

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže



**Vliv tepelných a mechanických rázů na stav ostří při
obrábění přerušovaným řezem**

**Influence of Thermal and Mechanical Shocks on
Edge Condition at Interrupted Machining**

Student:

Bc. Marek Zálešák

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. Marek Zálešák**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie

Téma: **Vliv tepelných a mechanických rázů na stav ostří při obrábění
přerušovaným řezem**
**Influence of Thermal and Mechanical Shocks on Edge Condition at
Interrupted Machining**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Vliv tepelných a mechanických rázů na břit 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 obrábání, 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 obrábání, 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 obrábání, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

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

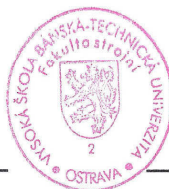
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

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 Ostravě: 21.5.2012



.....
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 jeden výtisk diplomové práce bude uložen 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: 21.5. 2012



.....
podpis studenta

Bc. Marek Zálešák
Strážovská 1311
69701 Kyjov

Poděkování

Rád bych chtěl poděkovat panu doc. Ing. Robertu Čepovi, Ph.D za odborné vedení a cenné rady při vypracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Žilinské univerzitě v Žilině za podporu a umožnění experimentu v jejich laboratořích.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Marek Zálešák. *Vliv tepelných a mechanických rázů na stav ostří při obrábění přerušovaným řezem*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže 346, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2012, 56 s.

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

V diplomové práci jsem se zabýval testováním životnosti nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu ve čtyřech variantách. Na základě testování se určí vhodnost použití řezné keramiky pro tento způsob obrábění. Úvodní část je zaměřena na vysvětlení problematiky vlivu tepelných a mechanických rázů. Následující kapitola tvoří seznámení s řeznou keramikou, rozdělení, různé druhy opotřebení a fyzikální a mechanické vlastnosti. V další části práce jsou popsány varianty a metodika testování VBD při soustružení. Dále je uveden rozbor a postupu sestavení použitého přípravku, určení řezných parametrů a zvolení destiček z řezné keramiky. Závěrečnou část práce tvoří naměřené hodnoty, jejich zpracování a vyvození závěrů.

ANNOTATION DIPLOMA THESIS

Mark Zálešák Bc. *Influence of Thermal and Mechanical Shocks on Edge Condition at Interrupted Machining*. Ostrava: Department of machining and assembly 346, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Ostrava, 2012, 56 p.

Head of diploma thesis: Assoc. Ing. Robert Čep, Ph.D

In diploma thesis I have considered testing tool life of cutting ceramics in interrupted cutting conditions in four variants. Based on testing determines the suitability of cutting ceramics for this type of machining. The introductory part is focused on explaining the impact of the problems of thermal and mechanical shock. The following chapter consists of introduction with cutting ceramics, division, and wears different kinds of physical and mechanical properties. The next section describes the methodology of testing variants and replaceable edge plates for turning. The following is an analysis and compilation process of the products used, the determination of cutting parameters and the election of cutting ceramic plates. The final part consists of measurements, processing and drawing conclusions.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	9
1 ÚVOD	10
2 VLIV TEPELNÝCH A MECHANICKÝCH RÁZŮ NA STAV OSTŘÍ.....	11
2.1 Mechanické rázy	12
2.2 Tepelné rázy	13
3 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY SE ZAMĚŘENÍM NA ŘEZNOU KERAMIKU.....	16
3.1 Řezná keramika	17
3.2 Rozdělení řezné keramiky.....	18
3.3 Fyzikální a mechanické vlastnosti řezné keramiky	19
3.3.1 Tvrdost.....	19
3.3.2 Křehkost.....	20
3.3.3 Pevnost v tlaku a ohybu	20
3.3.4 Tvárnost.....	20
3.3.5 Teplotní vlastnosti	21
4 OPOTŘEBENÍ BŘITU NÁSTROJE	22
4.1 Kritéria opotřebení	23
4.2 Jednotlivé druhy opotřebení VBD.....	24
5 EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ NÁSTROJŮ.....	27
5.1 Test VBD podélným soustružením (lišťový test)	27
5.2 Konstrukce přípravku	28
5.3 Materiál vyměnitelných lišt	30
5.4 Úprava lišt před měřením.....	30
5.5 Řezná geometrie.....	31
5.6 Volba obráběcího stroje	32
5.7 Testované materiály VBD	33
5.8 Řezné parametry	34
5.9 Zařízení pro vyhodnocení měření	35
6 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ	36
6.1 Sledování počtu rázů	36
6.2 Stanovení drsnosti povrchu.....	37
6.3 Výpočet standardní nejistoty typu A (uA)	38
6.4 Zpracování naměřených hodnot.....	38
6.4.1 Provedení se čtyřmi lištami	38
6.4.2 Provedení se třemi lištami	41

6.4.3	Provedení se dvěma lištami	43
6.4.4	Provedení s jednou lištou	46
6.5	Fotografie opotřebených jednotlivých druhů VBD	49
6.6	Porovnání a zhodnocení výsledků	53
6.6.1	Vzájemné porovnání metod čtyř a dvou lišt při stejných řezných parametrech.....	53
6.6.2	Vzájemné porovnání metod tří a jedné lišty při stejných řezných parametrech.....	54
7	ZÁVĚR	55
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	56

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK

ZNAČKA	VÝZNAM	JEDNOTKA
a_p	Hloubka řezu	[mm]
CA	Oxidická řezná keramika	[-]
CC	Povlakovaná řezná keramika	[-]
CM	Směsná keramika na bázi Al_2O_3	[-]
CN	Keramika z čistého nitridu křemíku	[-]
CSNRN	Označení druhu a tvaru držáku	[-]
D	Obráběný průměr	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[GPa]
f	Posuv nástroje	[mm]
GAČR	Grantová agentura České republiky	[-]
ISO	International Organization for Standardization	[-]
l	Obrobená délka	[mm]
n_i	Počet lišt v přípravku	[-]
n	Otáčky vřetene	[min^{-1}]
q	Počet použitelných ostří destičky	[-]
Q	Zaoblení ostří	[°]
R	Rázy	[-]
Ra	Průměrná aritmetická úchylka	[μm]
Rm	Pevnost v tahu	[MPa]
Rz	Největší výšku profilu	[μm]
ŘK	Řezná keramika	[-]
T	Trvanlivost břítu	[min]
ΔT	Teplotní gradient	[K^{-1}]
t_v	Doba vnikání ostří	[s]
VB	Opotřebením na hřbetě	[mm]
VBk	Kritické opotřebením břítu	[mm]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
v_c	Řezná rychlost	[$m \cdot min^{-1}$]
Y	Součinitel teplotní roztažnosti	[K^{-1}]
Z	Životnost	[min]
α_o	Ortogonální úhel hřbetu	[°]
γ_o	Ortogonální úhel čela	[°]
ϵ_r	Úhel špičky	[°]
ϵ_z	Úhel záběru ostří	[°]
K_r	Úhel nastavení hlavního ostří	[°]
λ_s	Úhel sklonu ostří	[°]

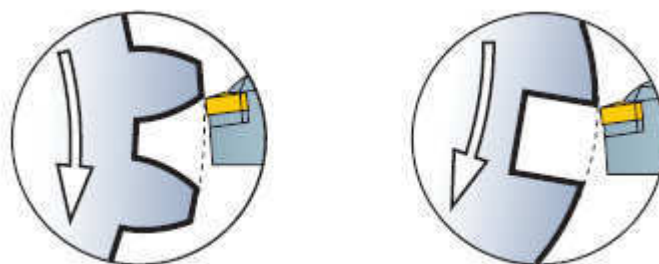
1 ÚVOD

S rychlostí jakou se v dnešní době vyvíjí průmysl a to jak strojírenský, automobilový, tak i letecký rostou požadavky na třískové obrábění. Vznikají tvarově velmi složité součásti, které se musí obrobit na nejvyšší možnou přesnost. Při obrábění tvarově členité součásti vzniká přerušovaný řez, který je velmi náročný na stroj-nástroj-obrobek-přípravek.

Pro dosažení nejvyšší možné produktivity obrábění je rozhodující volba správného řezného nástroje. Správně použité řezné nástroje mají výrazný vliv na snižování času a nákladů na výrobu součásti. Významnou roli hraje také volba materiálu a geometrie břitu.

Přerušovaný řez nastane, když nástroj není v neustálém kontaktu s obrobkem, jinak také soustružení obvodově nesouměrného (necelistvého) obrobku. Při přerušovaném řezu v podélném soustružení vzniká velké zatížení nástroje a to zejména mechanickými rázy a vibracemi při, kterých nastává předčasné ukončení trvanlivosti břitu a nutnost jeho výměny. Je nutné vhodně zvolit nástroj a většinou volba vychází z předchozího testování trvanlivosti a životnosti nástroje.

V experimentální části byly testovány vyměnitelné břitové destičky dále jen (VBD) z řezné keramiky značky Greenleaf HSN 100 a povlakované destičky značky Taegutec AB 2010 při přerušovaném řezu v podélném soustružení na přípravku. Zmíněný přípravek byl navrhnout a zkonstruován v rámci grantového projektu GAČR č.101/93/0129 v laboratořích Katedry obrábění a montáže. VBD byly testovány čtyřmi různými variantami, které se lišily počtem rázů za otáčku. Jedná se o varianty čtyř, tří, dvou a jednoho rázu za otáčku. Naměřený počet rázů do opotřebení VBD nám určí „trvanlivost a životnost“ VBD z řezné keramiky. Dále byly měřeny hodnoty drsnosti povrchu a podle naměřených hodnot zjistíme, které destičky vykazují lepší integritu obrobené plochy. Zkoušky životnosti nebo můžeme říci i řezivosti vyměnitelných břitových destiček jsou v dnešní době nezbytnou součástí pro vývoj nových nástrojů a hodnocení jejich životnosti či řezivosti.



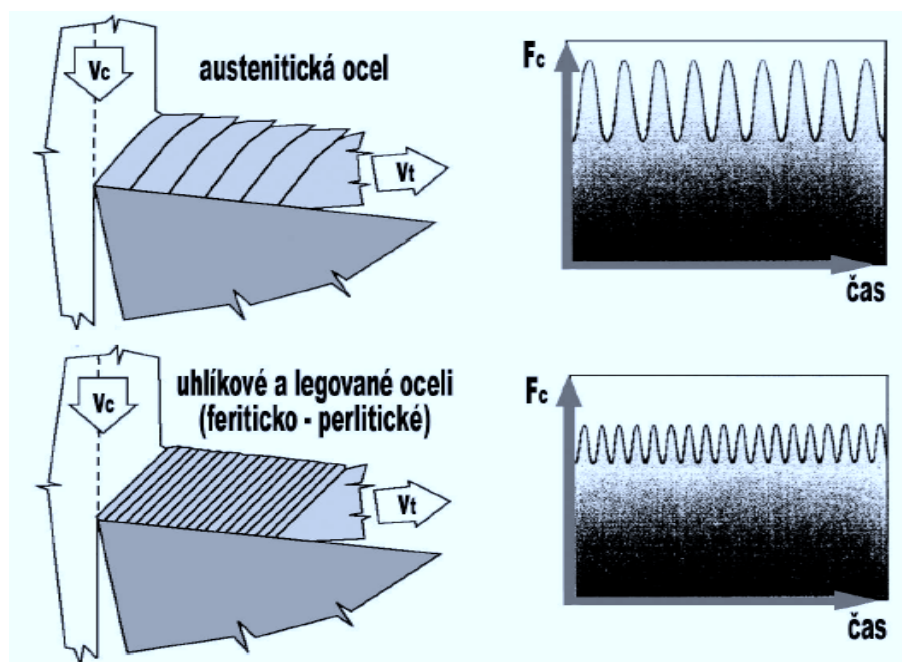
Obr. 1.1 Záběr břitu při přerušovaném řezu [2].

2 VLIV TEPELNÝCH A MECHANICKÝCH RÁZŮ NA STAV OSTŘÍ

Působením mechanického nebo teplotního rázu může dojít k poškození břitu. Schopnost řezné keramiky odolávat proti zatížení břitu vyměnitelných břitových destiček teplotními a mechanickými rázy je velmi důležitá. Keramické materiály jsou klasifikovány svou velkou tvrdostí, nízkou houževnatostí a stálou pevností v ohybu i za vysokých teplot, chemickou stálostí a odolností proti opotřebení. Odolnost materiálu vyměnitelných břitových destiček proti teplotním a mechanickým rázům je stejně důležitým ukazatelem jakosti, jako je otěruvzdornost.

Cyklické namáhání způsobuje porušení břitu lomem nebo vydrolením, tento jev můžeme pozorovat nejen při přerušovaném řezu, ale i při nepřerušovaném řezu. I za podmínek plynulého řezu dochází v důsledku periodického kolísání hlavní složky řezné síly k cyklickému zatížení břitu. V tomto případě je frekvence závislá především na charakteru vzniklé třísky, přesněji na velikosti elementu třísky. Větší amplituda hlavní složky řezné síly zvyšuje nebezpečí vzniku únavového lomu, ale za určitých podmínek roste i intenzita a mění se charakter jeho opotřebení otěrem nebo se může projevit jako mikroskopické vydrolení břitu [16].

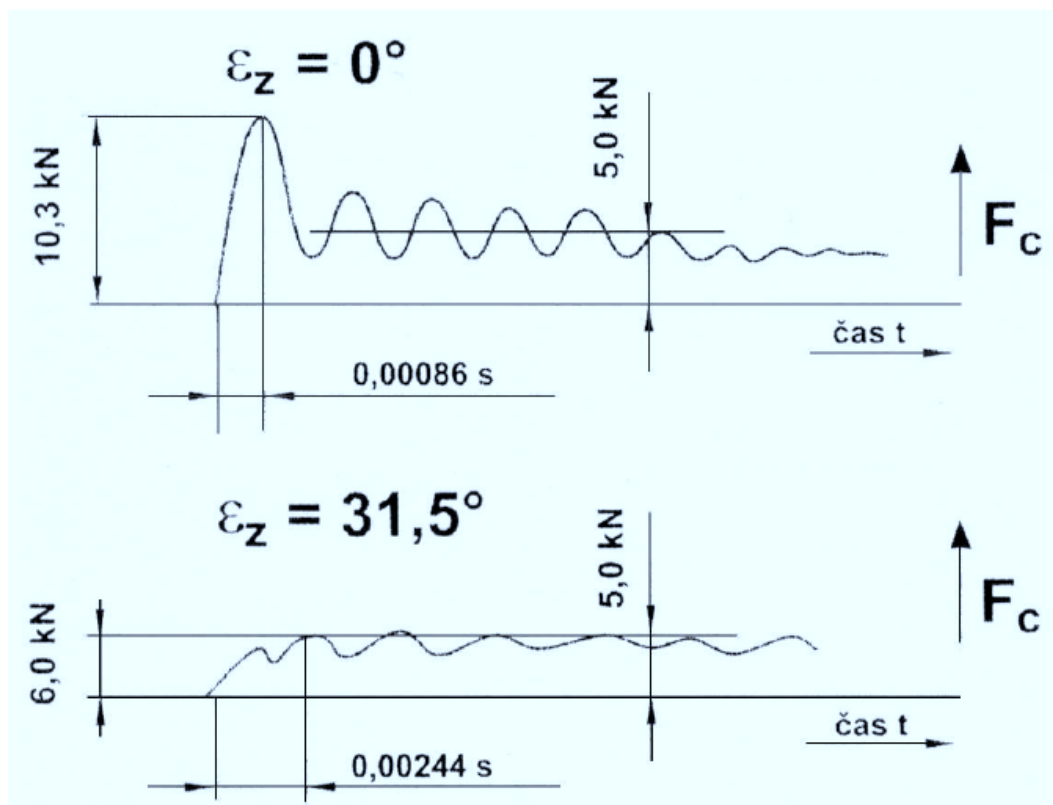
Hodnocení odolnosti proti cyklickému zatížení vhodnými technologickými zkouškami je nutným doplňkem technologických zkoušek řezivosti, které vypovídají o odolnosti vyměnitelných břitových destiček proti oděru [17].



Obr. 2.1 Amplitudy složky řezné síly [16].

2.1 Mechanické rázy

Mechanické rázy vznikají při krátkodobém nárůstu hlavní složky řezné síly, která vzniká při vniknutí břitu do obrobku. Uvedený nárůst v určitých případech dosahuje až násobku její střední hodnoty po vřezání břitu do obrobku, velikost tohoto nárůstu je závislá na době vniknutí břitu do obrobku, tj. době, za kterou se od prvního kontaktu "vřeže" břit na plný průřez třísky. Doba vnikání závisí na vzájemné poloze povrchu obrobku a čela nástroje. Jestliže dojde k prvnímu kontaktu mezi břitem v celém průřezu třísek najednou, je doba vnikání teoreticky nulová a nárůst řezné síly způsobený rázem dosáhne maxima. Uvedený případ sledujeme u přerušovaného řezu, kdy ostří vniká v plném průřezu třísky najednou. Čím pozvolnější je vřezávání břitu na plný průřez třísky, tím menší je nárůst řezné síly. Pro křehké porušení břitu je však důležité místo na čele vyměnitelných břitových destiček, ve kterém dojde k prvnímu dotyku s obrobkem [16].



Obr. 2.2 Velikost hlavní složky řezné síly v závislosti na čase a úhlu záběru [16].

V horní části obrázku jde vidět, že při úhlu záběru $\varepsilon_z = 0^\circ$ došlo ke vniknutí břitu v celém průřezu třísky naráz a v okamžiku vnikání složka F_c dosáhla více než dvojnásobku normální hodnoty. Spodní průběh poté ukazuje stav, kdy došlo k postupnému vnikání po dobu $t_v = 0,00244$ s. Z uvedených poznatků vyplývá, že mechanický ráz byl podstatně vyšší v prvním případě než ve druhém [16].

2.2 Tepelné rázy

Teplotní rázy jsou příčinou střídavého tahového a tlakového napětí v povrchových vrstvách vyměnitelných břitových destiček. Proměnlivé zatížení břitu kolísající řeznou silou se zvyšuje mechanickým rázem při vnikání břitu do obrobku a teplotním rázem při výstupu břitu z řezu. V důsledku rychle se měnící fáze řezání, při kterém dochází k ohřevu břitu a jeho následnému ochlazení při výstupu z řezu, je břit vystaven dalšímu cyklickému namáhání teplotními rázy[16].

Při vniknutí břitu do obrobku dojde k rychlému nárůstu teploty povrchových vrstev břitu. Tento nárůst teploty vyvolává tlakové napětí. V okamžiku, kdy vyjde břit ze záběru, dojde k intenzivnímu ochlazení povrchových vrstev. Protože pokles teploty vrstev vzdálených od povrchu neprobíhá tak rychle, vznikne tím v povrchové vrstvě tahové napětí, které se v určité vzdálenosti od povrchu mění v tlakové. Toto kolísání napětí může superpozicí s napětím vzniklým mechanickým rázem způsobit vznik trhlin a následného křehkého porušení břitu[16].

Složité cyklické zatížení břitu zejména při přerušovaném řezu, ale i proměnlivou řeznou silou F_c při řezu nepřerušovaném, nepochybně ovlivňuje otupení břitu v důsledku únavy břitu břitové destičky. Současně ovlivní i proces difuzního oxidačního, adhezního i abrazivního otěru. I jejich průběh je nutno posuzovat jako proces probíhající za cyklicky proměnlivých podmínek, řezné teploty a tlaků v kontaktních plochách mezi břitem a obráběným materiálem[18].

Při výstupu břitu je pro eventuální destrukci břitu rozhodující teplotní ráz. K vyšší odolnosti břitu proti teplotním rázům napomáhá vysoká pevnost v tahu, vysoká tepelná vodivost, která vede k menším teplotním gradientům, nízký modul pružnosti a nízký součinitel tepelné roztažnosti[16].

Vztah pro výpočet napětí je znám z teorie pružnosti a pevnosti [16]:

$$\sigma = \gamma \cdot E \cdot \Delta T \quad [MPa] \quad (2.1)$$

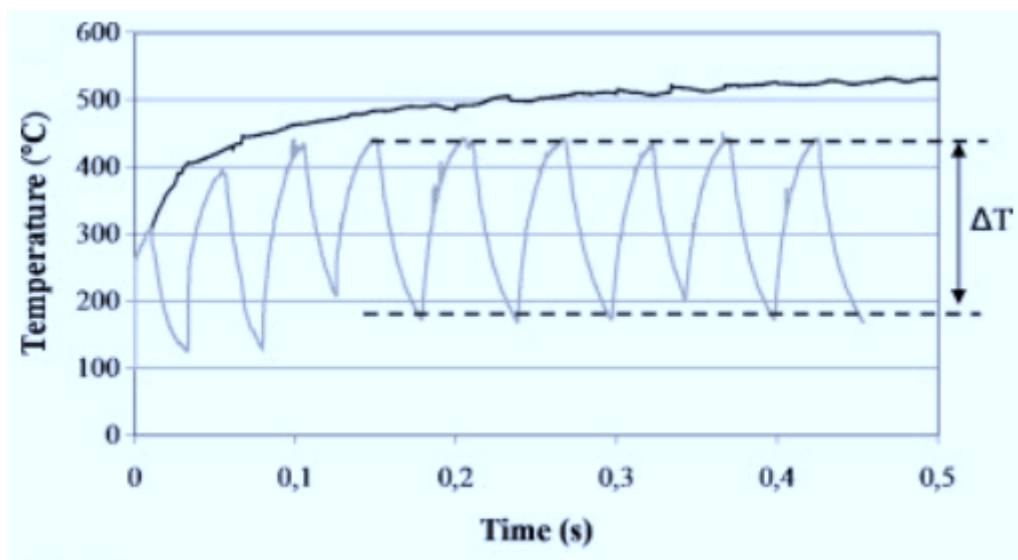
Kde: γ součinitel teplotní roztažnosti [K^{-1}]

E modul pružnosti [MPa]

ΔT teplotní gradient [K]

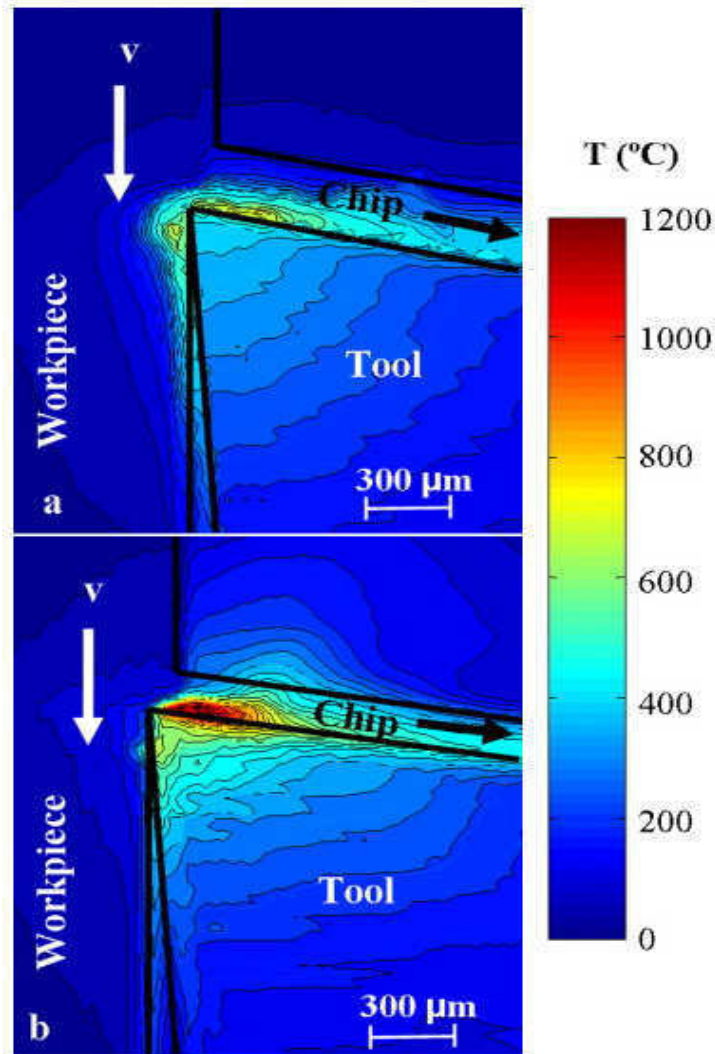
Ze vztahu (2.1) je zřejmé, že čím větší je součinitel tepelné roztažnosti, modul pružnosti E a teplotní gradient, tím větší je tepelné napětí.

Teplotní pole v dotyku tříška-plocha řezné destičky se při plynulém procesu řezání nemění, vykazuje libovolný bod tepelného pole časově nezávislou hodnotu okamžité teploty. Při přerušovaném řezání jsou jiné zákonitosti. Libovolný bod dotyku tříška-čelní plocha řezné destičky vykazuje v čase t_1 tzv. hromadný nárůst teploty, který je roven zahřívání řezného klínu. Změna okamžité teploty po ukončení řezání je způsobena ochlazováním řezné destičky v čase t_2 . Projevy zahřívání a ochlazování se periodicky opakují, ale maximální okamžitá teplota při zahřívání řezné hrany nikdy nedosahuje úrovně okamžité teploty v daném dotyku při plynulém řezání. Při plynulém řezání se ustálí okamžité teploty v daném dotyku. Maximální teploty v dotyku tříška-čelní plocha řezné destičky a opakující se ochlazování řezné destičky je současně závislá na řezné rychlosti. Nižší řezné rychlosti představují větší periodu ochlazování [20].

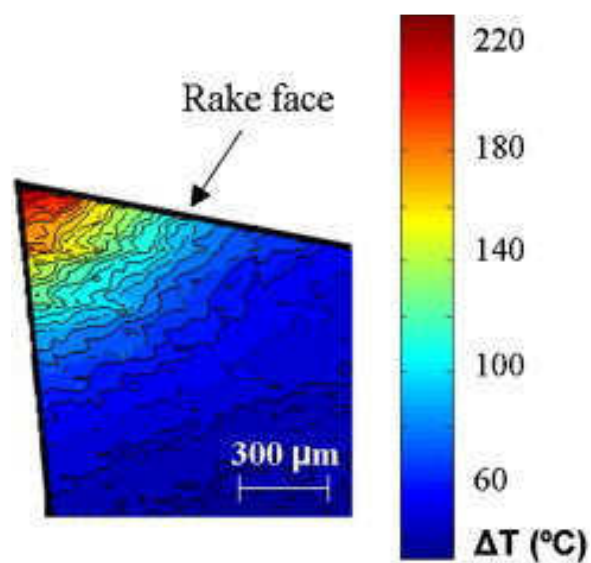


Obr. 2.3 Průběh teploty při plynulém a přerušovaném řezání [18].

Na obrázku 2.3 je srovnání experimentálně naměřené maximální teploty v závislosti na čase nástroje pro plynulý a přerušovaný řez v 50%. Maximální a průměrné řezné teploty přerušovaného řezu jsou nižší, než u plynulého řezání, kvůli vlivu chladících intervalů. Teploty přerušovaného řezu se pohybují mezi 120°C až do 420°C a teploty plynulého řezu poměrně ustáleny okolo 500°C [18].



Obr. 2.4 Teplota v místě plynulého řezu ($v=180 \text{ m min}^{-1}$) a) ocel 4140 b) Ti6Al4V slitina [18].

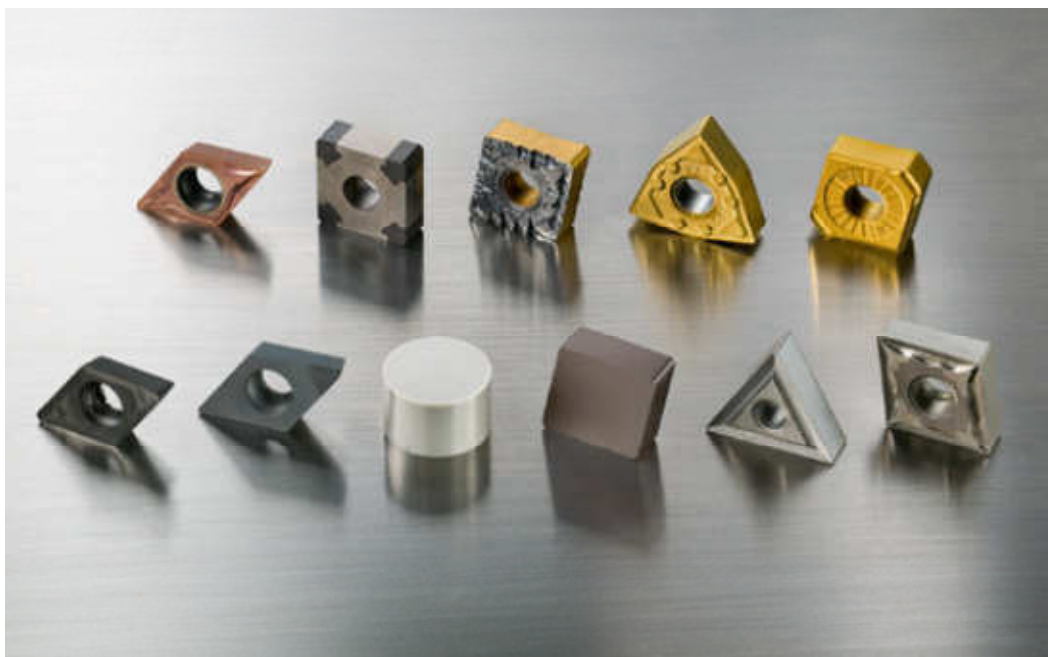


Obr. 2.5 Teplota v místě přerušovaného řezu ($v = 80 \text{ m min}^{-1}$) slitina Ti6Al4V [18].

3 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY SE ZAMĚŘENÍM NA ŘEZNOU KERAMIKU

Nalezení a přiřazení nejvhodnějšího nástrojového materiálu (třídy) a geometrie břitové destičky pro daný materiál obrobku je velmi důležité pro bezporuchovost a produktivitu obráběcího procesu. Také ostatní parametry, jako například řezné podmínky, dráha nástroje atd., jsou velmi důležité pro úspěšný výsledek.

Výběr materiálu a třídy obráběcího nástroje je důležitým faktorem, který je třeba uvážit, již při samotném návrhu obráběcí operace. Proto je důležitá elementární znalost každého nástrojového materiálu a jeho funkčních vlastností, aby bylo možné provést správnou volbu pro všechny aplikace. Mezi další věci, které je třeba uvážit při návrhu každé operace, patří materiál obrobku, typ a tvar obráběné součásti, podmínky obrábění a požadovaný stupeň kvality obrobené plochy [2].



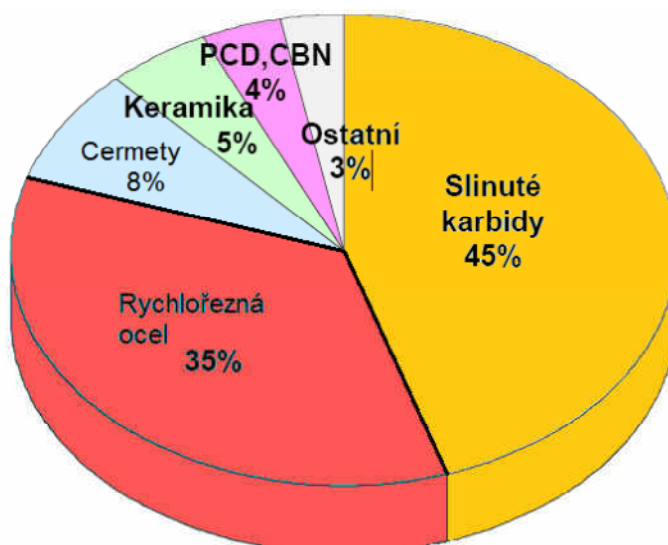
Obr. 2.1 Ukázka tvrdých řezných materiálů [2].

3.1 Řezná keramika

Keramika je polykrystalický materiál se zrny malých rozměrů často pod (1 mm), který obsahuje náhodné technologické defekty a mikrostrukturní nehomogenity a vyznačuje se zejména vysokou tvrdostí, nízkou houževnatostí a nízkou měrnou hmotností. Keramické materiály jsou anorganické nekovové materiály, které obsahují kovové a nekovové prvky vázané především iontovými nebo iontověkovalentními vazbami [3].

Moderní definicí je keramika obecně považována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Tato definice zahrnuje nejen tradiční keramiku (porcelán, cihly, cement), ale i brousicí a řezací materiály a řadu nových nazývaných keramických látek jako jsou oxidická keramika (Al_2O_3 , ZrO_2 , BeO ...), ferity, feroelektrika, nitridy (na bázi Si, B, Al), karbidy (na bázi Si, B) a další. Pro současnou keramiku je charakteristické, že je vyráběna z poměrně čistých surovin a často 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 (amorfní) fáze [5].

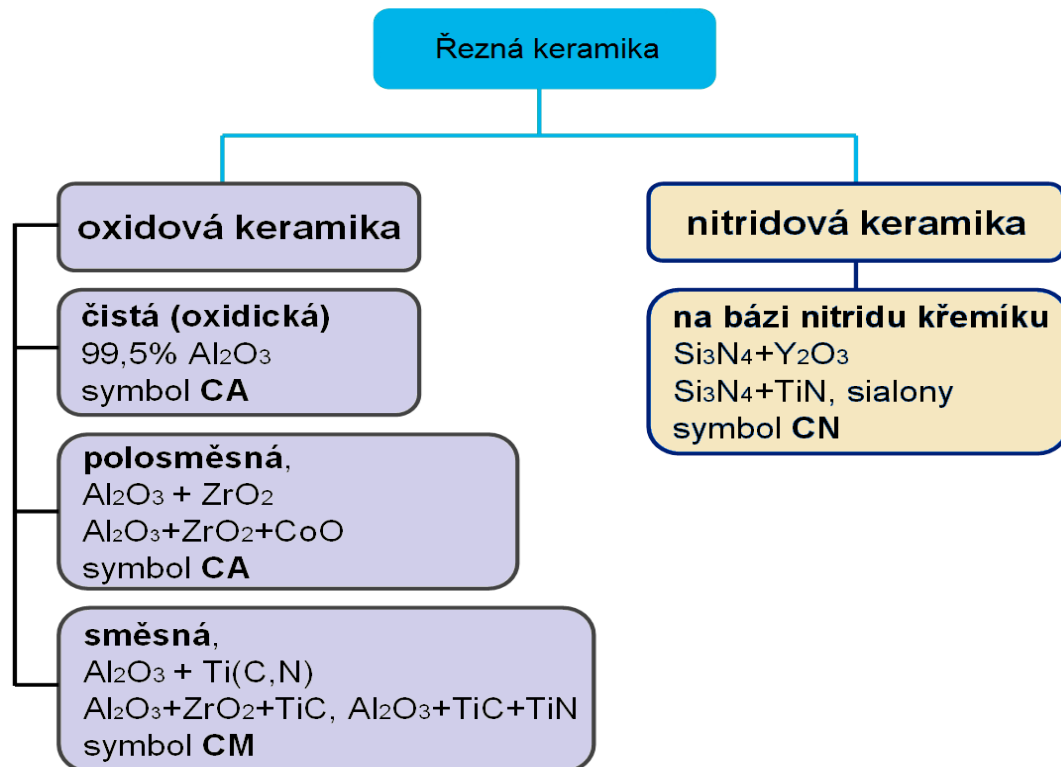
Od osmdesátých let dochází k rozvoji tzv. konstrukční keramiky založené na rozvoji takových mikrostrukturních charakteristik, které umožní dosažení speciálních mechanických a tepelně mechanických vlastností. Požadavky na nízkou měrnou hmotnost a tepelnou vodivost, odolnost proti tepelným rázům při zachování potřebné pevnosti a tvrdosti se musely řešit vhodnou kombinací použitých materiálů a makrostruktury [8].



Obr. 2.2 Světová produkce řezných materiálů [6].

3.2 Rozdělení řezné keramiky

Řeznou keramikou rozdělujeme podle chemického složení na dva základní typy. viz obr. 4. Neexistuje přesné rozdělení řezné keramiky dáno normou.



Obr. 2.3 Rozdělení řezné keramiky [6].

Keramické řezné materiály se značí symboly (CA, CC, CM, CN) podle normy ČSN ISO 513 [11].

- CA - Oxidová ŘK s obsahem primárního Al_2O_3
- CM - Směsná ŘK na bázi Al_2O_3 s neoxidovými přísadami
- CN - Neoxidová ŘK s obsahem primárního Si_3N_4
- CC - Povlakovaná ŘK

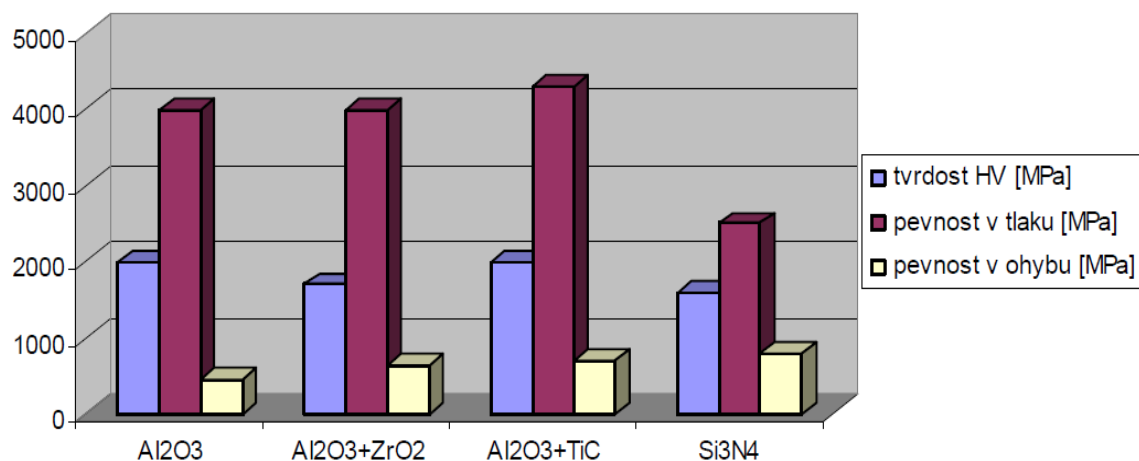
3.3 Fyzikální a mechanické vlastnosti řezné keramiky

Vlastnosti řezné keramiky přímo závisí na velikosti zrn, pórů, velikosti hranice mezi zrny, množství, tvar, počet, rozdělení, utvoření a stejnoměrnosti. Dále závisí na meziatomových vazbách, které jsou iontové, kovalentní, anebo kombinované. Při výrobě je prioritní, aby bylo dosaženo struktury, kde je malá velikost zrn, úzké spektrum rozdělení zrn a homogenita materiálu.

Keramické materiály jsou klasifikovány svou velkou tvrdostí, vysokou pevností v tlaku, vysokým modulem pružnosti, nízkou houževnatostí a malou měrnou hmotností, dále se vyznačují stálou pevností v ohybu i za vysokých teplot, chemickou stálostí a odolností proti opotřebením. Tyto faktory spolu se strukturou, teplotní vodivostí, délkovou roztažností a omezenou tvárností, určují finální mechanické vlastnosti a potenciální aplikační možnosti tohoto materiálu [12,13].

3.3.1 Tvrdost

Řezná keramika se řadí mezi nejtvrďší materiály. Vysoká tvrdost je také významným znakem pro dobrou odolnost proti opotřebením. Tuto vynikající vlastnost si řezná keramika udržuje i za vysokých teplot až 1200°C. Řezná keramika díky své tvrdosti je schopna dosahovat vysokých řezných rychlostí a to až 1600 m.min⁻¹[12].



Obr. 2.4 Porovnání tvrdosti a pevnosti v tlaku a ohybu u jednotlivých druhů keramik[14].

3.3.2 Křehkost

Pro řeznou keramiku je křehkost typickou mechanickou vlastností. Díky ní není schopná plastické deformace, proto se porušuje křehkým lomem s malou absorpcí energie. Příčiny, pro které nejsou keramické materiály schopny plastické deformace [3]:

- špatná manévrovatelnost dislokací při jejich současně dobré pohyblivosti
- nízká pohyblivost dislokací při jejich současně dobré manévrovatelnosti
- kombinace těchto dvou příčin
- nedokonale slinuti a pórovitost

3.3.3 Pevnost v tlaku a ohybu

Při použití nástroje musíme brát v úvahu, že keramika dosahuje vysokých hodnot pevnosti v tlaku a nízkých hodnot pevnosti v ohybu. Při volbě řezné geometrie nástroje dbáme na to, aby byla při obrábění keramická destička zatěžována tlakovými silami a méně ohybovými.

Pevnost keramiky je snižována zejména v důsledku působení těchto faktorů [12]:

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

3.3.4 Tvárnost

O tvárnosti krystalických látek rozhoduje schopnost skluzového pohybu dislokací při působení smykových napětí. Výjimečně přispívají k plastické dislokaci i jiné procesy, jako dvojčatění a napětím vyvolané fázové transformace. U polykrystalických materiálů pak napomáhají k plastické deformaci při vysokých teplotách pokluzu po hranicích zrn a difúzní creep. Proto tvárnost keramiky úzce závisí i na pevnosti hranic zrn [3].

3.3.5 Teplotní vlastnosti

Keramické materiály vynikají vysokou tvrdostí, která je zachována i za vysokých teplot, nejstabilnější je oxidová keramika dominující vysokou hodnotou pevnosti a chemickou stálostí na vzduchu. Uvedené vlastnosti umožňují řezným materiálům vysokou odolnost proti difúznímu opotřebení. Keramika na bázi nitridu křemíku při obrábění vysokou řeznou rychlostí může na některých obrobkách vyrobených z ocelových materiálů reagovat za vzniku silicidu železa [3].

Odolnost proti tepelným rázům lze vyjádřit vztahem:

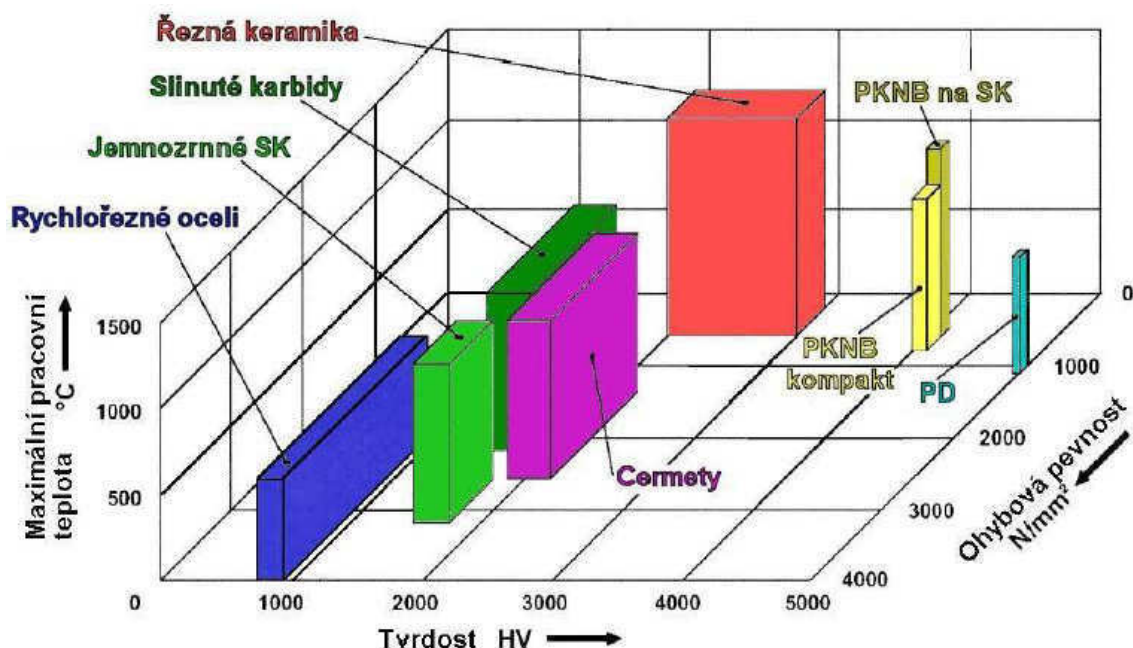
$$O_T = \frac{\lambda \cdot R_m}{\alpha \cdot E} \quad (2.1)$$

kde: λ - měrná tepelná vodivost [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

R_m - pevnost v tahu [MPa]

α - součinitel délkové roztažnosti [$10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$]

E - modul pružnosti v tahu [GPa]

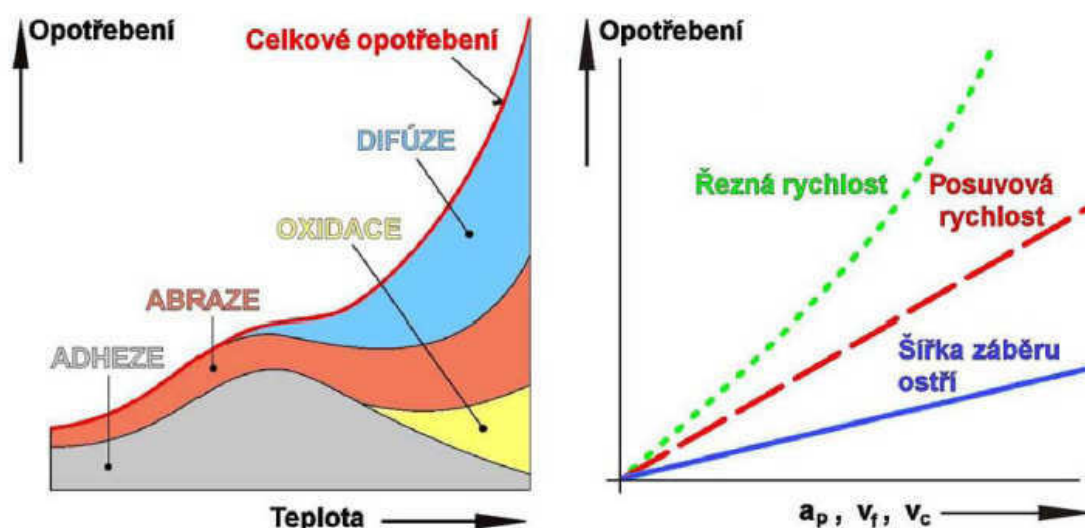


Obr. 2.5 Porovnání mechanických vlastností řezných materiálů [15].

4 OPOTŘEBENÍ BŘITU NÁSTROJE

Opotřebení břitu nástroje vzniká při složitém procesu obrábění za určitých podmínek, závisí na druhu zatížení břitu a podle toho se dělí na základní mechanizmy opotřebení. Opotřebení je probíhající děj, při kterém se postupně zvětšuje poloměr zaoblení ostří Q , zhoršuje se drsnost plochy čela a hřbetu v místech styku s třískou a plochou řezu, postupně se mění geometrie břitu [7].

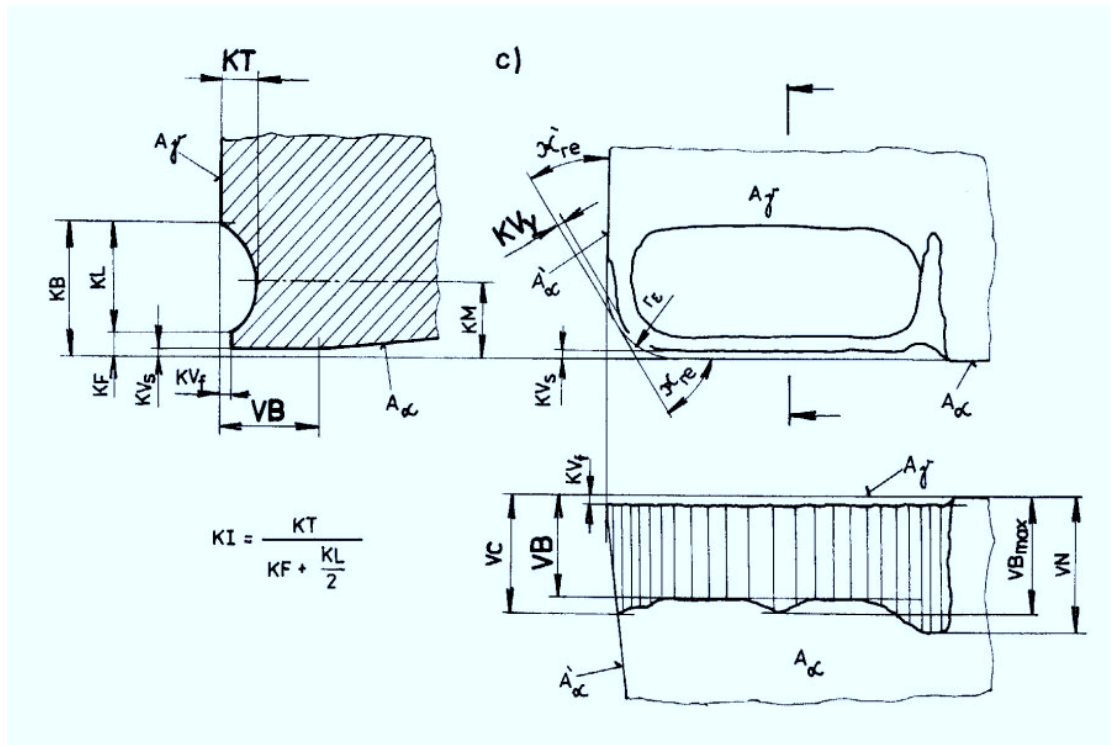
Opotřebení břitu nástroje se projevuje neschopností dále odebírat materiál v požadovaných parametrech a kvalitě povrchu v tuto dobu docílil břit své maximální trvanlivosti. Jedná se o velmi složitý děj, který závisí na mnoha faktorech fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu, druhu operace, geometrii nástroje, pracovních podmínkách, řezném prostředí atd.



Obr. 5. Vliv teploty na jednotlivé mechanismy opotřebení a vliv řezných podmínek na opotřebení [4].

4.1 Kritéria opotřebení

Opotřebení břitu obráběcího nástroje je možno definovat následujícími kritérii délková charakteristika, objem a hmotnost opotřebeného materiálu břitu.



Obr. 6. Kritéria opotřebení řezného nástroje [9].

VB – šířka opotřebení plochy na hřbetě

KB – šířka žlábků na čele

KT – hloubka žlábků na čele

KL – vzdálenost ostří k okraji žlábků

KM – vzdálenost ostří ke středu žlábků

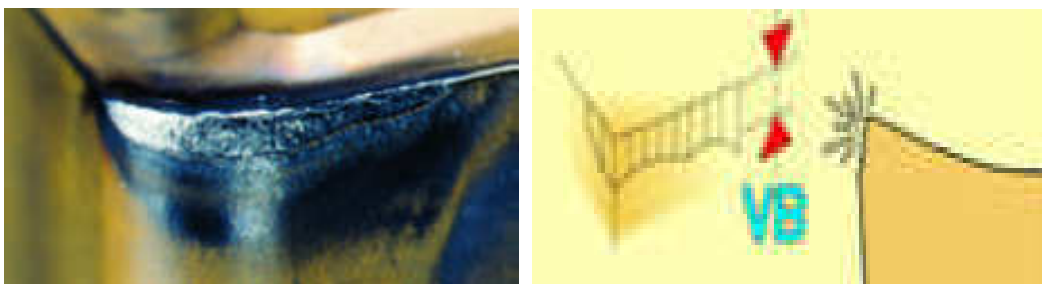
VR – radiální otupení

4.2 Jednotlivé druhy opotřebení VBD

Pro lepší pochopení výhod a nedostatků jednotlivých materiálů je velmi důležité mít určité znalosti o různých mechanismech opotřebení, kterým jsou obráběcí nástroje vystaveny [2].

Abrazivní opotřebení hřbetu

Nejčastější a preferovaný způsob opotřebení, jelikož umožňuje dosažení předvídatelné a stabilní životnosti nástroje. Opotřebení hřbetu vzniká v důsledku abraze a způsobují ho tvrdé částice v materiálu obrobku.



Obr. 7. 1. Abrazivního opotřebení VBD [2].

Chemické opotřebení ve tvaru žlábků

Opotřebení ve tvaru žlábků vzniká na čelní ploše břitové destičky. Dochází k němu v důsledku chemické reakce mezi materiálem obrobku a obráběcím nástrojem a jeho účinek se zesiluje s rostoucí řeznou rychlostí. Nadměrné opotřebení ve tvaru žlábků zeslabuje břit a může vést až k jeho lomu.



Obr. 7. 2. Chemické opotřebení ve tvaru žlábků [2].

Adhezní - tvorba nárůstku (BUE)

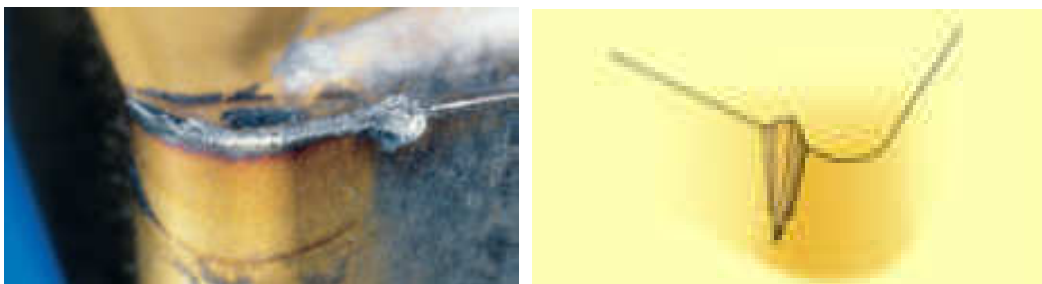
Tento typ opotřebení je způsobován tlakovým navařováním části třísky na břitovou destičku. Nejčastěji k němu dochází při obrábění materiálů snadno ulpívajících na břitu, jako jsou nízkouhlíkové oceli, korozivzdorné oceli nebo hliník. Použití nízkých řezných rychlostí prohlubuje sklon ke vzniku nárůstku na břitu.



Obr. 7. 3. Adhezní opotřebení – tvorba nárůstku [2].

Adhezní opotřebení ve tvaru vrubu

Opotřebení břitové destičky charakteristické silně lokalizovaným poškozením jak na čele, tak i na hřbetu břitové destičky na úrovni hloubky řezu. Dochází k němu v důsledku adheze (tlakové navařování třísek) a deformačního zpevnění povrchu obrobku. Velice častý typ opotřebení při obrábění korozivzdorných oceli nebo HRSA.



Obr. 7. 4. Adhezní opotřebení ve tvaru vrubu [2].

Tepelné opotřebení – plastická deformace

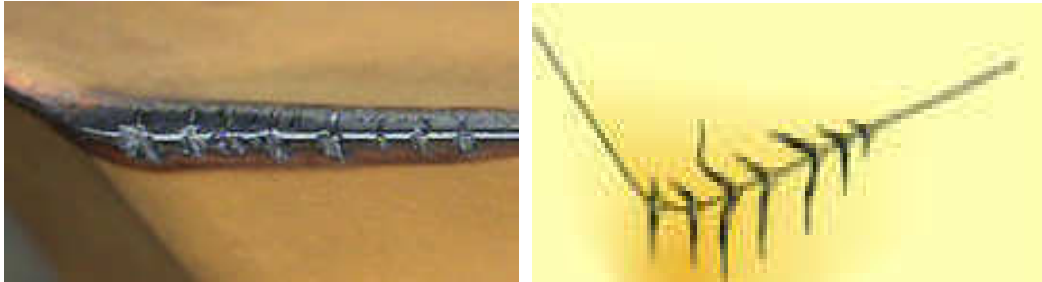
Plastická deformace se projevuje v okamžiku, kdy dochází ke změknutí materiálu nástroje. Takový případ nastane, když je řezná teplota příliš vysoká pro danou třídu. Obecně platí, že tvrdší třídy a tenčí povlaky přinášejí zvýšení odolnosti proti plastické deformaci.



Obr. 7. 5. Tepelné opotřebení – plastická deformace [2].

Tepelné trhliny

Pokud se teplota bříty velice rychle mění z vysoké na nízkou, mohou se kolmo na břit objevit vícenásobné trhliny. Tepelné trhliny souvisejí s přerušovanými řezy, běžnými při frézovacích operacích, a případné použití řezné kapaliny situaci ještě dále zhoršuje.



Obr. 7. 6. Tepelné opotřebení – trhliny [2].

Mechanické opotřebení - vylamování bříty, celkový lom

Vylamování bříty nebo celkový lom jsou důsledkem přetížení bříty mechanickým tahovým namáháním. Tato namáhání mohou vznikat z řady důvodů, jako např. zasekávání třísek, příliš vysoká hodnota posuvu nebo hloubky řezu, vměstky pisku obsažené v materiálu obrobku, tvorba nárůstku, vibrace, nadměrné opotřebení břitové destičky, atd.



Obr. 7. 7. Mechanické opotřebení – vylamování bříty, celkový lom [2].

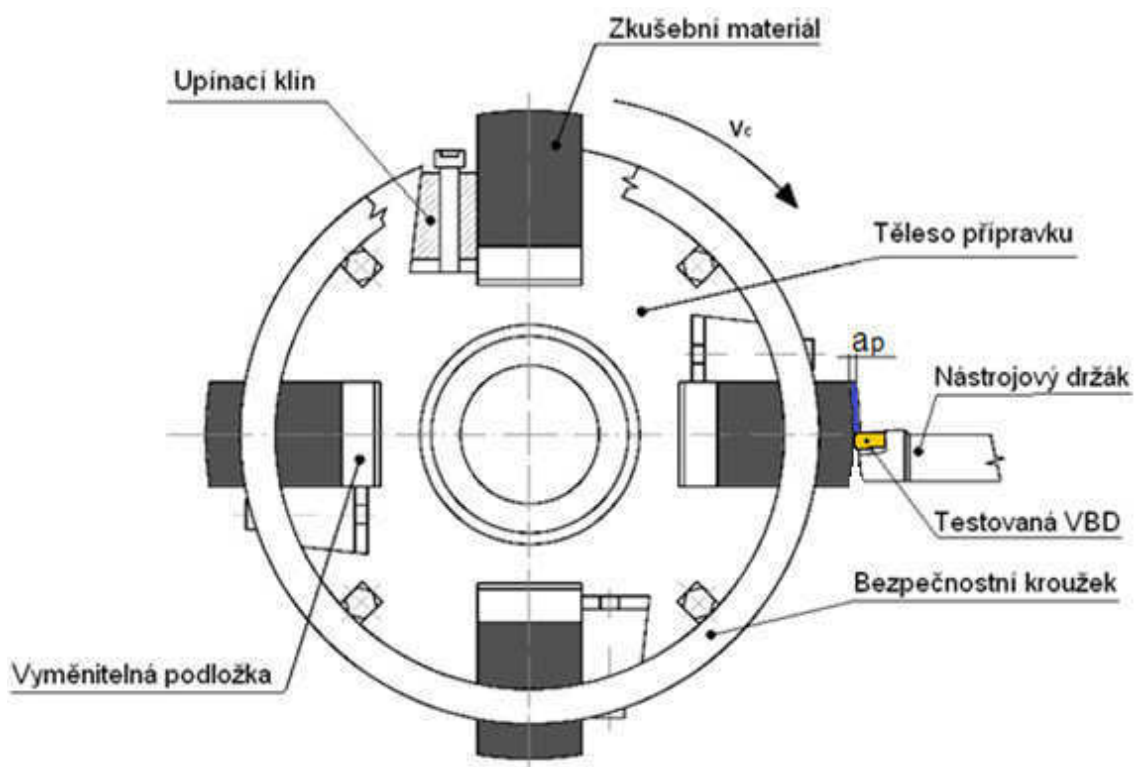
5 EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ NÁSTROJŮ

5.1 Test VBD podélným soustružením (lišťový test)

Test byl proveden na přípravku, který nám umožnil testování VBD lištovým testem, přípravek je upnut do sklíčidla soustruhu a podepřen speciálním hrotem ustaveným v pinole koníku. Hlavní část přípravku tvoří monolitní válec, ve kterém jsou vyfrézovány 4 drážky o rozměru 60 x 48 mm v délce 600 mm, do vyfrézovaných drážek se vkládají lišty a upínají se pomocí sady upínacích klínů viz. (Obr. 5.1).

Přípravek byl zkonstruován v rámci řešení grantového projektu GAČR č.101/93/0129 v laboratořích Katedry obrábění a montáže 346 [10]. Testovaný nástroj se při této zkoušce posouvá v podélném směru od hrotu koníku ke sklíčidlu obráběcího stroje.

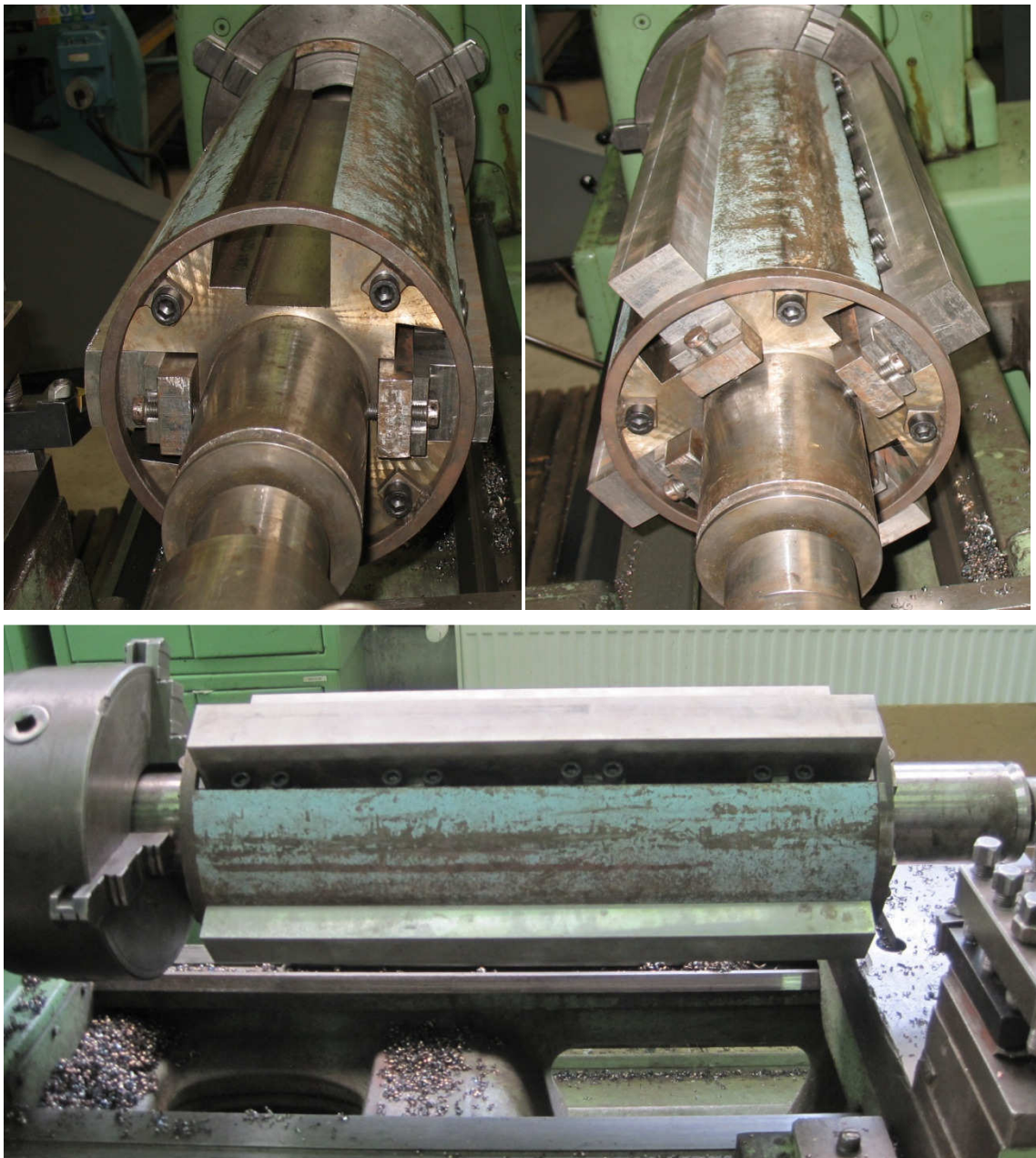
Byly provedeny čtyři varianty testování VBD tyto varianty se lišili počtem rázů za otáčku a to tak, že během jedné otáčky byl nástroj vystaven jedné, dvou, tří a čtyřem rázům při vnikání nástroje do lišt. Konstrukce přípravku je navržena tak aby bylo možno použít řeznou rychlost až do $v_c = \text{do } 900 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, což pokrývá oblast použití SK a celý rozsah řezné keramiky [21].



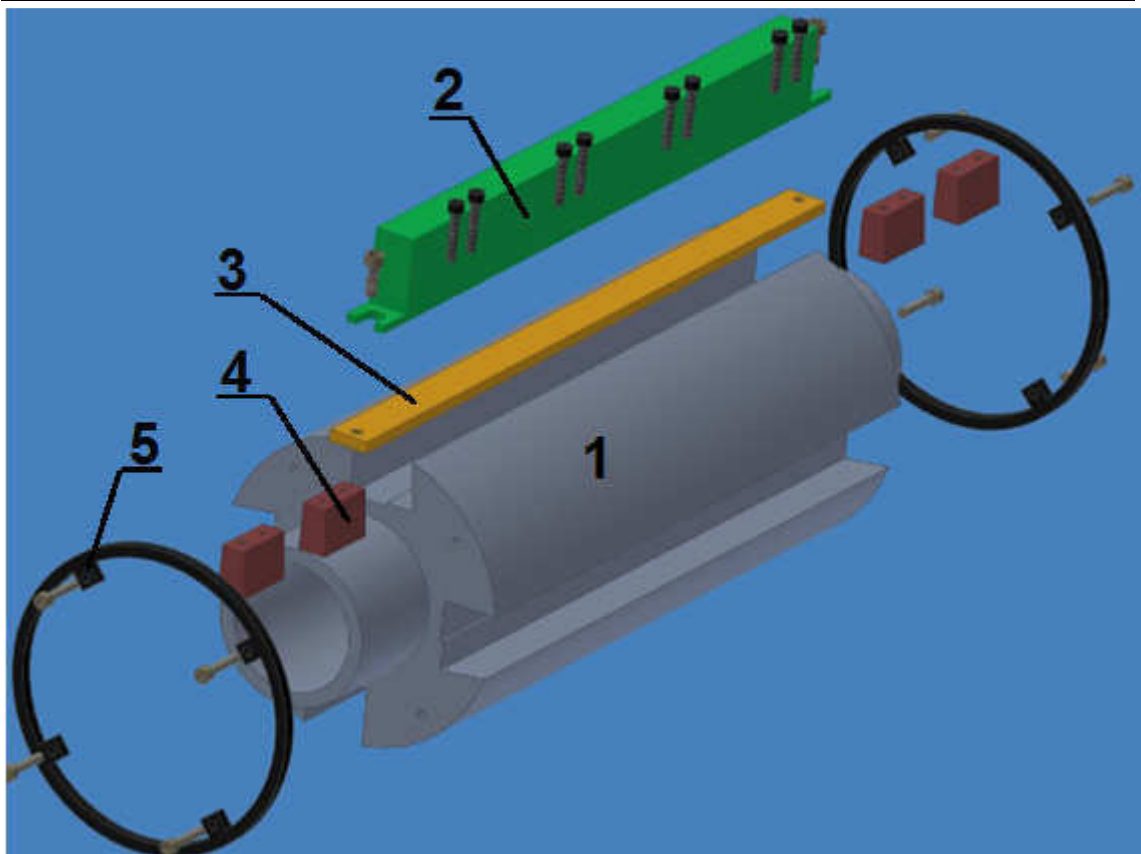
Obr. 5.1 Schéma přípravku pro podélné soustružení [19].

5.2 Konstrukce přípravku

Aby bylo testování možno provést je nutné nejprve přípravek upnout do sklíčidla za pomoci hydraulického ramene z důvodu velké hmotnosti. Poté se musí do přípravku uložit a zajistit tuhé upnutí jednotlivých lišt z obráběného materiálu. Lišty jsou upínány pomocí klínových čelistí, které jsou orientovány tak, že je do nich zachycována odstředivá síla. Předností tohoto přípravku je snadná a relativně rychlá vyměnitelnost lišt testovaného materiálu, to nám umožní používat různé druhy obráběného materiálu. Konstrukce a popis jednotlivých dílů přípravku je na (obr. 5.3) [1].



Obr. 5.2 Fotografie přípravku.



Obr. 5.3 Schéma rozloženého přípravku.

1. *Tělo přípravku* - monolitní válec ve kterém jsou vyfrézovány 4 drážky do kterých se ukládají lišty s vymežujícími podložkami. Jedna strana drážky je vyfrézována pod úhlem, aby pomocí klínu mohlo dojít k vzepření a pevnému upnutí lišty.
2. *Obráběné lišty* - jsou to vyměnitelné obrobky z určitého materiálu o daných vlastnostech.
3. *Vymežující podložky* - zajišťují konstantní zachování řezné rychlosti a umísťují se pod vyměnitelné lišty. Podložky mají na svém konci šrouby z důvodu odstranění možných vibrací, které vznikají při nedokonalém upnutí obráběných lišt.
4. *Upínací klíny* – jsou opatřeny dvěma šrouby, díky kterým se získává síla přenášená třením mezi klíny a obrobkem. Na jednu lištu se používají 4 klíny.
5. *Pojistné kroužky* – slouží k zabránění zranění pracovníka nebo k jiným materiálním škodám při nedostatečném upnutí lišt, ke kterým by mohlo dojít vlivem odstředivé síly. Kroužky jsou našroubovány z každé strany přípravku.

5.3 Materiál vyměnitelných lišt

Jako materiál obráběných lišt byla zvolena ocel 12 050 C 45. Jedná se o uhlíkovou ocel k zušlechťování a povrchovému kalení. Tato ocel spadá do referenční třídy obrábitelnosti pro ocel 14b. Pro obrábění je nejvýhodnější stav žíhaný naměkko a se zvýšeným obsahem S.

Tab. 5.1 Mechanické vlastnosti oceli 12 050

Mechanické vlastnosti	Rp 0,2 [MPa]	Rm [MPa]	A5 [%]	Tvrdość [HB]	E [GPa]
12 050	325	630 - 780	17	207 - 255	211

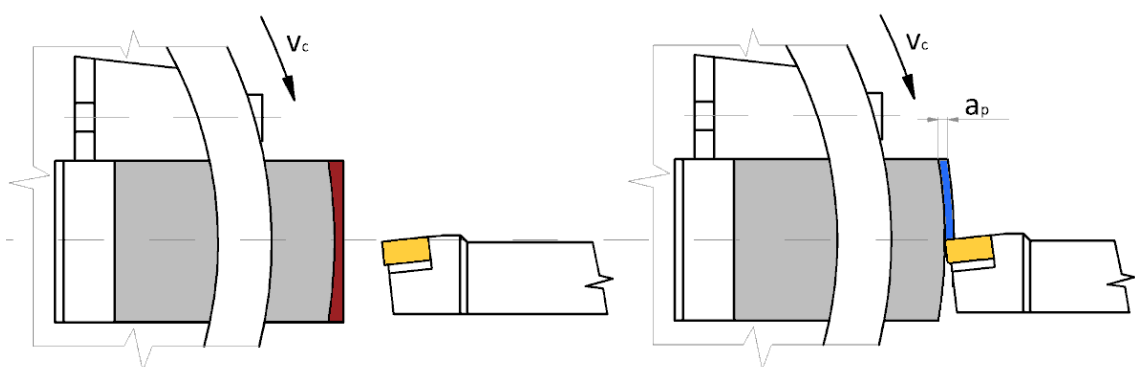
Tab. 5.2 Chemické složení oceli 12 050

C	Cu	Mn	Si	P	S	Ni	Cr
0,42-0,50	0,30	0,50-0,8	0,17-0,37	do 0,04	do 0,04	0,30	0,25

5.4 Úprava lišt před měřením

Aby se testování VBD mohlo uskutečnit je nutné odsoustružit hloubku třísky na lištách tak, aby byla zajištěna konstantní velikost třísky ap viz (obr. 5.4). Díky této úpravě zajistíme vyvážení proti rozkmitání soustavy, protože vzdálenost lišt bude od středu konstantní.

Po úpravě jsou lišty radiálně podkládány speciálními distančními podložkami, tak aby byl zajištěn relativně stejný průměr, který se mění pouze v malém rozsahu přibližně 5%.



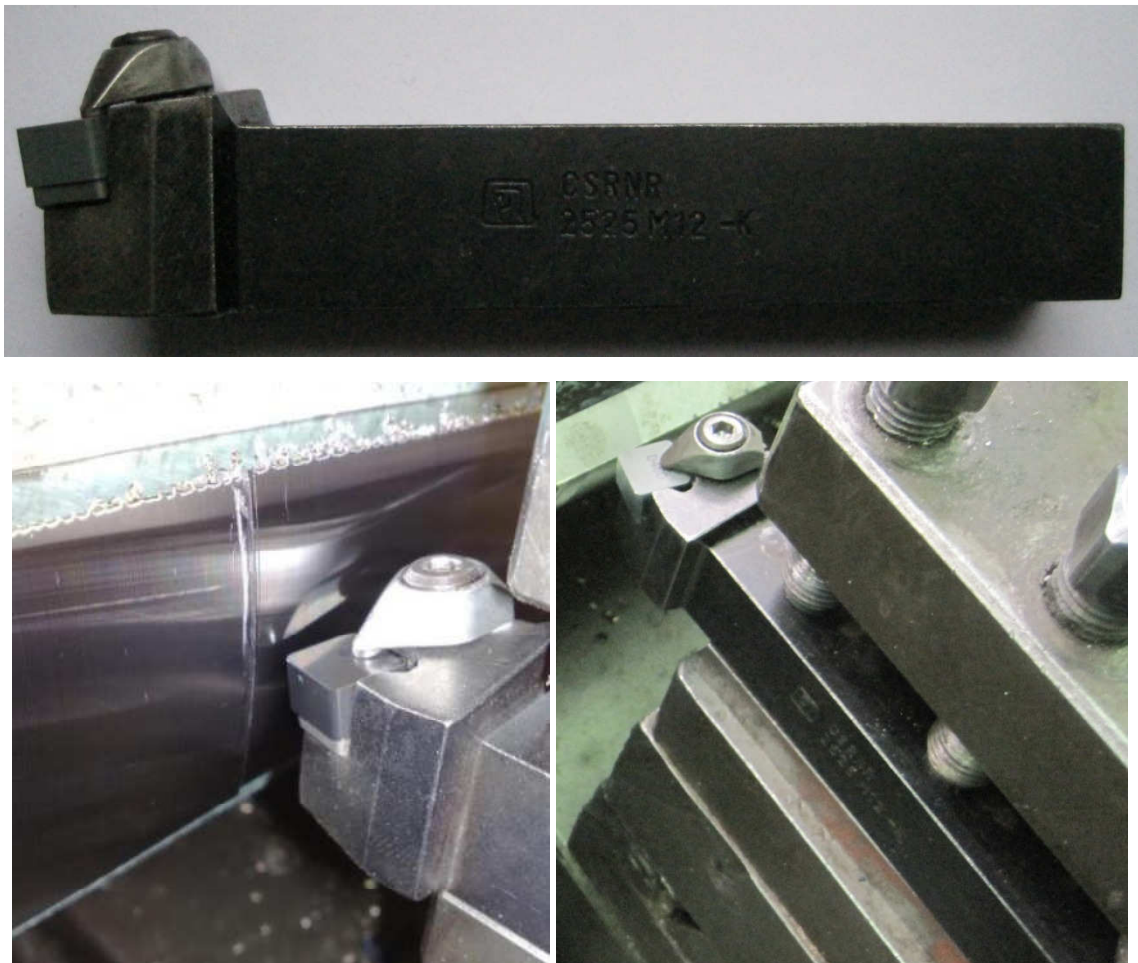
Obr. 5.4 Úprava lišt před začátkem měření [19].

5.5 Řezná geometrie

Testované druhy destiček Greenleaf HSN 100 a Taegutec AB 2010 mají normalizovaný tvar SNGN 120716 T02020. Řezná geometrie pro testování nástrojů z řezné keramiky byla zvolena s ohledem na normu ISO 3685 – Tool Life Testing of Single Point Turning Tools [22]. Testované VBD budeme uchycovat do nástrojového držáku CSRNR 25x25M12-K, který nám splnil normu ISO 3685.

Geometrie pro nástroj z řezné keramiky:

- Úhel nastavení hlavního ostří $K_r = 75^\circ$,
- Ortogonální úhel hřbetu $\alpha_o = 6^\circ$,
- Ortogonální úhel čela $\gamma_o = -6^\circ$,
- Úhel sklonu ostří $\lambda_s = -6^\circ$,
- Úhel špičky $\epsilon_r = 90^\circ$.



Obr. 5.5 Nástrojový držák CSRNR 25x25M12- K.

5.6 Volba obráběcího stroje

K měření byl využit soustruh vyroben společností TOS Trenčín označen SN 55, výkon elektromotoru dosahuje 7,5 kw a maximálně 1440 ot.min⁻¹. Soustruh je umístěn ve výukových dílnách Žilinské Univerzity, kde mě bylo umožněno uskutečnit měření.



Obr. 5.6 Soustruh výroby Tos Trenčín SN 55.

5.7 Testované materiály VBD

Materiály VBD z řezné keramiky byli zvoleny od výrobce Greenleaf HSN 100 a Taegutec AB 2010. Jedná se o destičky normalizovaného tvaru SNGN 120716 S

Greenleaf HSN 100

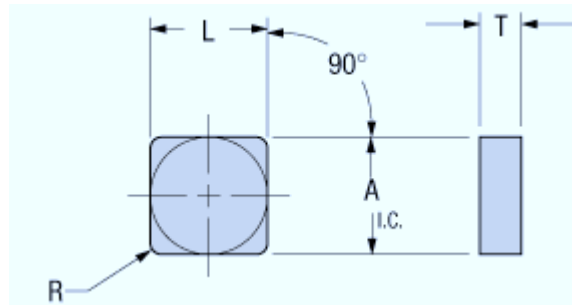
SNGN – 454 T2A

$L = 12,7 \text{ mm}$

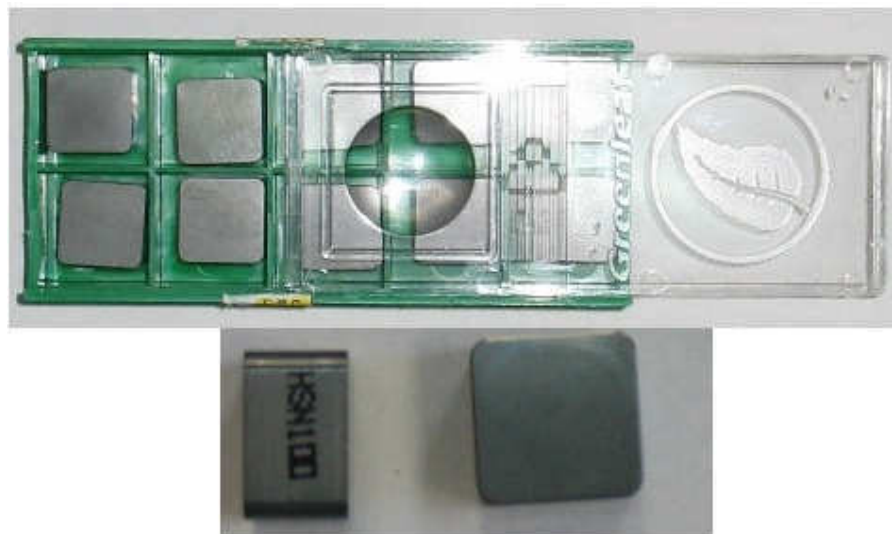
$T = 7,9 \text{ mm}$

$R = 1,59 \text{ mm}$

i.C (A) = 12,7 mm



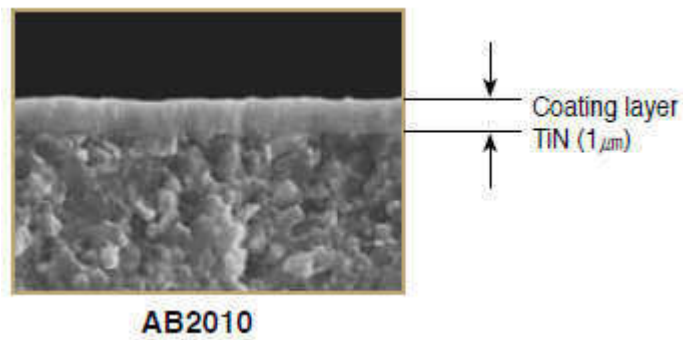
VBD HSN 100 jedná se o silikon nitridovou keramiku ($\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$) doporučená pro obrábění slitin na bázi niklu, žáruvzdorných slitin při vyšších řezných rychlostech, případně i přerušovaným řezem, vyniká svou tuhostí [23].



Obr. 5.7 VBD Greenleaf HSN 100

Taegutec AB 2010

Keramika AB2010 je povlakovaná PVD TiN jedná se o směsový keramický řezný materiál založený na oxidu hliníku s přídavkem TiCN. Tento materiál poskytuje vyšší životnost při obrábění tvrdých materiálů. Povlak zlepšuje životnost nástroje o 50% než nepovlakované třídy [24].



Obr. 5.8 Ukázka povlaku na VBD AB 2010 [24].



Obr. 5.9 VBD Taegutec AB 2010

5.8 Řezné parametry

Abychom mohli měření uskutečnit, musíme stanovit a nastavit řezné parametry na obráběcím stroji, parametry byli voleny dle doporučení výrobce VBD a dle zkušeností řešitele. Pro testování VBD na přípravku pro přerušovaný řez jsme zvolili řezné parametry uvedené v tab. 5.3.

Tab. 5.3 Použité řezné parametry

Řezné parametry		
Otáčky n [min^{-1}]	520	360
Řezná rychlost v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	425	294
Posuv f [mm]	0,20	
Hloubka řezu a_p [mm]	1	

5.9 Zařízení pro vyhodnocení měření

K vyhodnocení stavu ostří VBD byl použit mikroskop INTRACOMICRO ten je vybaven digitální kamerou, přídavným studeným světlem a polarizační jednotkou, mikroskop je vybaven výstupem do počítače. Počítač je vybaven softwarem IMPOR 5 pro online kótování rozměrů. Všechny testované VBD byli nafoceny a zpracovány pomocí tohoto mikroskopu ve zvětšení 4x.



Obr. 5.10 Mikroskop INTRACOMICRO

Měření parametrů drsnosti povrchu Ra a Rz bylo provedeno na dotykovém měřicím přístroji - drsnoměru Surftest - 211 společnosti MITUTOYO.



Obr. 5.11 Drsnoměr Mitutoyo Surftest 211

6 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

6.1 Sledování počtu rázů

Při testování VBD byl hlavním sledovaným kritériem opotřebením, lom nástroje čili jeho destrukce, tento okamžik byl zaznamenán změnou zvuku obrábění, zvýšeným jiskřením z místa řezu a zhoršením drsnosti povrchu. K urychlení vlivu mechanických a tepelných rázů, šíření mikroskopických trhlinek a následnou destrukcí bříty nástroje byla ustanovena limitní hranice 6000 rázů. Hranice odpovídá přepočtu obrobené délky a počtu lišt při daném posuvu obráběcího nástroje viz (tab. 6.1) [6]. 6000 rázů je limitní hranice, a pokud VBD tuto hodnotu vydrží, bude prováděný experiment ukončen a destička bude označena za vyhovující. Limitní hranice byla určena také z důvodu ekonomického charakteru a vede ke snížení nároku na čas a množství obráběného materiálu. Měření se opakuje 10x pokaždé pro různý počet lišt a většinou byla destička nasazena maximálně dvakrát (pokud to destrukce prvního bříty dovolila).

Tab. 6.1 Přepočet počtu lišt, posuvu a obrobené délky pro hraniční počet rázů

Počet lišt [-]	Posuv f [mm]	Obrobená délka l [mm]	Počet rázů R [-]
4	0,20	300	6000
3	0,20	400	6000
2	0,20	600	6000
1	0,20	1200	6000

Počet rázu byl vypočten podle vzorce:

$$R = \frac{n_1 \cdot l}{f} \quad (6.1)$$

R – počet rázů [-]

n_1 – počet lišt v přípravku [-]

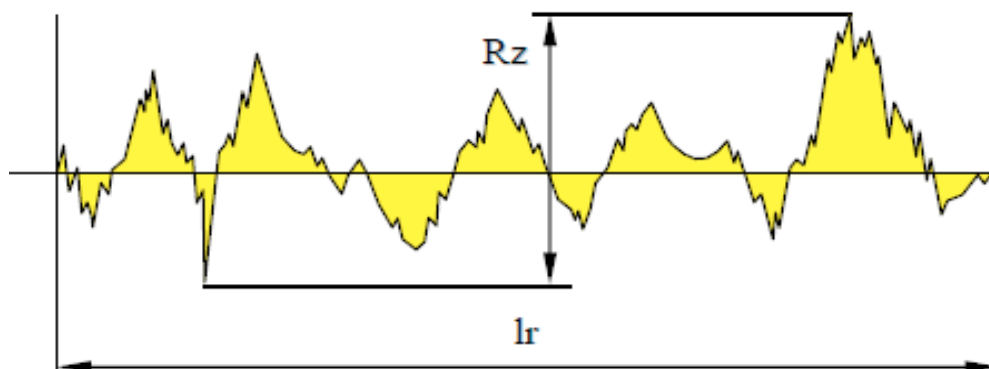
f – posuv nástroje [mm]

l – obrobená délka [mm]

6.2 Stanovení drsnosti povrchu

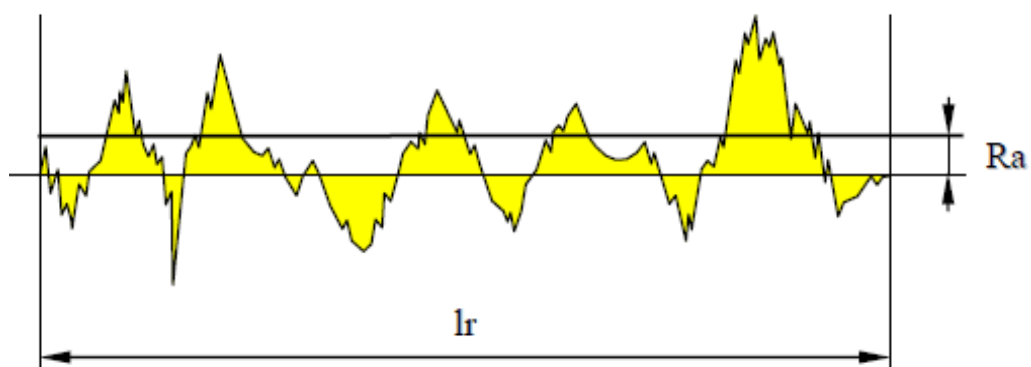
Po každém provedeném měření byly stanoveny parametry drsnosti povrchu za pomoci drsnoměru Mitutoyo Surftest 211 a zapsány do tabulek. Podle naměřených hodnot zjistíme, jak se mění drsnost povrchu při obrábění různého počtu lišt při různých řezných podmínkách.

Rz - představuje největší výšku profilu v rozsahu základní délky – Znamená součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_v nejnižší prohlubně profilu v rozsahu základní délky [25].



Obr. 6.1 Největší výška profilu Rz [25].

Ra - průměrná aritmetická úchylka - Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu Ra je nejužívanějším parametrem hodnocení struktury povrchu. Představuje průměrnou hodnotu drsnosti na základní délce [25].



Obr. 6.2 Průměrná aritmetická úchylka Ra [25].

6.3 Výpočet standardní nejistoty typu A (u_A)

Pro měřenou plochu drsnosti povrchu a pro naměřenou obrobenou délku a vypočtené rázy byla stanovena standardní nejistota typu A (u_A). Standardní nejistota typu A (u_A) se zjistí výpočtem směrodatné odchytky $s(\bar{x})$ [26].

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (6.2)$$

u_A - standardní nejistota typu A

$s(\bar{x})$ - směrodatná odchytky

\bar{x} - střední hodnota

x_i - naměřená hodnota

n - rozsah výběru

6.4 Zpracování naměřených hodnot

Hodnoty uvedené v následujících tabulkách jsou hodnoty, které byly získány při experimentálním měření na přípravku přerušovaného řezu. Jednotlivé destičky byly při měření označeny čísly, vždy byly měřeny dvě hrany jedné VBD a ty byly označeny jednou a dvěma tečkami. Použité VBD z řezné keramiky značky Taegutec AB 2010 a Greenleaf HSN 100 jsou v tabulkách a grafech barevně odlišeny pro lepší přehlednost. Uvedený počet rázů v tabulkách je již přepočítán z obrobené délky.

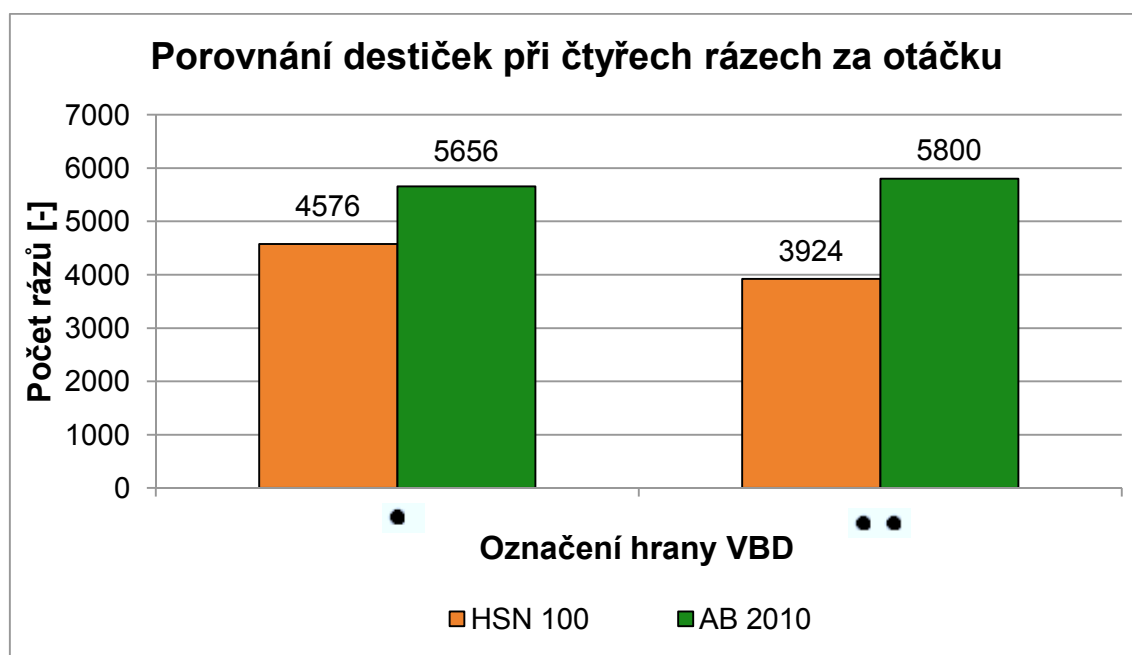
6.4.1 Provedení se čtyřmi lištami

Tab. 6.2 Naměřené hodnoty pro 4 lišty obráběné destičkami Greenleaf HSN 100.

Greenleaf HSN 100								
$n = 520 [min^{-1}]$, $v_c = 425 [m \cdot min^{-1}]$, $a_p = 1 [mm]$, $f = 0,2 [mm]$								
4 lišty	•				• •			
č. měření	$l [mm]$	$Ra [\mu m]$	$Rz [\mu m]$	$R [-]$	$l [mm]$	$Ra [\mu m]$	$Rz [\mu m]$	$R [-]$
1	222	1,26	6,1	4440	189	1,18	5,5	3780
2	234	1,24	5,9	4680	179	1,22	5,8	3580
3	220	1,34	5,7	4400	205	1,18	6	4100
4	220	1,28	5,8	4400	212	1,28	5,9	4240
5	248	1,24	5,9	4960	196	1,26	5,6	3920
průměr	228,8	1,27	5,88	4576	196,2	1,22	5,76	3924
u_A	5,4626	0,0186	0,0663	110	5,8086	0,0204	0,0928	117

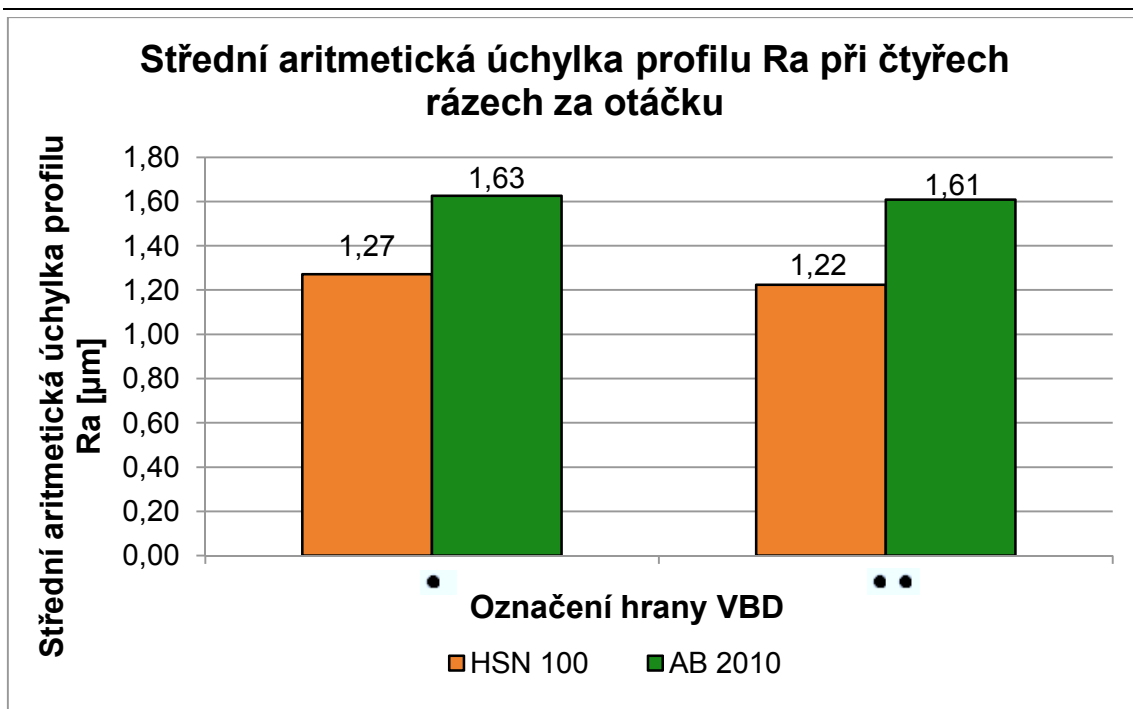
Tab. 6.3 Naměřené hodnoty pro 4 lišty obráběné destičkami Taegutec AB 2010.

Taegutec AB 2010								
$n = 520 [min^{-1}]$, $v_c = 425 [m.min^{-1}]$, $a_p = 1 [mm]$, $f = 0,2 [mm]$								
4 lišty	•				••			
Č. měření	$l [mm]$	$Ra [\mu m]$	$Rz [\mu m]$	$R [-]$	$l [mm]$	$Ra [\mu m]$	$Rz [\mu m]$	$R [-]$
1	294	1,6	6,6	5880	300	1,61	5,8	6000
2	288	1,58	6,1	5760	298	1,58	6,1	5960
3	292	1,62	6,2	5840	276	1,65	6,4	5520
4	264	1,68	6,4	5280	285	1,58	6,6	5700
5	276	1,65	5,9	5520	291	1,62	6,4	5820
průměr	282,8	1,63	6,24	5656	290	1,61	6,26	5800
u_A	5,6426	0,0178	0,1208	113	4,3932	0,0132	0,1400	88



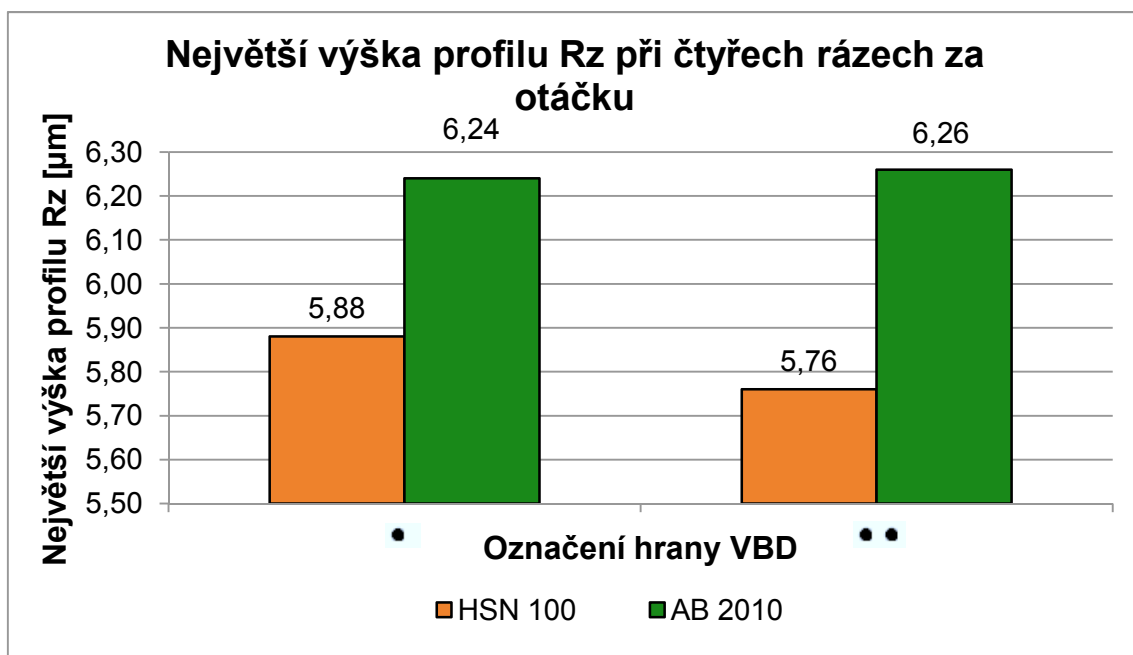
Obr. 6.3 Vzájemné porovnání HSN 100 a AB 2010 při čtyřech rázech za ot.

Z grafu vyplývá, že vyměnitelná řezná destička AB 2010 z povlakované keramiky vykazuje lepší životnost a vydrží větší počet rázů při zatížení čtyřmi rázy za otáčku. Řezná keramika AB 2010 vydržela na hraně jedna • $R = 5656 \pm 113$ rázů a hraně druhé •• $R = 5800 \pm 88$ rázů, keramika HSN 100 • $R = 4576 \pm 110$ rázů, •• $R = 3924 \pm 117$ rázů.



Obr. 6. 4. Porovnání střední aritmetické úchylky profilu Ra.

Na grafu 6. 4. vidíme, že povrch obrobený řeznou keramikou HSN 100 vykazuje lepší integritu u obou hran • Ra $1,27 \pm 0,0186 \mu\text{m}$, •• Ra $1,22 \pm 0,0204 \mu\text{m}$. Povrch obrobený keramikou AB 2010 vykazuje značně horší integritu • Ra $1,63 \pm 0,0178 \mu\text{m}$, •• Ra $1,61 \pm 0,0132 \mu\text{m}$. Na obrázku 6. 5. vidíme porovnání největší výšky profilu obrobené plochy a je zřejmé, že povrch obrobený keramikou HSN 100 vykazuje menší hodnoty • Rz $5,88 \pm 0,0663 \mu\text{m}$, •• Rz $5,76 \pm 0,0928 \mu\text{m}$. AB 2010 • Rz $6,24 \pm 0,1208 \mu\text{m}$, •• Rz $6,26 \pm 0,1400 \mu\text{m}$.



Obr. 6. 5. Porovnání největší výšky profilu Rz.

6.4.2 Provedení se třemi lištami

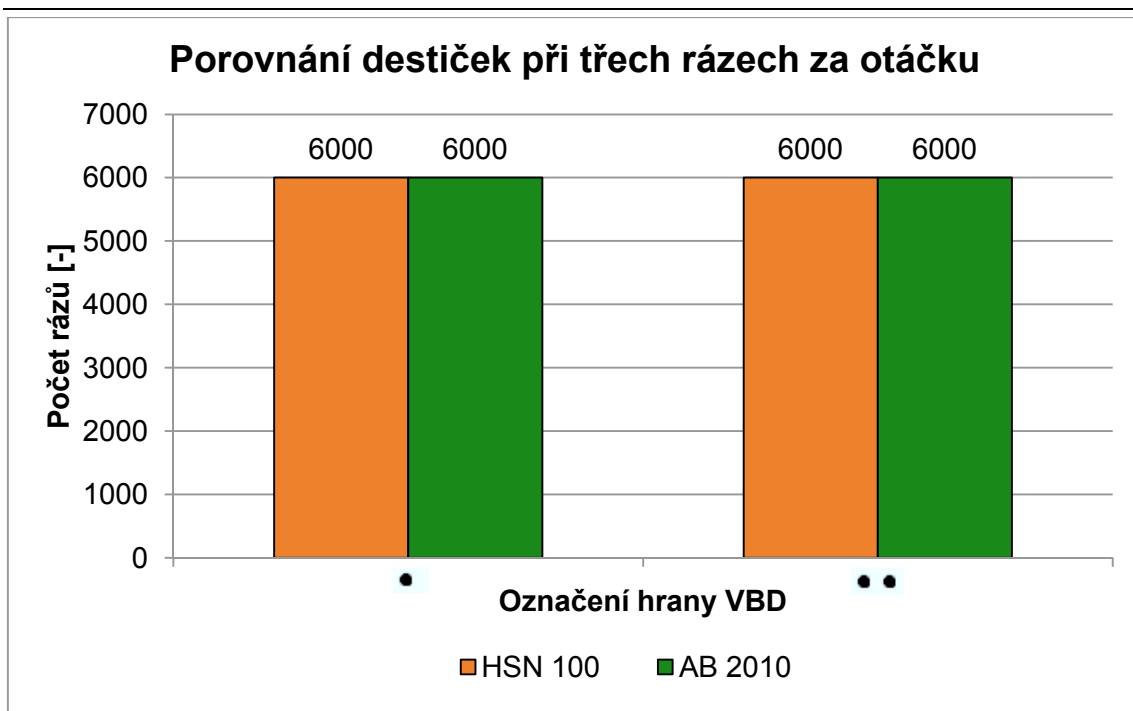
U této metody museli být upraveny řezné parametry z důvodu nevyváženosti přípravku a velkého zatížení na stroj. Při zkoušce zachovat řezné parametry stejné jako u čtyř a dvou lišt došlo k velkému chvění a rozkmitání obráběcího stroje. Z bezpečnostních důvodů a rizika poškození obráběcího stroje bylo nutné snížit otáčky z $n = 520 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ na $n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}$.

Tab. 6.4 Naměřené hodnoty pro 3 lišty obráběné destičkami Greenleaf HSN 100.

Greenleaf HSN 100								
$n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 294 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}, a_p = 1 \text{ [mm]}, f = 0,2 \text{ [mm]}$								
3 lišty	•				••			
č. měření	$l \text{ [mm]}$	$R_a \text{ [}\mu\text{m]}$	$R_z \text{ [}\mu\text{m]}$	$R \text{ [-]}$	$l \text{ [mm]}$	$R_a \text{ [}\mu\text{m]}$	$R_z \text{ [}\mu\text{m]}$	$R \text{ [-]}$
1	400	1,29	6,2	6000	400	1,36	6,4	6000
2	400	1,37	6,8	6000	400	1,35	6,4	6000
3	400	1,34	6,4	6000	400	1,29	6,1	6000
4	400	1,36	6,3	6000	400	1,31	6,3	6000
5	400	1,42	6,9	6000	400	1,34	6,5	6000
průměr	400	1,36	6,52	6000	400	1,33	6,34	6000
u_A	0	0,02112	0,13928	0	0	0,01304	0,06782	0

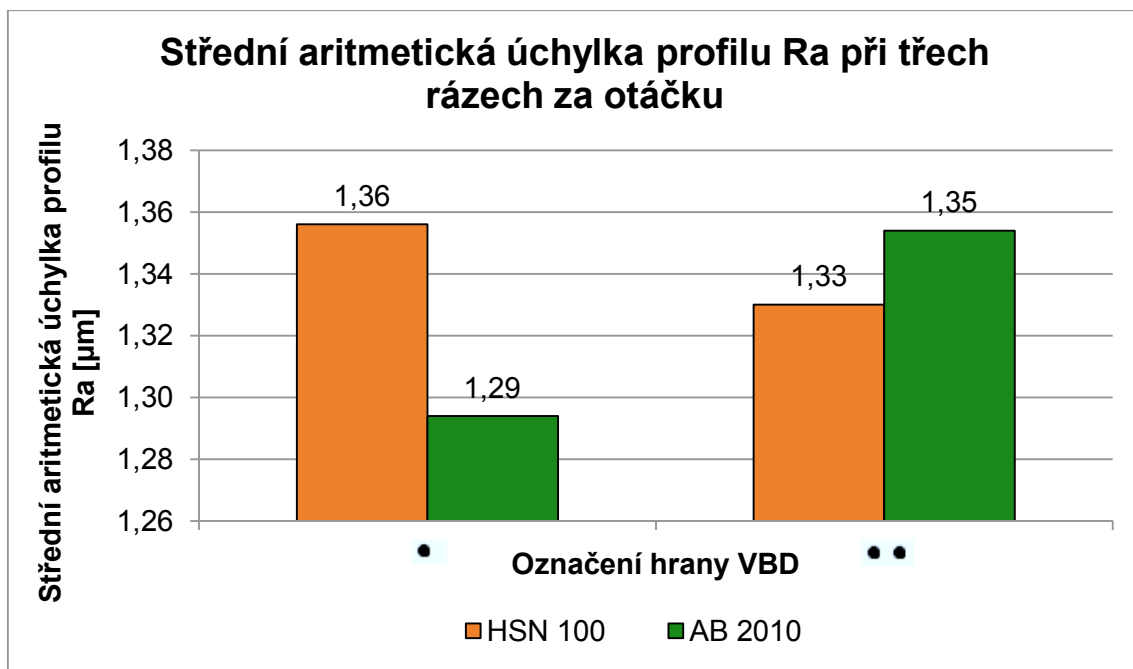
Tab. 6.5 Naměřené hodnoty pro 3 lišty obráběné destičkami Taegutec AB 2010.

Taegutec AB 2010								
$n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 294 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}, a_p = 1 \text{ [mm]}, f = 0,2 \text{ [mm]}$								
3 lišty	•				••			
č. měření	$l \text{ [mm]}$	$R_a \text{ [}\mu\text{m]}$	$R_z \text{ [}\mu\text{m]}$	$R \text{ [-]}$	$l \text{ [mm]}$	$R_a \text{ [}\mu\text{m]}$	$R_z \text{ [}\mu\text{m]}$	$R \text{ [-]}$
1	400	1,34	6,4	6000	400	1,4	6,6	6000
2	400	1,26	6,2	6000	400	1,28	6,2	6000
3	400	1,28	6,5	6000	400	1,39	6,3	6000
4	400	1,29	6,1	6000	400	1,36	6,4	6000
5	400	1,3	6,1	6000	400	1,34	6,5	6000
průměr	400	1,29	6,26	6000	400	1,35	6,4	6000
u_A	0	0,0133	0,0812	0	0	0,0214	0,0707	0



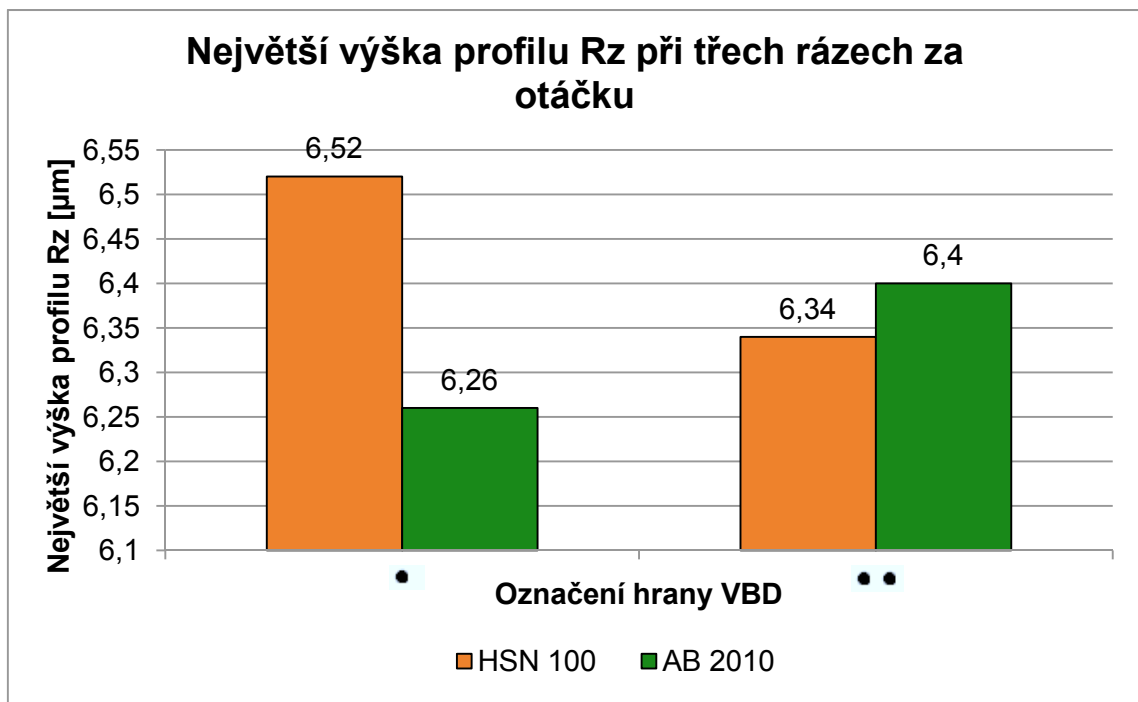
Obr. 6. 6. Porovnání VBD HSN 100 a AB 2010 při třech rázech za ot.

Z grafu 6. 6. jde vidět, že obě řezné keramiky vydrželi limitní počet rázů, to znamená, že má vysokou odolnost a schopnost vykonávat přerušovaný řez za použitých řezných podmínek.



Obr. 6. 7. Porovnání střední aritmetické úchylny profilu Ra při třech rázech za ot.

Z grafu vidíme, že drsnost povrchu obrobeneho oběma řeznými keramikami se pohybuje mezi Ra (1,29 až 1,36) µm. Největší výška profilu Rz se pohybuje od Rz (6,26 do 6,52) µm.



Obr. 6. 8. Porovnání největší výšky profilu Rz při třech rázech za ot.

6.4.3 Provedení se dvěma lištami

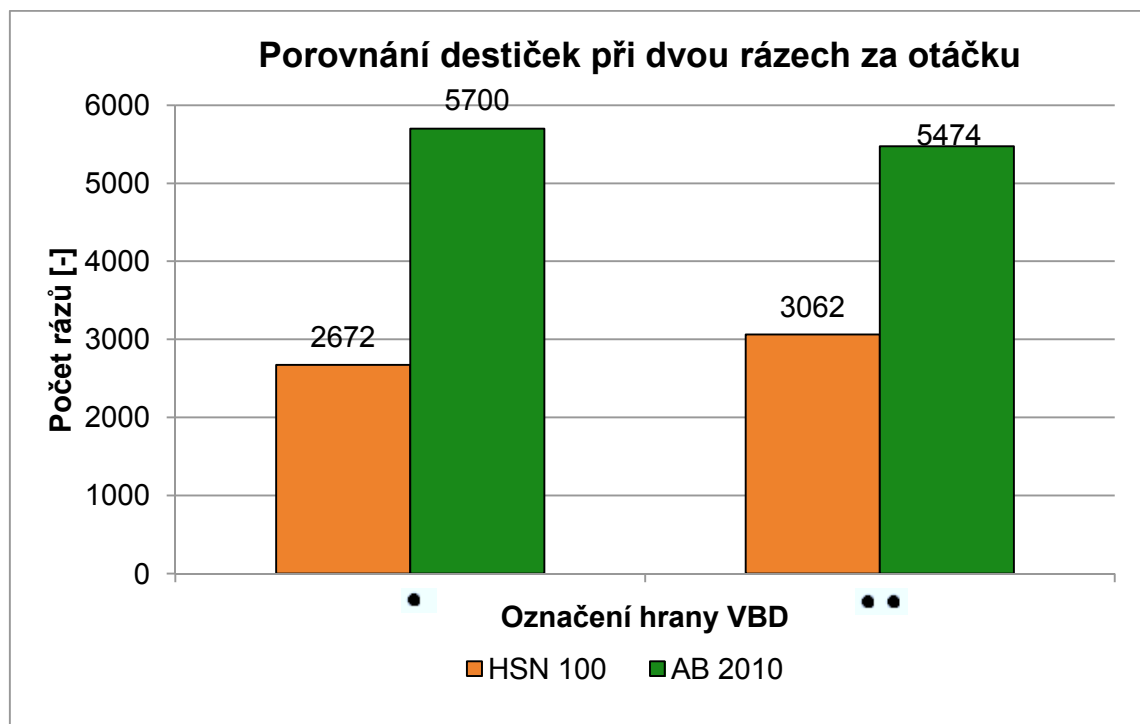
V provedení se dvěma lištami je přípravek rovnoměrně vyvážen, tedy nehrozí zvýšení chvění a vibrací a mohli být použity vyšší otáčky čili $n = 520$ [min⁻¹], $v_c = 425$ [m.min⁻¹].

Tab. 6.6 Naměřené hodnoty pro 2 lišty obráběné destičkami Greenleaf HSN 100.

Greenleaf HSN 100								
$n = 520$ [min ⁻¹], $v_c = 425$ [m.min ⁻¹], $a_p = 1$ [mm], $f = 0,2$ [mm]								
2 lišty	•				••			
č. měření	l [mm]	R_a [μm]	R_z [μm]	R [-]	l [mm]	R_a [μm]	R_z [μm]	R [-]
1	198	1,24	6,2	1980	380	1,28	6,4	3800
2	218	1,28	6,4	2180	276	1,29	6,6	2760
3	298	1,3	6,3	2980	321	1,24	6,2	3210
4	354	1,26	6,2	3540	265	1,26	6,4	2650
5	268	1,27	6,1	2680	289	1,25	6,3	2890
průměr	267,2	1,27	6,24	2672	306,2	1,26	6,38	3062
u_A	28,0114	0,0100	0,0510	281	20,7012	0,0093	0,0663	208

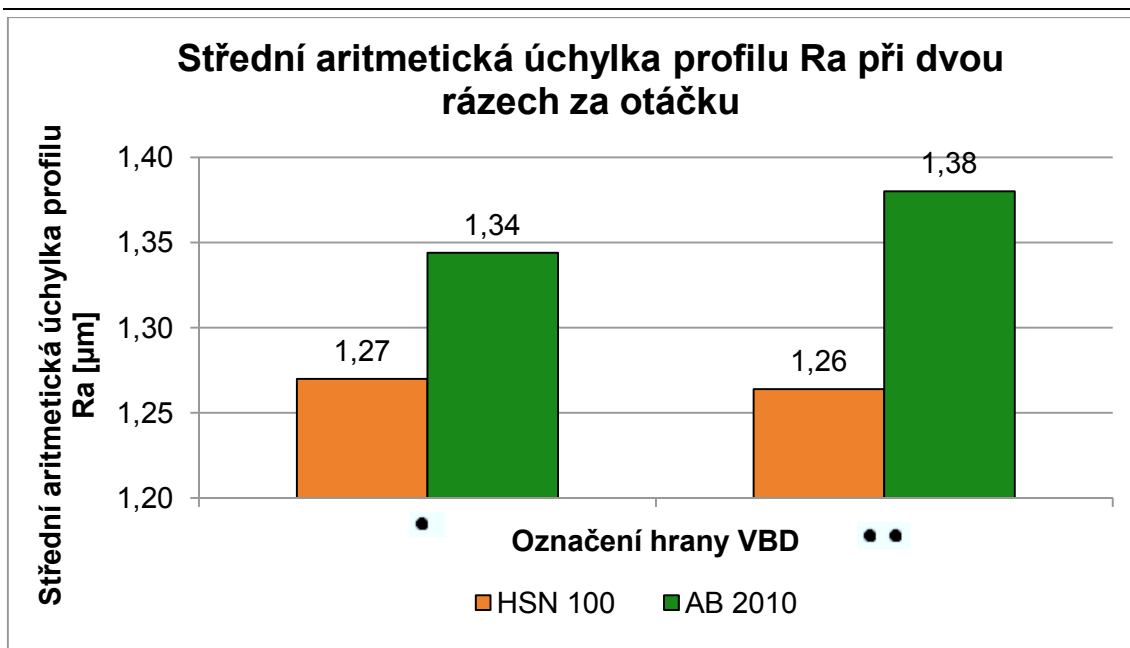
Tab. 6.7 Naměřené hodnoty pro 2 lišty obráběné destičkami Taegutec AB 2010.

Taegutec AB 2010								
$n = 520 [min^{-1}]$, $v_c = 425 [m.min^{-1}]$, $a_p = 1 [mm]$, $f = 0,2 [mm]$								
2 lišty	•				• •			
č. měření	$l [mm]$	$R_a [\mu m]$	$R_z [\mu m]$	$R [-]$	$l [mm]$	$R_a [\mu m]$	$R_z [\mu m]$	$R [-]$
1	600	1,34	6,2	6000	420	1,39	6,50	4200
2	485	1,38	6,4	4850	525	1,4	6,80	5250
3	600	1,31	6,3	6000	600	1,36	6,2	6000
4	565	1,35	6,5	5650	592	1,38	6,4	5920
5	600	1,34	6,2	6000	600	1,37	6,5	6000
průměr	570	1,34	6,32	5700	547,4	1,38	6,48	5474
u_A	22,3047	0,0112	0,0583	224	34,8247	0,0071	0,0970	349



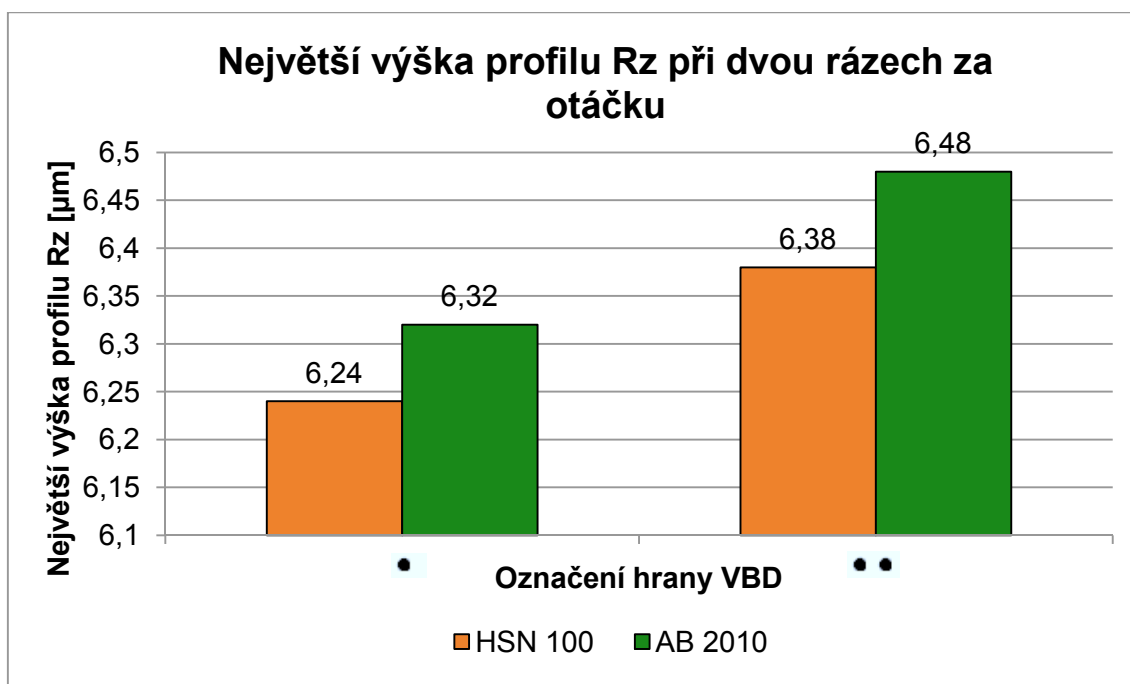
Obr. 6.9. Vzájemné porovnání HSN 100 a AB 2010 při dvou rázech za ot.

Z obrázku 6.9. vyplývá, že při dvou rázech za otáčku je vhodnější povlakovaná řezná keramika AB 2010, která vydržela na první hraně • $R = 5700 \pm 224$ rázů a na druhé hraně • • $R = 5474 \pm 349$ rázů. Řezná keramika HSN 100 při dvou rázech za otáčku snášela rázy podstatně méně, na první hraně vydržela • $R = 2672 \pm 281$ rázů a na druhé • • $R = 3062 \pm 208$ rázů.



Obr. 6. 10. Porovnání střední aritmetické úchylny profilu Ra při dvou rázech za ot.

I když povlakovaná keramika AB 2010 vydržela větší počet rázů, tak obrobený povrch má horší integritu než povrch obrobený keramikou HSN 100, kde • Ra $1,27 \pm 0,0100 \mu\text{m}$ a •• Ra $1,26 \pm 0,0093 \mu\text{m}$. Povrch obrobený VBD AB 2010 • Ra $1,34 \pm 0,0112 \mu\text{m}$ a •• Ra $1,38 \pm 0,0071 \mu\text{m}$.



Obr. 6. 11. Porovnání největší výšky profilu Rz při dvou rázech za ot.

Největší výška profilu Rz u povrchu obrobeném VBD AB 2010 vykazuje hodnoty • Rz $6,32 \pm 0,0583 \mu\text{m}$, •• Rz $6,48 \pm 0,0970 \mu\text{m}$, což je řádově o jednu až dvě desetiny víc jako u povrchu obrobeného HSN 100, kde • Rz $6,24 \pm 0,0510 \mu\text{m}$, •• Rz $6,38 \pm 0,0663 \mu\text{m}$.

6.4.4 Provedení s jednou lištou

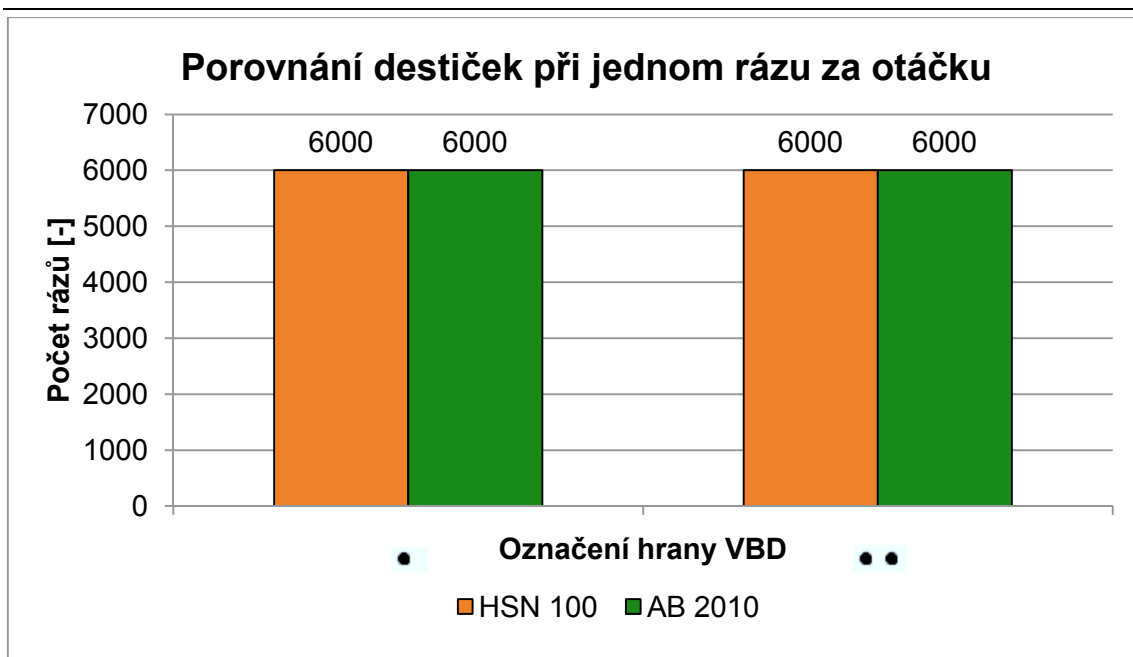
Stejně jako u metody se třemi lištami museli být upraveny řezné parametry z důvodu nevyváženosti přípravku a velkého zatížení na stroj. Při zkoušce zachovat řezné parametry stejné jako u vyváženého přípravku došlo k velkému chvění a rozkmitání obráběcího stroje. Při chvění přípravku se nadměrně zahřívali ložiska u hrotu koníku a uložení vřetene. Z bezpečnostních důvodů a snížení rizika poškození obráběcího stroje bylo nutné snížit otáčky z $n = 520 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ na $n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}$.

Tab. 6.8 Naměřené hodnoty pro 1 lištu obráběnou destičkami Greenleaf HSN 100.

Greenleaf HSN 100								
$n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 294 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}, a_p = 1 \text{ [mm]}, f = 0,2 \text{ [mm]}$								
1 lišty	•				• •			
Č. měření	$l \text{ [mm]}$	$R_a \text{ [}\mu\text{m]}$	$R_z \text{ [}\mu\text{m]}$	$R \text{ [-]}$	$l \text{ [mm]}$	$R_a \text{ [}\mu\text{m]}$	$R_z \text{ [}\mu\text{m]}$	$R \text{ [-]}$
1	1200	1,42	6,7	6000	1200	1,34	6,6	6000
2	1200	1,39	6,5	6000	1200	1,36	6,5	6000
3	1200	1,4	6,6	6000	1200	1,35	6,5	6000
4	1200	1,38	6,5	6000	1200	1,28	6,4	6000
5	1200	1,37	6,6	6000	1200	1,31	6,5	6000
průměr	1200	1,39	6,58	6000	1200	1,33	6,50	6000
u_A	0	0,0086	0,0374	0	0	0,0146	0,0316	0

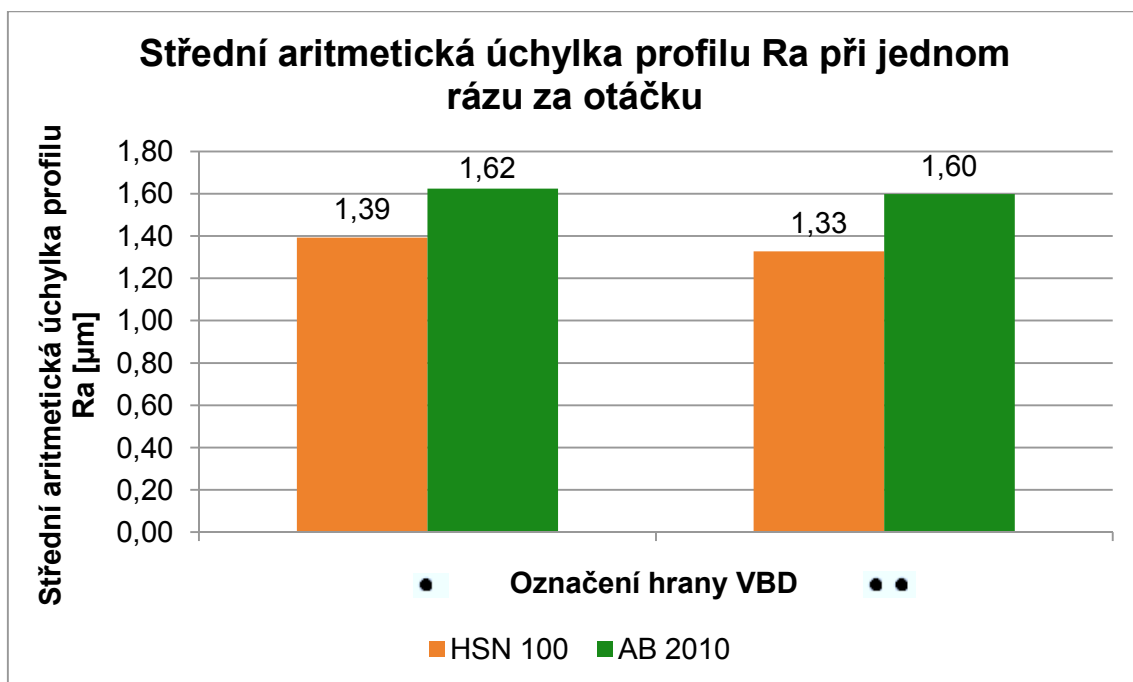
Tab. 6.9 Naměřené hodnoty pro 1 lištu obráběnou destičkami Taegutec AB 2010.

Taegutec AB 2010								
$n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}, v_c = 294 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}, a_p = 1 \text{ [mm]}, f = 0,2 \text{ [mm]}$								
1 lišty	•				• •			
Č. měření	$l \text{ [mm]}$	$R_a \text{ [}\mu\text{m]}$	$R_z \text{ [}\mu\text{m]}$	$R \text{ [-]}$	$l \text{ [mm]}$	$R_a \text{ [}\mu\text{m]}$	$R_z \text{ [}\mu\text{m]}$	$R \text{ [-]}$
1	1200	1,60	6,90	6000	1200,00	1,58	6,70	6000
2	1200	1,58	6,70	6000	1200,00	1,59	6,60	6000
3	1200	1,66	6,70	6000	1200,00	1,60	6,50	6000
4	1200	1,64	6,80	6000	1200,00	1,62	6,70	6000
5	1200	1,64	6,80	6000	1200,00	1,60	6,60	6000
průměr	1200	1,62	6,78	6000	1200	1,60	6,62	6000
u_A	0	0,0147	0,0374	0	0	0,0066	0,0374	0



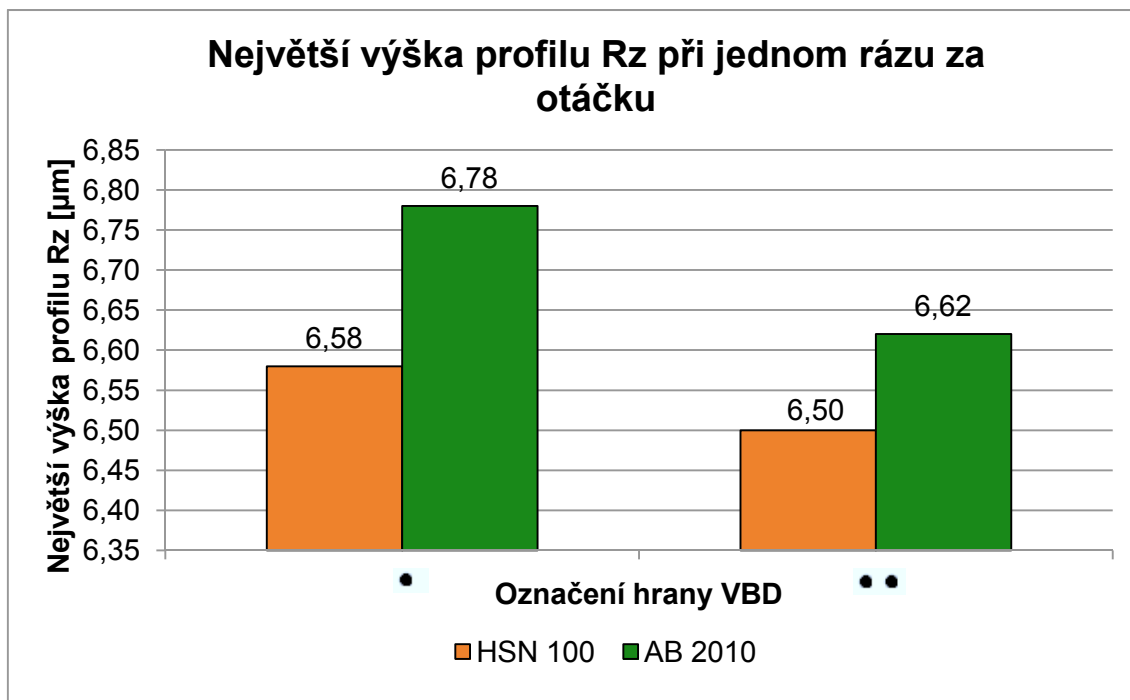
Obr. 6. 12 Vzájemné porovnání HSN 100 a AB 2010 při jednom rázu za ot.

Z obrázku 6. 12. jde vidět, že obě řezné keramiky HSN 100 a AB 2010 vydrželi limitní počet rázů a podle toho soudím, že jsou obě tyto VBD vhodné pro obrábění přerušovaným řezem zatíženým jedním rázem za otáčku při daných řezných podmínkách.



Obr. 6. 13. Porovnání střední aritmetické úchylky profilu Ra při jednom rázu za ot.

Povrch obrobený řeznou keramikou HSN 100 vykazuje lepší drsnost povrchu, • Ra $1,39 \pm 0,0086 \mu\text{m}$ a •• Ra $1,33 \pm 0,0146 \mu\text{m}$ v porovnání s povrchem obrobeným VBD AB 2010 • Ra $1,62 \pm 0,0147 \mu\text{m}$ a •• Ra $1,60 \pm 0,0066 \mu\text{m}$.



Obr. 6. 13. Porovnání největší výšky profilu Rz při jednom rázu za ot.

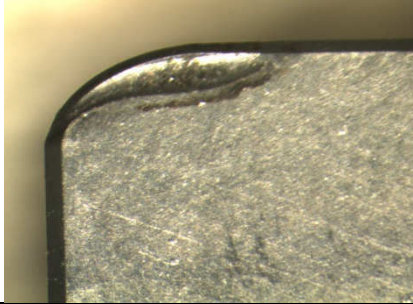
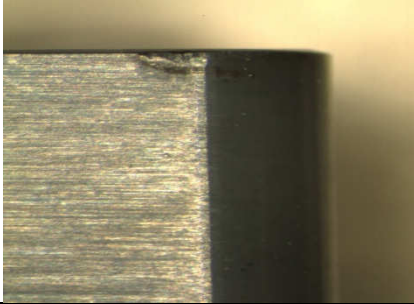

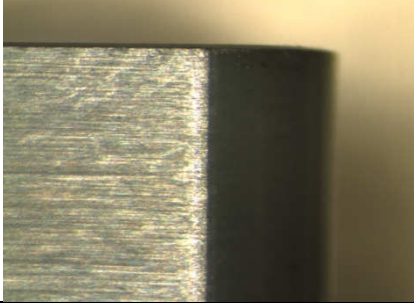



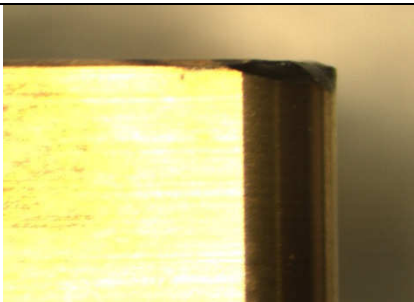
Na obrázku 6. 13. je znázorněné porovnání největší výšky profilu obrobene plochy a je zřejmé, že povrch obrobený keramikou HSN 100 vykazuje menší hodnoty

- Rz $6,58 \pm 0,0374 \mu\text{m}$, •• Rz $6,50 \pm 0,0316 \mu\text{m}$. AB 2010 • Rz $6,78 \pm 0,0374 \mu\text{m}$,
- Rz $6,62 \pm 0,0374 \mu\text{m}$.


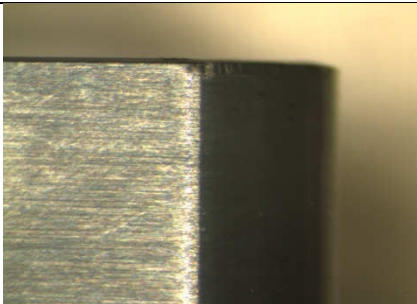
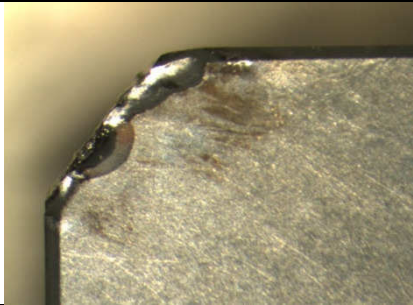
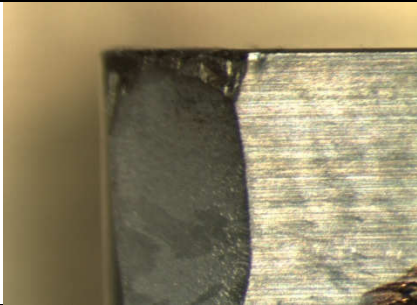
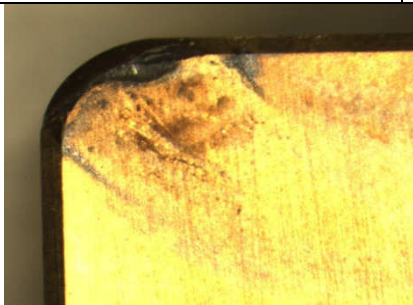
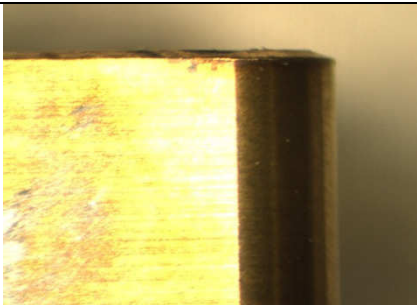

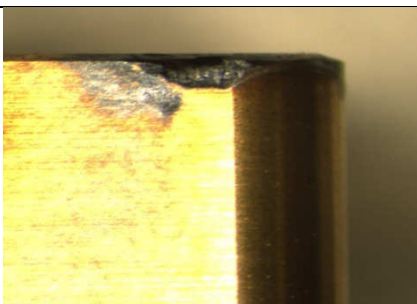
6.5 Fotografie opotřebení jednotlivých druhů VBD

V tabulkách viz, níže jsou uvedeny fotografie opotřebení čela a hřbetu nástroje. Fotografie byly pořízeny na mikroskopu Intracomicro ve 4 násobném zvětšení. Uvedené fotografie jsou výběrem z celé řady měření.

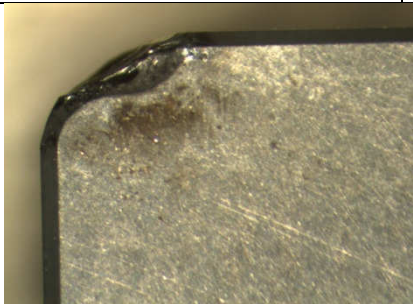
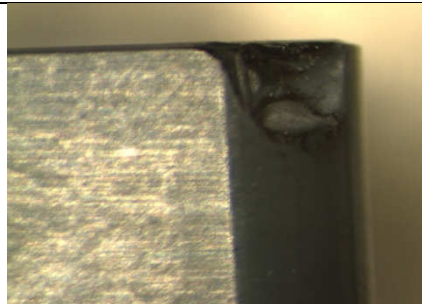

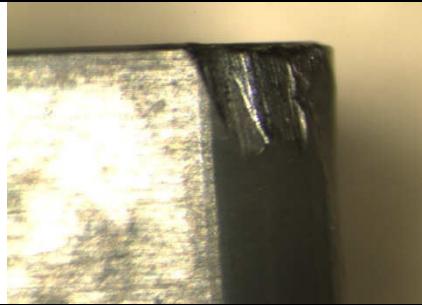
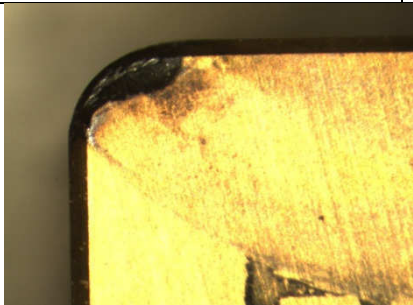
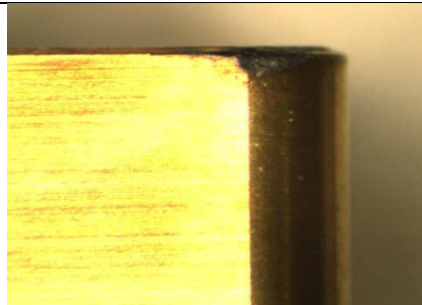


Tab. 6. 10. Ukázka opotřebení čela a hřbetu nástroje při čtyřech rázech za ot.

4 lišty - HSN 100	• čelo	• hřbet
$n = 520 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 425 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		
4 lišty - HSN 100	• • čelo	• • hřbet
$n = 520 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 425 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		
4 lišty - AB 2010	• čelo	• hřbet
$n = 520 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 425 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		
4 lišty - AB 2010	• • čelo	• • hřbet
$n = 520 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 425 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		

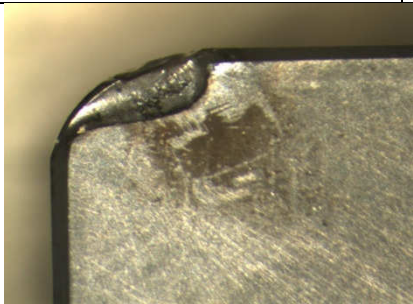
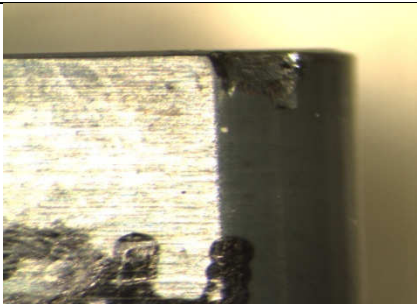
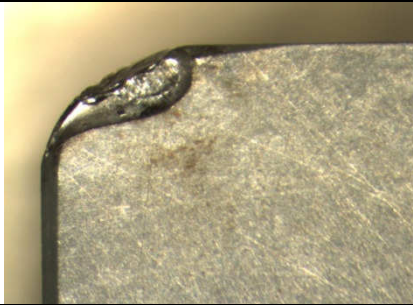

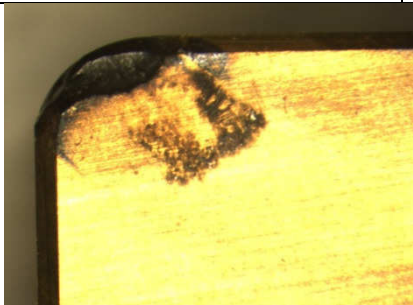
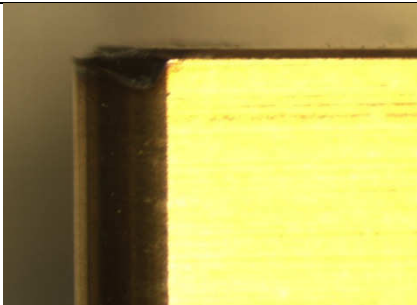
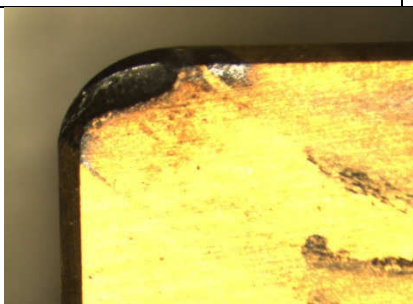
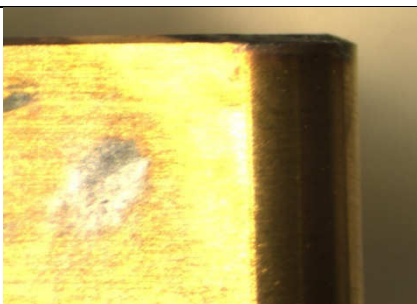
Tab. 6. 11. Ukázka opotřebení čela a hřbetu nástroje při třech rázech za ot.

3 lišty - HSN 100	• čelo	• hřbet
$n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 294 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		
3 lišty - HSN 100	• • čelo	• • hřbet
$n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 294 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		
3 lišty - AB 2010	• čelo	• hřbet
$n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 294 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		
3 lišty - AB 2010	• • čelo	• • hřbet
$n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 294 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		

Tab. 6. 12. Ukázka opotřebení čela a hřbetu nástroje při dvou rázech za ot.

2 lišty - HSN 100	• čelo	• hřbet
$n = 520 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 425 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		
2 lišty - HSN 100	• • čelo	• • hřbet
$n = 520 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 425 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		
2 lišty - AB 2010	• čelo	• hřbet
$n = 520 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 425 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		
2 lišty - AB 2010	• • čelo	• • hřbet
$n = 520 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 425 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		

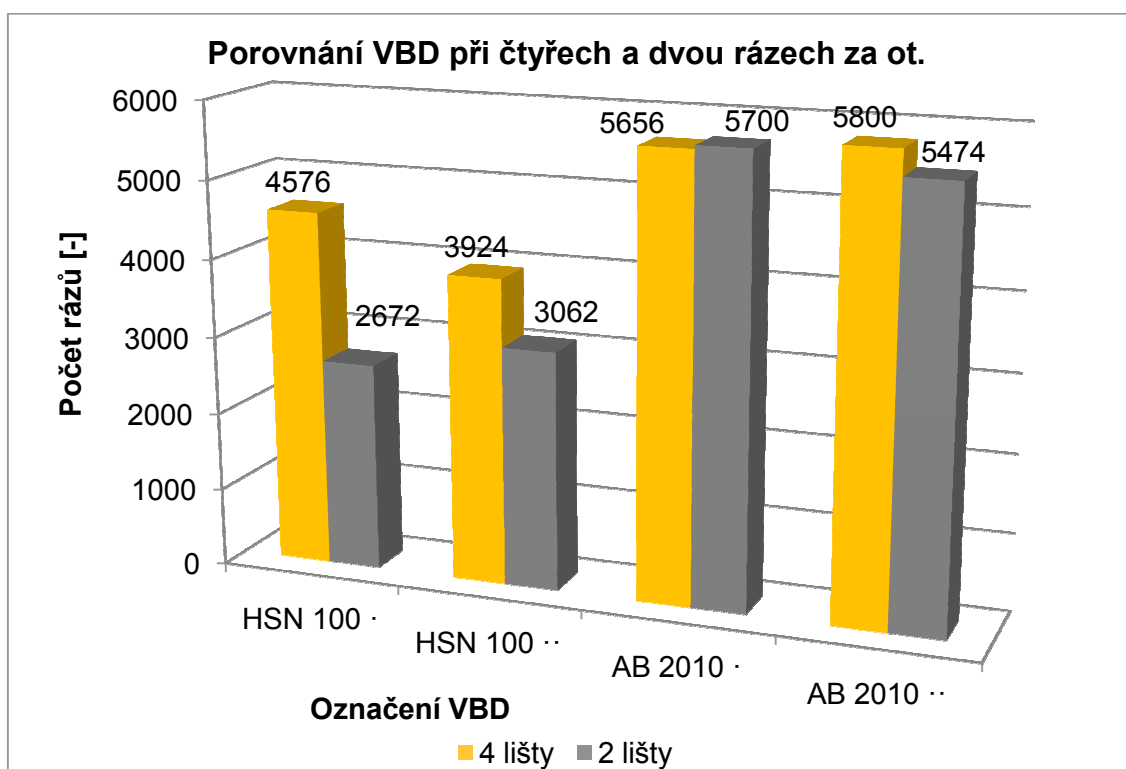
Tab. 6. 13. Ukázka opotřebení čela a hřbetu nástroje při jednom rázu za ot.

1 lišta - HSN 100	• čelo	• hřbet
$n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 294 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		
1 lišta - HSN 100	• • čelo	• • hřbet
$n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 294 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		
1 lišta - AB 2010	• čelo	• hřbet
$n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 294 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		
1 lišty - AB 2010	• • čelo	• • hřbet
$n = 360 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ $v_c = 294 \text{ [m.min}^{-1}\text{]}$ $a_p = 1 \text{ [mm]}$ $f = 0,2 \text{ [mm]}$		

6.6 Porovnání a zhodnocení výsledků

6.6.1 Vzájemné porovnání metod čtyř a dvou lišt při stejných řezných parametrech

U obou metod byl přípravek vyvážen a bylo možné použít vyšší otáčky a řeznou rychlost. Při použití čtyř lišt je VBD vystavena čtyřem rázům za otáčku a nedochází k tak velkým tepelným a mechanickým rázům tak jako u metody dvou lišt, kde dochází k ochlazení bříty mezi záběry a tedy vzniká tepelný šok.



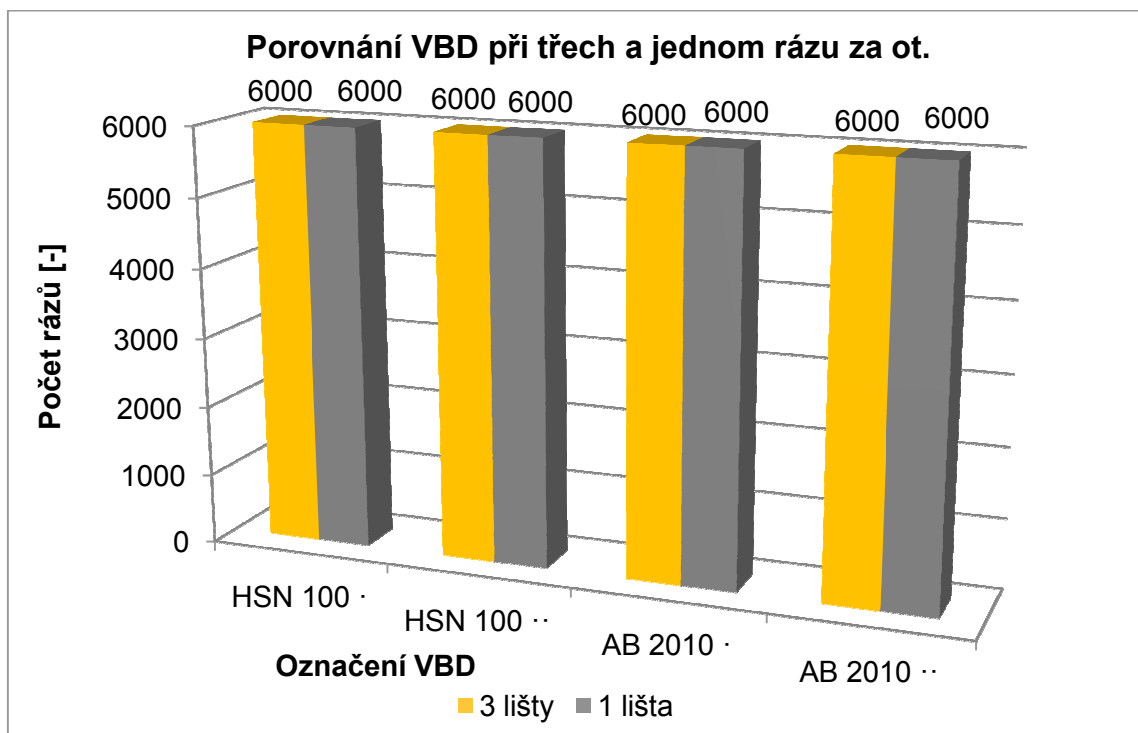
Obr. 6. 14. Porovnání VBD při stejných řezných parametrech při dvou a čtyřech rázech za ot.

V grafu vidíme, že řezná keramika značky Taegutec AB 2010 vydržela u obou metod počet rázů blížící se k limitní hranici 6000 rázů. Tento výsledek nám dokazuje, že povlakovaná PVD TiN keramika snáší lépe tepelné a mechanické rázy než nepovlaková silikon nitridová keramika Greenleaf HSN 100, která vydržela u dvou lišt maximálně 3062 rázů a u čtyř lišt maximálně 4576. To nám naznačuje, že keramika HSN 100 není vhodná pro přerušovaný řez za daných řezných podmínek.

6.6.2 Vzájemné porovnání metod tří a jedné lišty při stejných řezných parametrech

Při provedení obou metod byl přípravek nevyvážen a bylo nutné změnit řezné parametry, což spočívalo ve snížení otáček a řezné rychlosti. Při pokusu zachovat stejné řezné parametry jako u vyváženého přípravku došlo k velkému chvění a vibracím, díky kterým vzniklo velké riziko poškození obráběcího stroje.

U jedné lišty je VBD vystavena jednomu rázu za otáčku, kde by mělo vznikat velké tepelné a mechanické zatížení k vůli ochlazování mimo záběr, ale díky poměrně malým otáčkám a řezné rychlosti se uvedené zatížení neprojevuje.



Obr. 6. 15. Porovnání VBD při stejných řezných parametrech při třech a jednom rázu za ot.

Z grafu je viditelné, že obě řezné keramiky HSN 100 a AB 2010 při obou metodách vydrželi limitní počet 6000 rázů. Tento jev je příčinou poměrně malých řezných parametrů pro použití řezné keramiky, bohužel technické omezení stroje a přípravku nám neumožnili testovat při vyšších řezných parametrech. Díky výsledku znázorněnému v grafu můžeme tvrdit, že obě řezné keramiky jsou vhodné pro přerušovaný řez za daných řezných parametrů $n = 360 [min^{-1}]$, $v_c = 294 [m.min^{-1}]$, $a_p = 1 [mm]$, $f = 0,2 [mm]$.

7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo testování vyměnitelných břitových destiček z řezné keramiky pro použití při přerušovaném řezu. Byly provedeny čtyři metody experimentu na speciálním přípravku při podélném soustružení, který byl zkonstruován na katedře obrábění a montáže Fakulty strojní VŠB – TU Ostrava v rámci projektu GAČR.

Experiment jsem prováděl pro dva druhy řezné keramiky povlakovaná PVD TiN keramika značky Taegutec AB2010 a druhá nepovlakovaná silikon nitridová keramika Greenleaf HSN 100. Měření nám umožnilo zjistit chování řezné keramiky a míru vhodnosti použití pro přerušovaný řez za daných řezných podmínek. Obráběné lišty v přípravku jsou vyrobeny z materiálu ocel 12 050 C 45, popis a vlastnosti jsou uvedeny v kapitole 5.3. Hlavním sledovaným parametrem byl počet rázů R, který byl přepočten z obrobené délky, dále jsem sledoval parametry Ra a Rz obrobeného povrchu.

Jako první byly destičky testovány při čtyřech rázech za otáčku, kde lepších výsledků dosáhla povlakovaná keramika AB 2010, která dosáhla počtu rázů 5656 a 5800 rázů, což je blíží se limitní hranici 6000. Keramika HSN 100 vykázala o něco horší výsledek s počtem rázů 3924 a 4576, ale vykazuje lepší integritu obrobeného povrchu. Z výsledků je zřejmé, že keramika AB 2010 je vhodnější pro přerušovaný řez a to pravděpodobně díky svému povlaku. Při druhé metodě byly destičky testovány při třech rázech za otáčku, kde bylo nutné snížit řezné parametry z technických důvodů. U této metody vydrželi obě řezné keramiky limitní počet rázů, a proto můžeme tvrdit, že za daných řezných parametrů je možné použít obě keramiky pro přerušovaný řez. Lepší integritu obrobeného povrchu docílila keramika AB 2010. Při třetí metodě byly VBD vystaveny dvěma rázům za otáčku, kde povlakovaná keramika AB 2010 opět docílila lepších výsledků 5700 a 5474 rázů. Keramika HSN 100 docílila lepší integritu povrchu. Při poslední metodě byly VBD vystaveny jednomu rázu za otáčku a stejně jako u druhé metody museli být sníženy řezné parametry. Při jednom rázu za otáčku dosáhly limitního počtu rázů 6000 obě řezné keramiky s tím, že HSN 100 vykázala lepší integritu obrobeného povrchu.

Z naměřených výsledků lze usoudit, že řezná keramika lze použít i pro přerušovaný řez a ze dvou testovaných druhů keramik je vhodnější povlakovaná keramika značky Taegutec AB 2010.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu* : Disertační práce. Ostrava : FS VŠB - TU Ostrava, 2005. 101 s.
- [2] SANDVIK COROMANT. *Technická příručka: Materiály* [online]. © 2009, 2011-01-26 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/tech_guide/CZE/MTG_H.PDF
- [3] HUMAR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB spol. s.r.o. 1995. 265s. ISBN 80-85825-10-4.
- [4] HUMÁR, Anton. *Technologie I : Technologie obrábění – 1. část*. Brno : Vysoké učení technické, ústav strojírenské technologie, 2003, 138 s.
- [5] BRYCHTA, J.; ČEP, R.; NOVÁKOVÁ, J.; PETŘKOVSKÁ, L. *Technologie II – 1. díl*. Ostrava : FS VŠB – TU Ostrava, 2007. 122 s. ISBN 978-80-248-1641-8
- [6] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-5.
- [7] HLUCKÝ, M.; Haněk, V. *Strojírenská technologie koroze : Základy obrábění, výrobní postupy- 2. díl*. Praha : Scientia, spol s.r.o. Praha, 1998. 176 s.
- [8] Řezná keramika a kubický nitrid boru. MM Průmyslove spektrum. 9/2003. 42s. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/rezna-keramika-a-kubickynitrid-boru> >
- [9] BILÍK, Oldřich; MÁDL, Jan. *Trvanlivost bříty a provozní spolehlivost obráběcího nástroje*. Ústí nad Labem : Jiří Bartoš – Slon, 2001. 86 s. ISBN 80-7044 – 389-8.
- [10] MRKVICA, M.; BILÍK, O.; SIKORA, R. *Spolehlivost a diagnostika nástrojových materiálů v podmínkách přerušovaného řezu. Závěrečná zpráva o řešení grantového projektu GAČR č. 101/93/0129 za rok 1993 - 1995*. Ostrava : FS VŠB- TU Ostrava, 1995. 34 s.
- [11] ČSN ISO 513. *Klasifikace a použití tvrdých řezných materiálů k obrábění kovů určeným ostřím – označování skupin a podskupin použití*. Český normalizační institut. Praha. 02/2006.
- [12] MOHYLA, M. *Nekonvenční strojírenské materiály I*. Ostrava : FS VŠB - TU Ostrava, 1994. 133s. ISBN 80-7078-236-6.
- [13] KOČMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno : CERM s.r.o. 2001. 270s. ISBN 80-214-1996-2.
- [14] SANDVIK COROMANT. *Sandvik material technology*. [online]. © 2007 [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <<http://www.processsystems.sandvik.com>>

- [15] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje* [online]. Brno : VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Brno, 2006. 192 s. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://ust.fme-.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne-_nastroje_v2.pdf>.
- [16] HOUDEK, Josef; KOUŘIL, Karel. *Odolnost slinutých karbidů proti teplotním a mechanickým rázům. MM Průmyslové spektrum*. 2004. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/odolnost-slinutych-karbidu-protiteplotnim- a-mechanickym-razum>>
- [17] FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno : VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9
- [18] ARMENDIA, M.; GARAY, A.; DAVIES, M.A. *High bandwidth temperature measurement in interrupted cutting of difficult to machine materials*. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850610000600>
- [19] REINER, Jan. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu : Diplomová práce*. Ostrava : FS VŠB-TUO, 2009. 73 s.
- [20] BEŇO, Josef. *Teória řezania kovov*. Košice : TU Košice, Fakulta Strojnická, 1999. 255 s. ISBN 80-7099-429-0.
- [21] BILÍK, O.; VLČEK, M. *Testování nástrojových materiálů s vyšší křehkostí v podmínkách přerušovaného řezu : Zpráva o řešení interního grantového projektu za rok 2000*. Ostrava : FS VŠB – TU Ostrava, 2000. 22 s.
- [22] ISO 3685: 1990 - *Tool Life Testing with Single Cutting Tools*. 1990.
- [23] GREENLEAF. *Insert Grade Reference for Turning*. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.greenleafglobalsupport.com/wcsstore/Greenleaf/ upload/docs/TBCarbideAndCeramicAppRange.pdf>
- [24] TAEGUTEC. *TaeguTurn*. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.taegutec-india.com/redirect.asp?URL=http://www.taegutec.co.kr/main.asp?CountryID=1>
- [25] NOVÁK, Zdeněk. *Zvyšování kvality hodnocení struktury povrchu. MM průmyslové spektrum*. 2004, č.11, s. 68. ISSN 1212 – 2572. [online]. [cit. 2012-05-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/zvysovani-kvality-hodnoceni-struktury-povrchu.html>.
- [26] Tichá, Š. *Strojírenská metrologie. Část 1*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. 104 s. ISBN 80-248-0672-X80-248-0671.