající houževnatostí a odolností na teplotní šoky. Využití pro vysokorychlostní obrábění litiny. Možnost suchého i mokrého obrábění.



Obr.č.28. VBD SNGN 120712 SC10 [24]

4.5 Nástrojový držák

K uchycení keramických břitových destiček byl použit držák typu CSRNR 2525M-12CE .



Obr.č.29. Použitý nástrojový držák [22]

4.6 Řezné parametry

Pro testování výše uvedených typů řezných materiálů a pro náš přípravek, s ohledem na jeho obráběný průměr 260 mm, byly zvoleny následující řezné podmínky:

- Otáčky $n = 520$ a 360 min^{-1}
- Řezná rychlost (odvozená z otáček) $v_c = 425$ a $294 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Posuv $f = 0,2 \text{ mm}$
- Hloubka řezu $a_p = 1 \text{ mm}$ (pro všechny druhy testovaných VBD)

4.7 Obráběcí stroj

Testování bylo prováděno ve výrobní hale Žilinské univerzity na soustruhu katedry obrábění a výrobní techniky typu TOS SN55. Tento soustruh má tuhou konstrukci, litinové lože, umožňuje tuhé upnutí a dobře tlumí rázy, které vznikají při přerušovaném řezu. Dosahuje maximálně 1440 min^{-1} a výkon elektromotoru má 7,5kW.



Obr.č.30. Fotografie soustruhu TOS SN 55-7

4.8 Použité přístroje

K pořízení snímků vzniklého opotřebení VBD, bylo použito mikroskopu INTRACOMICRO s digitální kamerou a výstupem do PC. Zvětšení bylo použito 4 násobné.



Obr.č.31. Mikroskop INTRACOMICRO

K získání hodnot střední aritmetické úchytky profilu R_a [μm] a největší výšky profilu R_z [μm] bylo použito drsnoměru Mitutoyo SurfTest – 211 s digitálním výstupem dat.



Obr.č.32. Drsnoměr Mitutoyo SurfTest – 211

4.9 Sledování počtu rázů

Z hlediska časové a materiálové náročnosti, byla na základě předchozích zkušeností stanovena limitní hodnota 6000 rázů. Pokud testovaná destička vydrží tuto limitní hodnotu, je považována za vyhovující a proces testování může být ukončen.

Měření se provádí zpravidla několikrát, aby byla zajištěna objektivita tohoto měření. Naměřené hodnoty jsou zpracovány do tabulek, ze kterých jsou vytvořeny průměrné hodnoty. Tyto hodnoty jsou pak dále zpracovány v grafech pro lepší názornost.

Počet rázů se vypočte pomocí vzorce:

$$R = \frac{n \cdot l}{f} \quad [-] \quad (4.1)$$

kde:

R- počet rázů [-]

n – počet lišt v přípravku [-]

l – obrobená délka [mm]

f – posuv nástroje [mm]

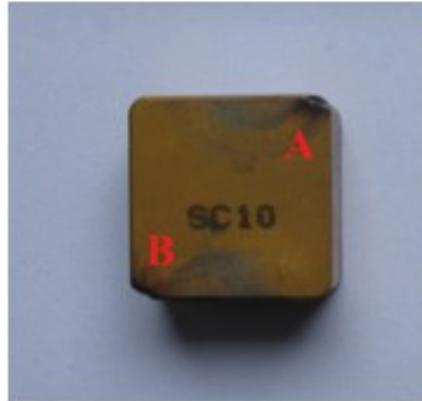
Obrobená délka odpovídající limitnímu počtu rázů se s počtem lišt v přípravku mění. V tabulce č.4 je proto proveden přepočtení obrobené délky odpovídající limitnímu počtu rázů, pro daný posuv.

Tab.č.4. Přepočtení obrobené délky

Limitní hodnota 6000 rázů.	
Počet lišt v přípravku	Obrobená délka při posuvu 0,2 [mm]
4 lišty	300
3 lišty	400
2 lišty	600
1 lišta	1200

5. Zpracování a porovnání naměřených hodnot

Měření bylo provedeno na více vyměnitelných destičkách stejného druhu, vždy byly měřeny dvě hrany (označení „A“, „B“).



Obr.č.33. Značení měřených hran destiček

Jednotlivé hrany pak byly vyfoceny s čtyřnásobným zvětšením na mikroskopu INTRACOMICRO pro lepší viditelnost jednotlivých opotřebení VBD.

Jakmile VBD dosáhla limitní hodnoty nebo došlo k její destrukci, následovalo měření střední aritmetické úchylky profilu R_a [μm] a největší výšky profilu R_z [μm] pomocí drsnoměru Mitutoyo Surftest – 211.



Obr.č.34. Detail měření drsnoměrem Mitutoyo Surftest – 211

5.1 Porovnání naměřených hodnot při 4 a 2 lištách

Pro tuto část testování bylo použito těchto řezných podmínek:

- Otáčky $n = 520 \text{ min}^{-1}$
- Řezná rychlost $v_c = 425 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Posuv $f = 0,2 \text{ mm}$
- Hloubka řezu $a_p = 1 \text{ mm}$

Tab.č.5. Naměřené hodnoty při testování na 4 lištách

VBD od firmy ISCAR typu IN23								
4lišty	Hrana A				Hrana B			
Parametry	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	300	6000	1,32	4,1	300	6000	1,44	4
2	300	6000	1,36	4,3	300	6000	1,36	3,8
3	300	6000	1,42	4,5	300	6000	1,45	4,2
4	300	6000	1,28	3,7	300	6000	1,52	3,9
5	300	6000	1,35	4,8	300	6000	1,38	3,6
Aritmetický průměr	300,00	6000,00	1,35	4,28	300,00	6000,00	1,43	3,90
Směrodatná odchylka	0,00	0,00	0,05	0,37	0,00	0,00	0,06	0,20
VBD od firmy TaeguTec SC10								
4lišty	Hrana A				Hrana B			
Parametry	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	289	5780	1,52	5,1	280	5600	1,54	4,6
2	268	5360	1,4	5,3	300	6000	1,49	5,2
3	296	5920	1,44	4,9	278	5560	1,55	5,4
4	273	5460	1,67	4,4	292	5840	1,45	4,8
5	252	5040	1,55	4,8	289	5780	1,51	5,1
Aritmetický průměr	275,60	5512,00	1,52	4,90	287,80	5756,00	1,51	5,02
Směrodatná odchylka	15,60	312,05	0,09	0,30	8,06	161,20	0,04	0,29

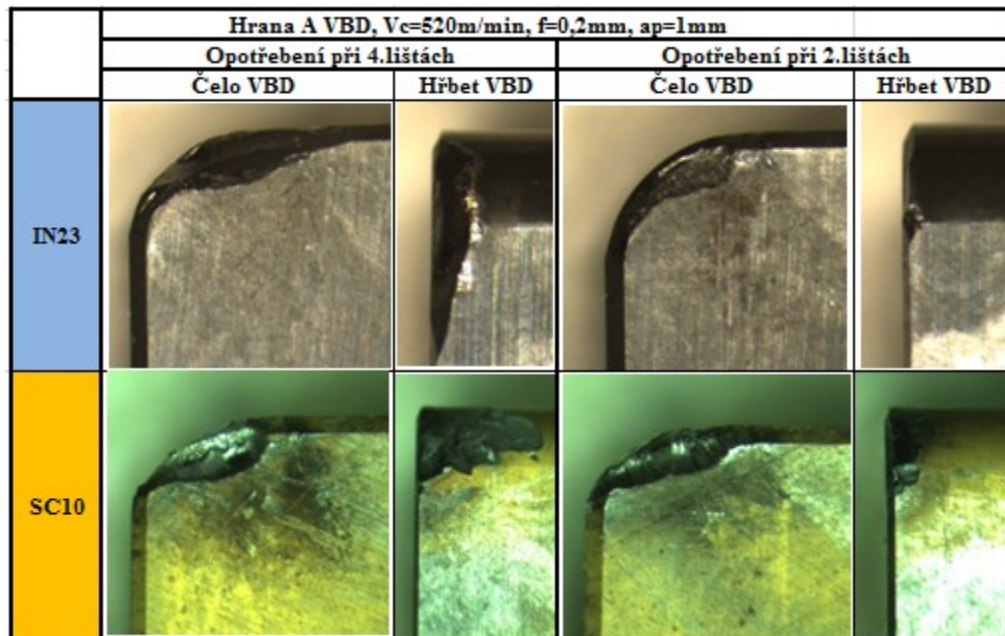
Pro typ destiček od firmy ISCAR IN23 byly tyto řezné podmínky vyhovující, vydržely tedy limitní hodnotu 6000 rázů. Destičky od firmy TaeguTec SC10 se limitní hodnotě velmi blížili.

Tab.č.6. Naměřené hodnoty při 2 lištách

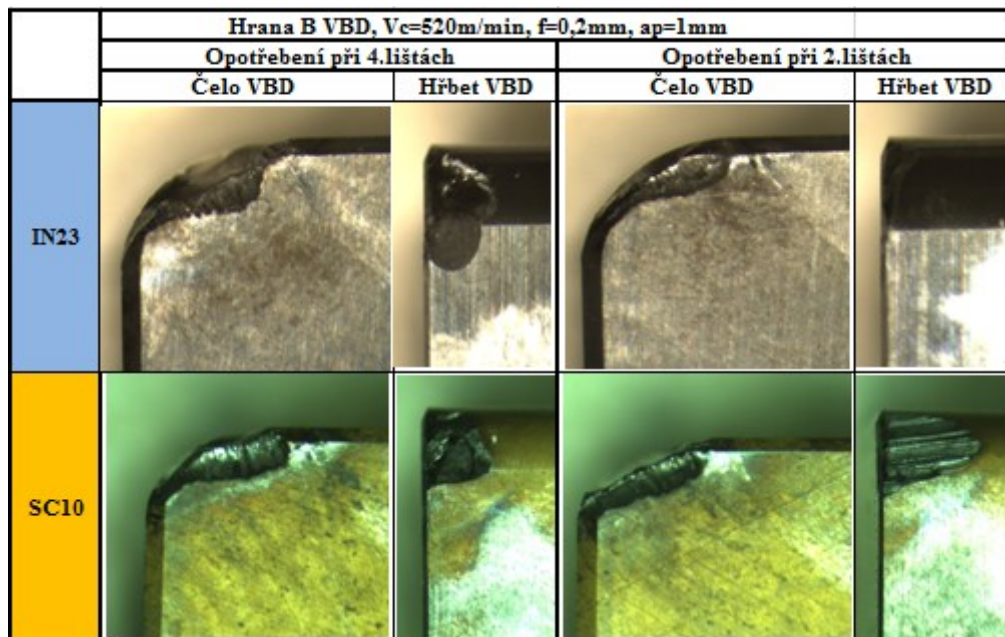
VBD od firmy ISCAR typu IN23								
2lišty	Hrana A				Hrana B			
Parametry	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	600	6000	1,45	5,3	600	6000	1,53	5,1
2	600	6000	1,5	6,2	600	6000	1,46	6,2
3	600	6000	1,42	5,4	600	6000	1,55	5,5
4	600	6000	1,44	5,9	600	6000	1,48	6,5
5	600	6000	1,56	5,5	600	6000	1,62	4,9
Aritmetický průměr	600,00	6000,00	1,47	5,66	600,00	6000,00	1,53	5,64
Směrodatná odchylka	0,00	0,00	0,05	0,34	0,00	0,00	0,06	0,62
VBD od firmy TaeguTec SC10								
2lišty	Hrana A				Hrana B			
Parametry	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	586	5860	1,6	5,1	560	5600	1,65	4,9
2	568	5680	1,62	6,8	552	5520	1,6	5,4
3	577	5770	1,67	5,5	592	5920	1,66	5,9
4	558	5580	1,63	5,3	585	5850	1,54	6,1
5	582	5820	1,59	5,1	578	5780	1,58	4,8
Aritmetický průměr	574,20	5742,00	1,62	5,56	573,40	5734,00	1,61	5,42
Směrodatná odchylka	10,09	100,88	0,03	0,64	15,09	150,94	0,04	0,52

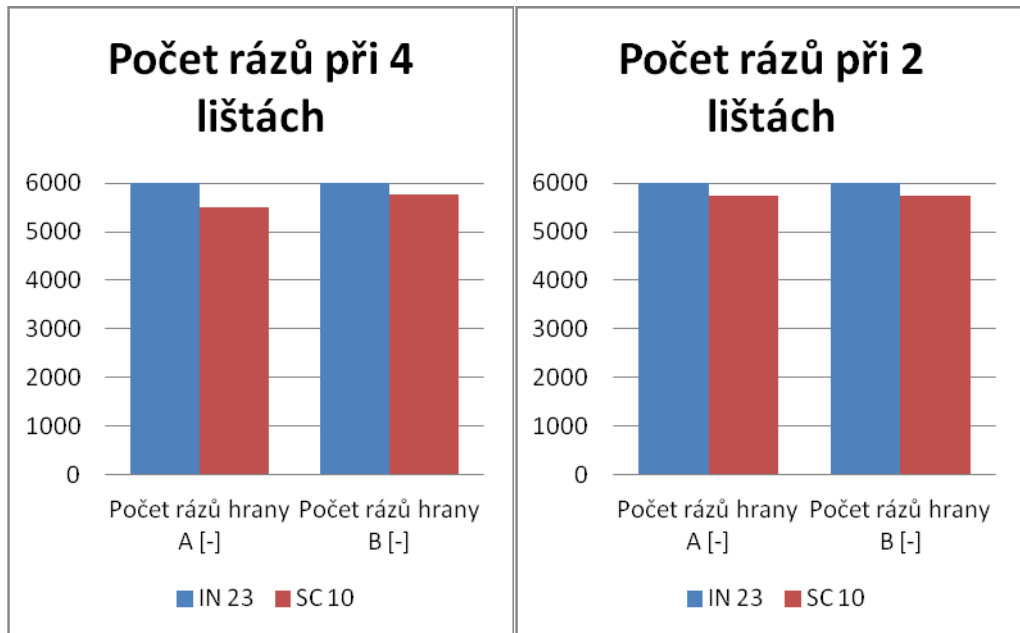
Výsledky naměřené při dvou upnutých lištách jsou velmi podobné hodnotám naměřených při testování se čtyřmi upnutými lištami.

Tab.č.7. Fotografie detailu opotřebení hrany A VBD při 4 a 2 lištách



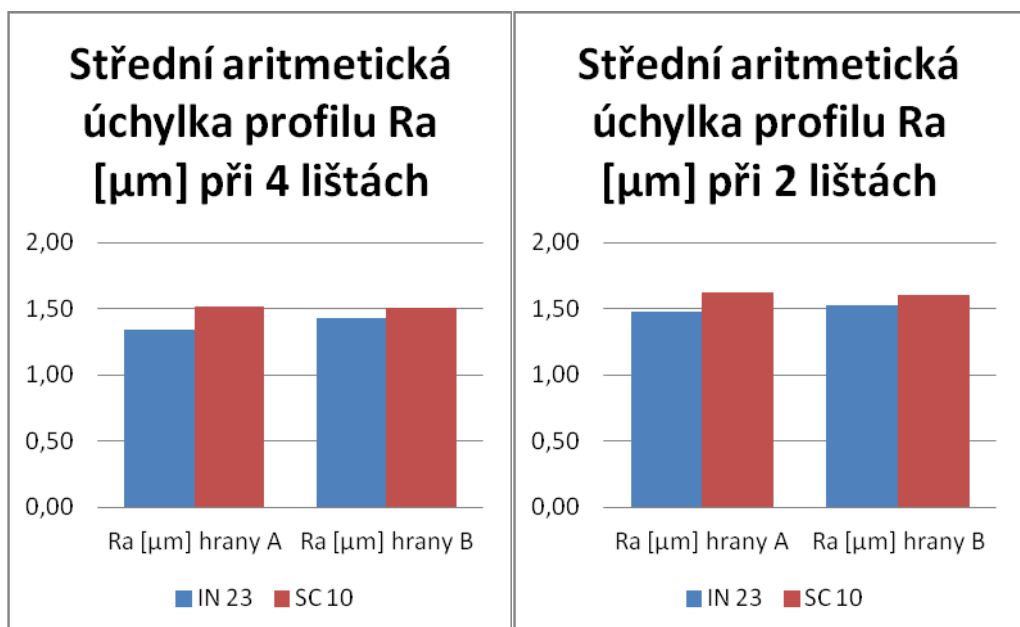
Tab.č.8. Fotografie detailu opotřebení hrany B VBD při 4 a 2 lištách





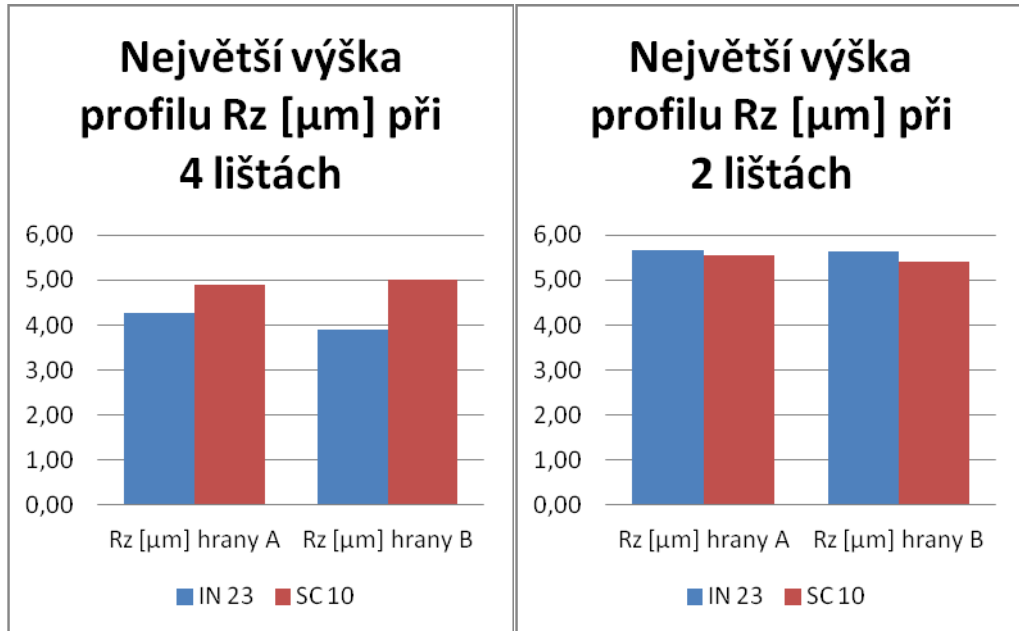
Obr.č.35. Grafy zobrazující počty dosažených rázů při 4 a 2 lištách

V těchto grafech je využito průměrných hodnot. Vidíme, že nejlépe obstála destička typu IN23, která dosáhla u obou metod testování limitní hodnoty 6000 rázů a je tedy vyhovující. Destička typu SC10 limitní hodnoty nedosáhla, je tedy nevyhovující.



Obr.č.36. Grafy středních aritmetických úchylek profilu při 4 a 2 lištách

Střední aritmetická úchylka profilu Ra obrobených lišt při testování se čtyřmi a dvěma upnutými lištami dosahovala podobných výsledků. Vyšších hodnot dosahovala destička typu SC10.



Obr.č.37. Grafy největší výšky profilu při 4 a 2 lištách

Největší výška profilu Rz dosahovala nižších hodnot v případě čtyř upnutých lišt a to u obou typů testovaných destiček. V případě čtyř upnutých lišt vykazovaly lepší hodnoty destičky typu IN23. Naopak v případě dvou upnutých lišt dosahovaly lepších hodnot destičky typu SC10.

5.2 Porovnání naměřených hodnot při 3 a 1 liště

Pro tuto část testování bylo použito těchto řezných podmínek:

- Otáčky $n = 360 \text{ min}^{-1}$
- Řezná rychlost $v_c = 294 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
- Posuv $f = 0,2 \text{ mm}$
- Hloubka řezu $a_p = 1 \text{ mm}$

Tab.č.9. Naměřené hodnoty při 3 lištách

VBD od firmy ISCAR typu IN23								
3 lišty	Hrana A				Hrana B			
Parametry	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	400	6000	1,42	4,4	400	6000	1,53	4,3
2	400	6000	1,52	4,6	400	6000	1,39	4,1
3	400	6000	1,45	4,5	400	6000	1,38	4,8
4	400	6000	1,48	5,1	400	6000	1,42	4,5
5	400	6000	1,36	4,8	400	6000	1,49	4,9
Aritmetický průměr	400,00	6000,00	1,45	4,68	400,00	6000,00	1,44	4,52
Směrodatná odchylka	0,00	0,00	0,05	0,25	0,00	0,00	0,06	0,30
VBD od firmy TaeguTec SC10								
3 lišty	Hrana A				Hrana B			
Parametry	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	400	6000	1,6	5,1	400	6000	1,52	4,8
2	400	6000	1,55	5	400	6000	1,45	4,6
3	400	6000	1,47	4,8	400	6000	1,56	4,8
4	400	6000	1,49	4,7	400	6000	1,55	5,2
5	400	6000	1,55	4,4	400	6000	1,62	5,1
Aritmetický průměr	400,00	6000,00	1,53	4,80	400,00	6000,00	1,54	4,90
Směrodatná odchylka	0,00	0,00	0,05	0,24	0,00	0,00	0,06	0,22

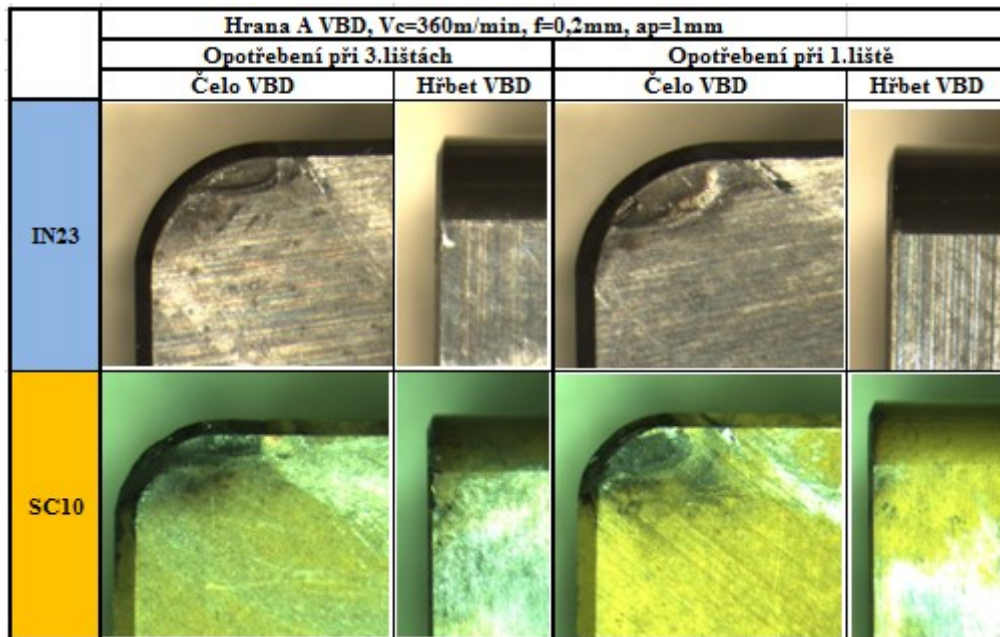
Při testování se třemi upnutými lištami bylo dosaženo limitní hodnoty 6000 rázů ve všech testech u obou typů destiček.

Tab.č.10. Naměřené hodnoty při 1 liště

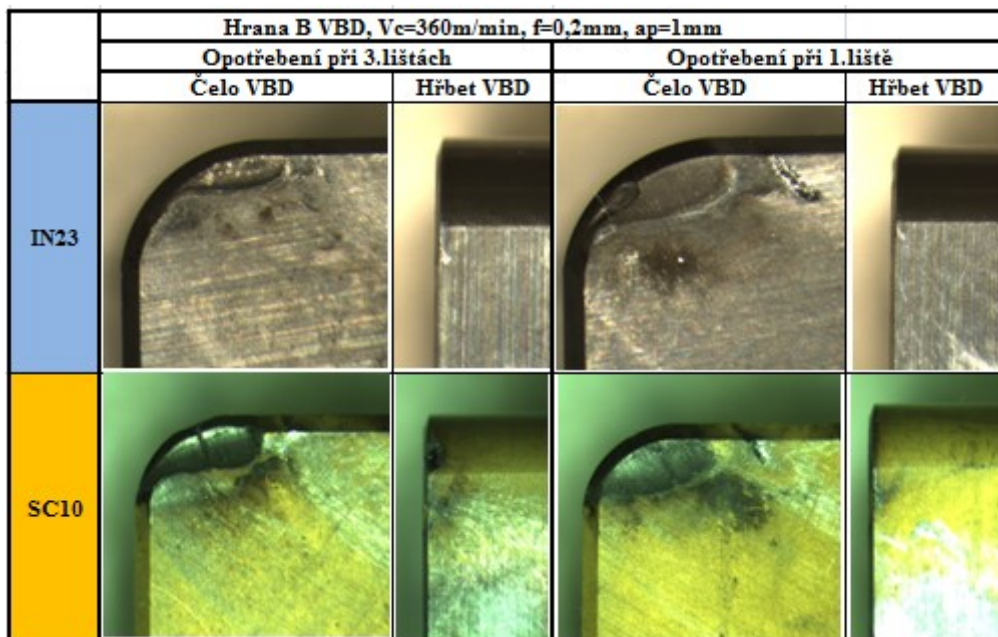
VBD od firmy ISCAR typu IN23								
1 lišta	Hrana A				Hrana B			
Parametry	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	1200	6000	1,66	5,1	1200	6000	1,55	6,1
2	1200	6000	1,75	5,6	1200	6000	1,59	6,5
3	1200	6000	1,61	5,8	1200	6000	1,62	5,8
4	1200	6000	1,54	5,2	1200	6000	1,48	5,4
5	1200	6000	1,62	5,9	1200	6000	1,65	5,9
Aritmetický průměr	1200,00	6000,00	1,64	5,52	1200,00	6000,00	1,58	5,94
Směrodatná odchylka	0,00	0,00	0,07	0,32	0,00	0,00	0,06	0,36
VBD od firmy TaeguTec SC10								
1 lišta	Hrana A				Hrana B			
Parametry	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]	l [mm]	R [-]	Ra [μm]	Rz [μm]
1	1200	6000	1,59	6,6	1200	6000	1,55	5,9
2	1200	6000	1,64	6,1	1200	6000	1,59	5,1
3	1200	6000	1,68	5,5	1200	6000	1,49	5,3
4	1200	6000	1,55	5,3	1200	6000	1,56	5,6
5	1200	6000	1,62	4,9	1200	6000	1,62	4,8
Aritmetický průměr	1200,00	6000,00	1,62	5,68	1200,00	6000,00	1,56	5,34
Směrodatná odchylka	0,00	0,00	0,04	0,60	0,00	0,00	0,04	0,38

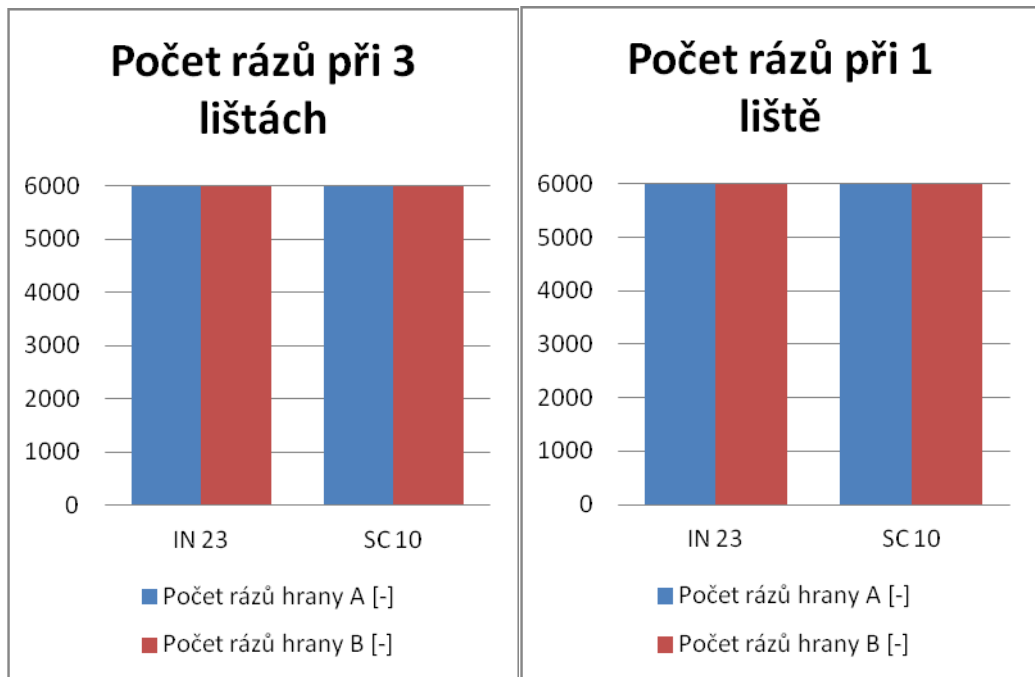
Obdobně jako u předchozího testu se třemi lištami dopadlo testování s jednou upnutou lištou. Oba typy destiček vydržely do limitní hodnoty 6000 rázů a jsou tedy vyhovující.

Tab.č.11. Fotografie detailu opotřebení hrany A VBD při 3 a 1 lištách



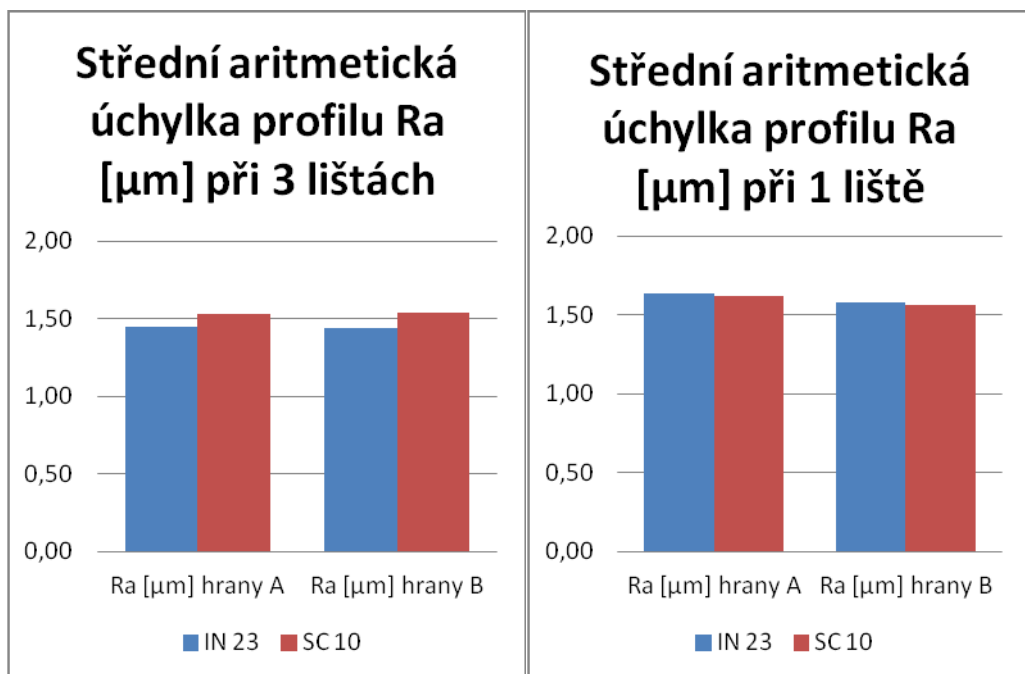
Tab.č.12. Fotografie detailu opotřebení hrany B VBD při 3 a 1 lištách





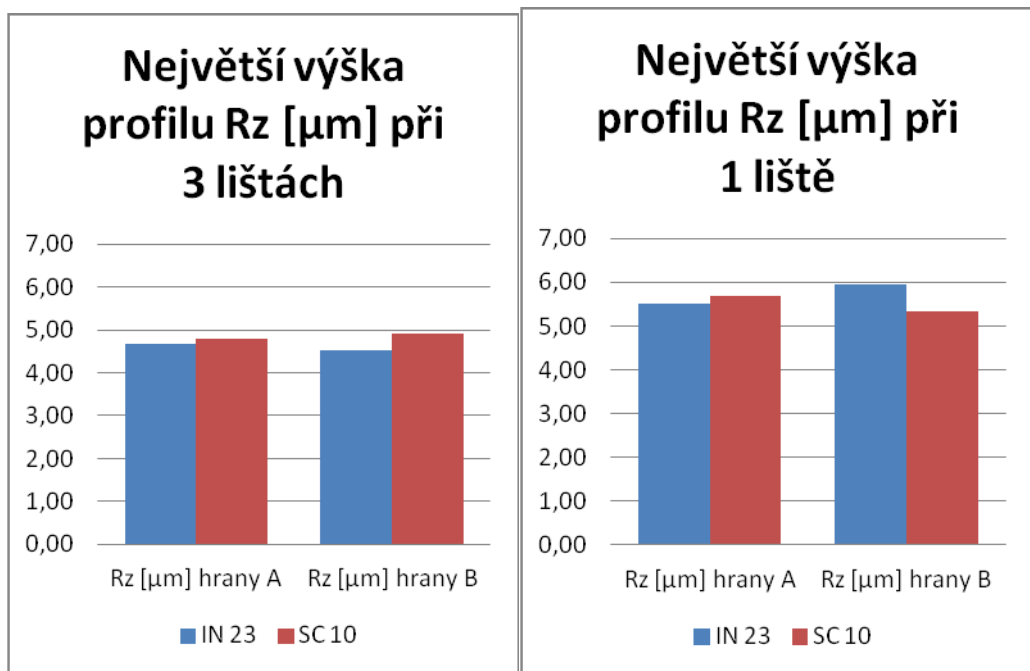
Obr.č.38. Grafy zobrazující počty dosažených rázů při 3 a 1 liště

Z těchto grafů vidíme, že limitní hodnoty dosáhly oba typy destiček při obou metodách testování, jsou tedy vyhovující.



Obr.č.39. Grafy středních aritmetických úchylek profilu při 3 a 1 liště

Střední aritmetická úchylka R_a v případě testování třech upnutých lišt dosahovala nepatrně lepších výsledků u obou typů destiček oproti testování s jednou upnutou lištou. Lepších hodnot dosáhla při testování se třemi lištami destička typu IN23, naopak tomu bylo v případě testování s jednou lištou.



Obr.č.40. Grafy největší výšky profilu při 3 a 1 liště

Největší výška profilu R_z vykazovala lepší hodnoty u obou typu testovaných destiček v případě tří upnutých lišt oproti testu s jednou lištou. Mírně lepších výsledků dosahovala destička typu IN23 při testu se třemi lištami. U testu s jednou lištou dosáhla o trochu lepších výsledků destička typu SC10.

6. Závěr

V této diplomové práci byla nejprve stručně popsána řezná keramika, její historie, rozdělení, výroba, její vlastnosti a využití v oblasti obrábění a nakonec vliv tvaru VBD na jejich relativní pevnost. Poté následovala experimentální část.

Jako hlavní cíl této diplomové práce, bylo otestovat dva druhy keramických vyměnitelných břitových destiček v podmínkách přerušovaného řezu a zjistit zda jsou pro tento způsob obrábění vhodné či ne. Prvním typem VBD je od firmy ISCAR SNGN 120716T IN23, kterou výrobce uvádí jako vhodnou pro obrábění litin a kalených ocelí. Jako druhého typu VBD bylo použito destičky od firmy TaeguTec SNGN 120712 SC10, kterou výrobce doporučuje pro vysokorychlostní obrábění litiny.

Pro naše testování bylo použito etalonové oceli 12 050/ČSN 41 2050.

Přerušovaný řez byl vytvořen pomocí speciálního přípravku zhotoveného v rámci řešení grantového projektu GAČR č.101/93/0129 v laboratořích katedry obrábění a montáže. Všechny testy byly prováděny při konstantní hloubce řezu $a_p=1\text{mm}$ a konstantním posuvu $f=0,2\text{mm}$. Sledovaným parametrem byl počet rázů R. U tohoto parametru byla stanovena limitní hodnota 6000 rázů na základě předchozích zkušeností, z důvodu časové a materiálové náročnosti. Pokud VBD vydržely tuto limitní hodnotu byly považovány za vyhovující.

Testování již zmíněných VBD probíhalo, tak že se nejprve otestovaly oba typy VBD na čtyřech upnutých lištách při otáčkách $n=520\text{ min}^{-1}$ a poté následovalo testování při dvou upnutých lištách v přípravku při stejných řezných podmínkách. Z naměřených hodnot je zřejmé, že nejlépe obstaly v obou metodách testování destičky od firmy ISCAR IN23, které dosáhly při každém testu limitní hodnoty 6000 rázů a jsou tedy vyhovující. Destičky od firmy TaeguTec SC10 se této limitní hodnotě blížily.

Dalším test obou typů VBD byl proveden nejprve na třech upnutých lištách a následně na jedné upnuté liště při otáčkách $n=360\text{ min}^{-1}$. Při těchto řezných podmínkách dosáhly ve všech testech limitní hodnoty oba typy VBD.

7. Použitá literatura:

- [1] HUMÁR, Anton. *Technologie I, Technologie obrábění – 1. část*. Vysoké učení technické, ústav strojírenské technologie. Brno, 2003, 138 s.
- [2] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; NOVÁKOVÁ, Jana; PETŘKOVSKÁ, Lenka. *Technologie II - 1.díl*, VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Ostrava 2007, 1.vydání, 126 s., ISBN 978-80-248-1641-8.
- [3] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno: MM Publishing Praha, 2008, 235s. ISBN 978-80-254-2250-5.
- [4] Matějka J., Kapinus. V., Česanek J.: Vliv přerušovaného a nepřerušovaného řezu na řezivost řezne keramiky při obrábění kalených oceli.
- [5] Matějka J.: Řezne materialy. KKS. ZČU Plzeň.
- [6] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu*: Disertační práce. Ostrava: FS VŠB-TUO, 2005, 101 s.
- [7] Metals Handbook, Ninth Edition, Volume 16, Machining. ASTM International, USA, March 1989, 944 s.
- [8] Dusza, J.-Lofaj, F. –Parilák, L.: Štruktúrná podstata vlastností spekaných nástrojových materiálův. Pokroky práškové metalurgie VÚPM, 3/1985, s.40-84
- [9] Pánek, Z.-Figusch, V.-Haviar, M.-Ličko, T.-Šajgalík, P.-Dusza, J.: Konstrukčná keramika. Bratislava, R&D print 1992, 162 s.
- [10] Wertheim, R.-Agranov, D.: Wear behaviour of silicon nitride tools as a function of their specific properties. Annals of the CIRP, 35/1/1986, s.63-66

- [11] Fukuhara, M.-Fukazawa, K.-Fukawa, A.: Physical properties and cutting performance of silicon nitride ceramic. *Wear*, 102 (1985), s.195-210
- [12] Humár, A.: Studium fyzikálně chemických vlastností keramických materiálů pro strojírenství – keramické materiály v řezném procesu. Výzkumná zpráva. VUT-FS, Katedra srojírenské technologie, Brno. Říjen 1987, 62 s.
- [13] Kroupa, F.: Křehkost keramiky. *Československý časopis pro fyziku, sekce A*, svazek 32, 1982, č.1, s.1-25
- [14] Menčík, J.: Pevnost a lom skla a keramiky. Praha, SNTL – Nakladatelství technická literatura, 1990, 389 s.
- [15] Vigneau, J.- Bordel, P. – Léonard, A.: Influence of the microstructure of the composite ceramic tool on their performance when machining nickel alloys. *Annals of the CIRP*, Vol. 36/1/1982, s.13-16
- [16] Česanek J.: Vyvojove trendy a nasazeni řezne keramiky.
- [17] AVURE Technologies: Avure Technologies to Build World's Largest Hot Isostatic Press for Kinzoku Giken Co. LTD of Japan. [online]. [cit. 2012-05-02]. Dostupné z: http://www.avure.com/iso/news/archive/avure-technologies-to-build-worlds-largest-hot-isostatic-press-for-kinzoku-giken-co.-ltd-of-japan_copy.asp
- [18] PTÁČEK, L. a kolektiv. *Nauka o materiálu II.*, Brno, CERM s.r.o. 2002, ISBN 8072042483, 392s.
- [19] *Metalcutting tools and systems. GREENLEAF – EXCELERATING SOLUTIONS. USA. 2005. 8004581850.*

- [20] BILÍK, Oldřich; VLČEK, Milan. *Spolehlivost nástrojových materiálů s vyšší křehkostí v podmínkách přerušovaného řezu: zpráva o řešení grantového projektu za rok 1998*. Ostrava: FS VŠB-TU Ostrava, 1998. 22 s.
- [21] MRKVICA, Miloš; BILÍK, Oldřich; SIKORA, Roman. *Závěrečná zpráva o řešení grantového projektu GAČR č.101/93/0129 za rok 1993-1995*. Ostrava: FS VŠB-TU Ostrava, 1995. 34 s.
- [22] *Iscar Catalog: CSRNR/L* [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/Ecat/item.asp?fnum=394&mapp=IS&app=16&GFSTYP=M&tool=I&cat=5791076&lang=EN&type=1>
- [23] *Iscar Catalog: SNGN-Ceramic* [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.iscar.com/Ecat/item.asp?fnum=394&mapp=IS&app=16&GFSTYP=M&tool=I&cat=5791076&lang=EN&type=1>
- [24] *TaeguTec ČR s.r.o* [online]. [cit. 2012-04-03]. Dostupné z: <http://www.taegutec.cz/ttcat/ideail.php?katc=5701572&fnum=169&app=&produkt=3>
- [25] Saint-Gobain: Ceramic Materials. [online]. [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210&lang=cs>
- [26] SANDVIK Coromant: Technická příručka. [online]. [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical_guide/materials/cutting_tool_materials/ceramics/pages/default.aspx

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych touto cestou vyslovit poděkování vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Robert ČEP, Ph.D., který mi poskytl cenné rady a profesionální pomoc při vypracování diplomové práce. Rovněž bych chtěl poděkovat Žilinské univerzitě za poskytnutí prostor a obráběcího stroje k provedení experimentu.

Seznam tabulek:

Tab.č.1. Seznam použitých zkratk.....	1
Tab.č.2. Výchozí materiály pro výrobu řezných keramik.....	9
Tab.č.3. Využití řezných keramik :[16]	18
Tab.č.4. Přepočet obrobené délky	31
Tab.č.5. Naměřené hodnoty při testování na 4 lištách	33
Tab.č.6. Naměřené hodnoty při 2 lištách	34
Tab.č.7. Fotografie detailu opotřebené hrany A VBD při 4 a 2 lištách	35
Tab.č.8. Fotografie detailu opotřebené hrany B VBD při 4 a 2 lištách	35
Tab.č.9. Naměřené hodnoty při 3 lištách	38
Tab.č.10. Naměřené hodnoty při 1 liště	39
Tab.č.11. Fotografie detailu opotřebené hrany A VBD při 3 a 1 lištách	40
Tab.č.12. Fotografie detailu opotřebené hrany B VBD při 3 a 1 lištách	40

Seznam obrázků:

Obr.č.1. VBD z řezné keramiky [25]	3
Obr.č.2. Keramika Al ₂ O ₃ [1].....	5
Obr.č.3. Keramika Al ₂ O ₃ + 15%ZrO ₂ [1]	5
Obr.č.4. Keramika Al ₂ O ₃ + TiC [1]	6
Obr.č.5. Keramika Si ₃ N ₄ [1]	6
Obr.č.6. Keramika typu Sialon [1]	7
Obr.č.7. Keramika Si ₃ N ₄ vyztužená SiCw[1]	7
Obr.č.8. Slinování a jeho fáze	8
Obr.č.9. Schéma pracoviště HIP [17].....	12
Obr.č.10. Závislost tvrdosti na teplotě vybraných druhů keramik [7]	13
Obr.č.11. Typické vlastnosti vybraných nástrojových materiálů [12]	14
Obr.č.12. Vyztužená keramika vlákny whiskery [26].....	15
Obr.č.13. Fyzikální a mechanické vlastnosti whiskerů a matric [15]	16
Obr.č.14. Rozsah použití řezné keramiky [16].....	19
Obr.č.15. Relativní pevnost keramické VBD v závislosti na nástrojovém úhlu špičky[19]	19

Obr.č.16. Relativní pevnost keramické VBD v závislosti na poloměru zaoblení špičky [19]	20
Obr.č.17. Relativní pevnost keramické VBD v závislosti na její tloušťce[19]	20
Obr.č.18. Úprava ostří keramického řezného nástroje[19]	21
Obr.č.19. Schéma přípravku pro čepový test [20,21]	22
Obr.č.20. Schéma přípravku pro lištový test [20,21]	23
Obr.č.21. Fotografie neupravených lišt	24
Obr.č.22. Fotografie upnutého přípravku bez lišt	25
Obr.č.23. Fotografie přípravku s třemi neupravenými lištami	25
Obr.č.24. Fotografie přípravku připraveného k úpravě lišt	26
Obr.č.25. Úprava lišt [6]	26
Obr.č.26. Fotografie přípravku s upravenými lištami	27
Obr.č.27. VBD SNGN 120716T IN23 [23]	27
Obr.č.28. VBD SNGN 120712 SC10 [24]	28
Obr.č.29. Použitý nástrojový držák [22]	28
Obr.č.30. Fotografie soustruhu TOS SN 55-7	29
Obr.č.31. Mikroskop INTRACOMICRO	30
Obr.č.32. Drsnoměr Mitutoyo Surftest – 211	30
Obr.č.33. Značení měřených hran destiček	32
Obr.č.34. Detail měření drsnoměrem Mitutoyo Surftest – 211	32
Obr.č.35. Grafy zobrazující počty dosažených rázů při 4 a 2 lištách	36
Obr.č.36. Grafy středních aritmetických úchylek profilu při 4 a 2 lištách	36
Obr.č.37. Grafy největší výšky profilu při 4 a 2 lištách	37
Obr.č.38. Grafy zobrazující počty dosažených rázů při 3 a 1 liště	41
Obr.č.39. Grafy středních aritmetických úchylek profilu při 3 a 1 liště	41
Obr.č.40. Grafy největší výšky profilu při 3 a 1 liště	42