

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže



**Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru
přerušovaného řezu**

**Tests of Ceramic Cutting Tools at Interrupted Cut
Simulator**

Student:

Marek Zálešák

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Zálešák**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu

Tests of Ceramic Cutting Tools at Interrupted Cut Simulator

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Trvanlivost a životnost obráběcích nástrojů.
3. Experimentální testování nástrojů.
4. Vyhodnocení testů.
5. Technicko ekonomické zhodnocení.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu – disertační práce*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava Fakulta strojní, 2005. 101 s.

WHITNEY, E. Dow. *Ceramics Cutting Tools – Materials, Development and Performance*. Gainesville, Florida : Noyes Publication New Jersey, 1994, 350 p. ISBN 0-8155-1355-0.

ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.

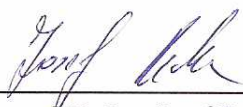
VASILKO Karol. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov : COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 01.10.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



prof. Dr. Ing. Josef Brychta
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

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

V Ostravě: 21.5.2010



.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou 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 bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské 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 - bakalářskou 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. 2010



.....
podpis studenta

Marek Zálešák
Strážovská 1311
69701 Kyjov

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

ZÁLEŠÁK, M. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu.* Ostrava : Katedra obrábění a montáže 346, Fakulta strojní VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010, 51 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Robert ČEP, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá testováním životnosti nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu a určením vhodnosti použití řezné keramiky pro tento způsob obrábění. V úvodní části je popsána řezná keramika její rozdělení a využití v oboru obrábění. Následující kapitola tvoří vysvětlení pojmů a uvedení výpočtu trvanlivosti, životnosti a řezivosti nástroje. V další části práce je uvedena metodika testování VBD při soustružení. Dále je uveden rozbor a postupu sestavení použitého přípravku a zvolení destiček z řezné keramiky. Závěrečnou část práce tvoří naměřené hodnoty, jejich zpracování a vyvození závěrů.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Zálešák, M. *Tests of Ceramic Cutting Tools at Interrupted Cut Simulator.* Ostrava: Department of machining and assembly of 346, Faculty of Mechanical Engineering, VSB - Technical University Ostrava, 2010, 51 p.

Thesis Supervisor: Ing. Robert ČEP, Ph.D.

Bachelor thesis deals with the testing tool life of cutting ceramics in intermittent cutting conditions and determining the appropriateness of using cutting ceramics for machining this way. In the first is described cutting ceramics, her distribution and use in the field of machining. The following chapter consists of explanations of terms and the calculation of durability, service life and rustiness tools. The next section is presented the methodology of testing inserts for turning. The following is given an analysis and preparation procedure used product and election counts of cutting ceramics. The final part consists of readings, processing and drawing conclusions.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	8
1 ÚVOD	9
2 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU	10
3 ŘEZNÁ KERAMIKA	11
3.1 Použití řezné keramiky v oblasti obrábění.....	11
3.2 Rozdělení řezné keramiky.....	12
3.2.1 Použití dle složení řezné keramiky.....	12
3.2.2 Výchozí materiály pro výrobu řezné keramiky	13
4 TRVANLIVOST OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ	14
4.1 Výpočet trvanlivosti	15
4.2 Průběh závislosti (4.1) znázorněný v lineárních a logaritmických souřadnicích	16
4.3 Stanovení $T - v_c$ závislosti	19
5 ŽIVOTNOST, ŘEZIVOST A OPOTŘEBENÍ BŘITU NÁSTROJE.....	20
5.1 Životnost nástroje	20
5.2 Řezivost nástroje	21
5.3 Opotřebenění břitu nástroje	21
5.3.1 Kritéria opotřebenění	22
5.3.2 Jednotlivé druhy opotřebenění VBD.....	23
6 EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ NÁSTROJŮ.....	24
6.1 Test VBD podélným soustružením (lišťový test)	24
6.1.1 Konstrukce přípravku	25
6.1.2 Potřebná úprava lišt před vlastním měřením	27
6.2 Materiál vyměnitelných lišt	27
6.3 Volba obráběcího stroje	28
6.4 Řezná geometrie	29
6.5 Testované materiály VBD	30
6.6 Řezné parametry	31
6.7 Vyhodnocovací zařízení.....	31
7 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ.....	32
7.1 Sledování počtu rázů	32
7.2 Zpracování výsledků měření.....	33
7.2.1 VBD z řezné keramiky 6190.....	33
7.2.2 VBD z řezné keramiky 670.....	34

7.2.3	VBD z řezné keramiky 650.....	36
7.2.4	VBD z řezné keramiky 620.....	37
7.3	Fotografie opotřebení jednotlivých druhů VBD	39
7.4	Porovnání a zhodnocení výsledků	45
8	ZÁVĚR	48
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	50

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ, SYMBOLŮ A ZKRATEK

ZNAČKA	VÝZNAM	JEDNOTKA
a_p	Hloubka řezu	[mm]
CA	Oxidická řezná keramika	[-]
CM	Směsná keramika na bázi Al_2O_3	[-]
CN	Keramika z čistého nitridu křemíku	[-]
C_T	Konstanta v Taylorově vztahu	[-]
C_v	Konstanta v Taylorově vztahu	[-]
CSNRN	Označení druhu a tvaru držáku	[-]
D	Obráběný průměr	[mm]
f	Posuv nástroje	[mm]
GAČR	Grantová agentura České republiky	[-]
ISO	International Organization for Standardization	[-]
l	Obrobená délka	[mm]
m	Míra závislosti řezné rychlosti na trvanlivosti	[-]
n_i	Počet lišt v přípravku	[-]
n	Otáčky vřetene	$[min^{-1}]$
No	Nástrojová ocel	[-]
q	Počet použitelných ostří destičky	[-]
Q	Zaoblení ostří	[°]
R	Rázy	[-]
Ro	Rychlořezná ocel	[-]
ŘK	Řezná keramika	[-]
SK	Slinutý karbid	[-]
T	Trvanlivost břitu	[min]
VB	Opotřebenění na hřbetě	[mm]
VBk	Kritické opotřebenění břitu	[mm]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
v_c	Řezná rychlost	$[m \cdot min^{-1}]$
x	Počet možných přeastření nástroje	[-]
x_{vT}	Exponent vyjadřující vliv hloubky řezu	[-]
y_{vT}	Exponent vyjadřující vliv posuvu na otáčku	[-]
Z	Životnost	[min]
α_o	Ortogonální úhel hřbetu	[°]
γ_o	Ortogonální úhel čela	[°]
ε_T	Úhel špičky	[°]
K_F	Úhel nastavení hlavního ostří	[°]
λ_s	Úhel sklonu ostří	[°]

1 ÚVOD

Při soustružení podélným přerušovaným řezem je potřeba zvolit vhodný řezný nástroj, my budeme volit a testovat nástroj z řezné keramiky. Pro dosažení nejvyšší možné produktivity obrábění je rozhodující volba správného řezného nástroje. Velkou roli hraje také volba materiálu a geometrie břitu. Vibrace vznikající při obrábění způsobují předčasné ukončení trvanlivosti břitu. Abychom zvolily, co možná nejlepší druh řezné keramiky, musíme provést zkoušky na simulátoru přerušovaného řezu při podélném soustružení. Při dané zkoušce budeme vyhodnocovat počet rázů na obrobené délce za určitých řezných podmínek. Řezné parametry budeme volit s ohledem na doporučení výrobce řezné keramiky a dle průměru obrobku. Počet rázů do opotřebenosti VBD nám určí „trvanlivost a životnost“ VBD z řezné keramiky. Zkoušky trvanlivosti patří k jedněm z nejzákladnějších v oblasti technologie obrábění, úspěšné využití získaných výsledků v praxi výrazně zvyšuje kvalitu výroby řezné keramiky.

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. Neustálý vývoj nových konstrukčních materiálů klade větší a náročnější požadavky na obrobení, toto je jeden z hlavních důvodů neustálého vývoje nových materiálů nástrojů a vylepšování jejich geometrie.

V posledních letech prožila řezná keramika intenzivní vývoj, byly zlepšeny některé jejich vlastnosti. Následkem toho bylo rozšíření jejich řezných aplikací a to nejen u obrábění s plynulým řezem, ale i u obrábění s přerušovaným. Pro využití těchto výkonných řezných materiálů musí mít stroj dostatečný výkon a rozsah otáček, vysokou tuhost a přesnost chodu vřetene.

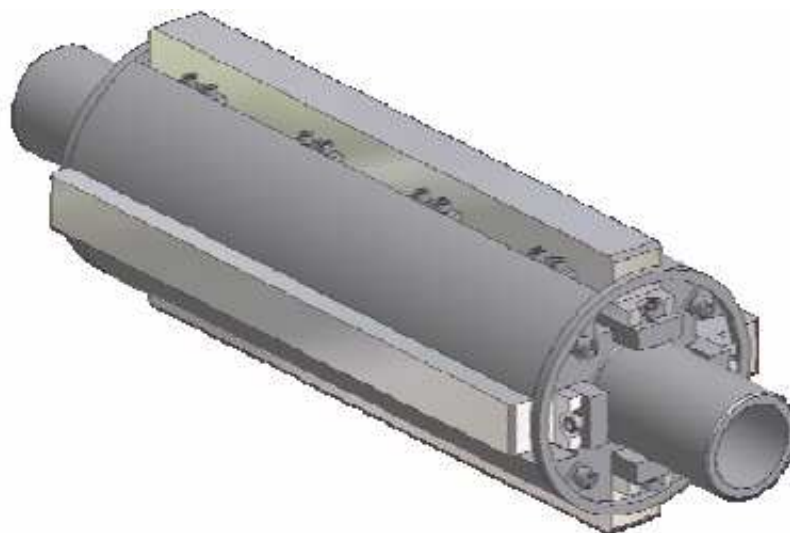
V současnosti existují řezné materiály, které umožňují optimalizaci takřka každé operace obrábění, mezi nimi se vždy najde alespoň jeden, který za určitých podmínek dokáže obrobek obrobit efektivněji. A proto se provádí testování jednotlivých řezných materiálu, aby byl nalezen ten nejefektivnější, nejvhodnější.

2 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU

Přerušovaný řez, pod tímto pojmem rozumíme soustružení obvodově nesouměrného (necelistvého) obrobku. Soustružení přerušovaným řezem je řazeno mezi nejnáročnější operace, vzniká velmi těžké mechanické namáhání a rázy na řezný nástroj.

Při přerušovaném řezu je obvykle tepelné zatížení břitu nižší. Je to důsledek ochlazení ve fázi, kdy „břit řeže vzduch“. Proto je v tomto případě menší nebezpečí vzniku plastické deformace, avšak vzrůstá nebezpečí křehkého porušení břitu v důsledku proměnlivého cyklického namáhání břitu mechanickými a teplotními rázy[4].

Technologie obrábění zahrnuje celou řadu parametrů, mezi nejdůležitější lze zařadit zkoušky odolnosti (houževnatosti) řezného nástroje, které jsou vyžadovány pro co nejdelší životnost nástroje v podmínkách přerušovaného řezu. Spolehlivost a provozní schopnost řezného nástroje je dána zejména řezivostí břitu, který nám komplexně ovlivňuje celkový výkon nástroje [1].



Obr. 2.1 Model simulátoru pro přerušovaný řez [1].

3 ŘEZNÁ KERAMIKA

Řezná keramika patří mezi anorganické, nekovové převážně krystalické materiály, skládá se zrn velmi malých rozměrů (často méně jak $1\mu\text{m}$), řadí se mezi polykrystalické materiály. Tato definice platí nejen pro tradiční keramiku (porcelán, cihly cement), ale i pro řezné a brousící materiály. Pro výrobu nové keramiky jsou používány poměrně čisté suroviny jako keramika syntetická. Většina látek zařazovaná pod pojem nová keramika jsou látky krystalické, na rozdíl od tradiční keramiky (např. porcelán, glazury) ty obsahují i značný podíl skelné (amorfni) fáze. Podle chemického složení se dělí do dvou základních skupin, a to na oxidickou a neoxidickou řeznou keramiku.

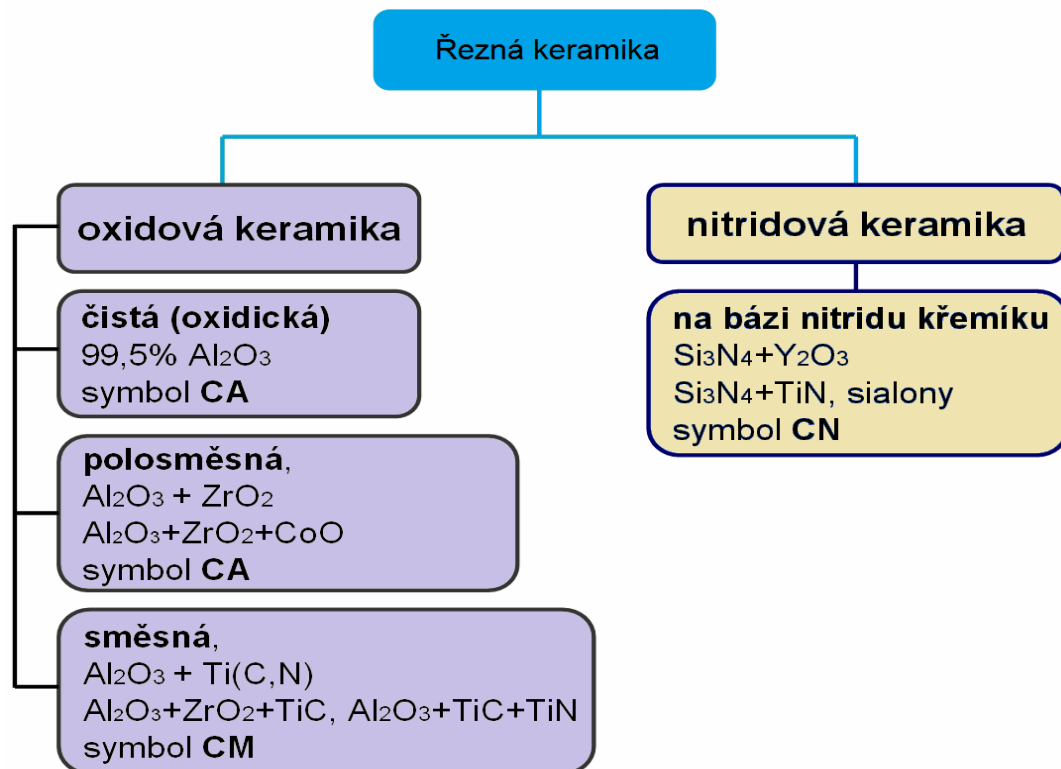
3.1 Použití řezné keramiky v oblasti obrábění

Řezná keramika patří mezi výkonné řezné materiály. Její nasazení ve strojírenské výrobě vyžaduje, mimo správné volby řezných podmínek, dodržení určitých zásad, aby mohlo být využito jejich výhodných vlastností v plné míře a nevýhodné co nejvíce potlačit. Mezi hlavní podmínky efektivního využití řezné keramiky patří [9]:

- Vysoká tuhost systému stroj - nástroj – obrobek
- Zamezení kmitání jakéhokoliv druhu, které zvyšuje intenzitu opotřebení nástroje.
- Použití výkonných obráběcích strojů se širokým rozsahem posuvů a otáček a možností nastavení vysokých řezných rychlostí. Vhodná je plynulá regulace otáček.
- Výborný stav obráběcího stroje.
- Zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku, zejména při vysokých otáčkách, kdy působí velké odstředivé síly.
- Výběr vhodného tvaru a velikosti břitové destičky.
- Správná volba tvaru ostří břitové destičky, velikost a sklon negativní fazety na čele.

3.2 Rozdělení řezné keramiky

Přestože neexistuje normou přesně stanovené rozdělení řezné keramiky, rozdělujeme ji podle chemického složení na dva základní typy:



Obr. 3.1 Rozdělení řezné keramiky [5].

3.2.1 Použití dle složení řezné keramiky

Dle složení se řezná keramika využívá na různé druhy obrábění [4]:

Al₂O₃ - Běžné soustružení, vrtání a drážkování litiny.

Al₂O₃ + SiCw - Obrábění žárovzdorných slitin. Hrubování a jemnění superslitin, oceli a litiny. Přerušované řezy.

Al₂O₃ + TiC - Soustružení tvrdé slitiny zušlechťených ocelí do tvrdostí 64HRC na velmi jemný povrch. Běžné soustružení, vrtání a drážkování litiny. Dokončovací obrábění žárovzdorných superslitin, litiny a oceli.

Al₂O₃ + ZrO₂ - Soustružení šedé, tvárné a kujné litiny vytvrzené na 300HB. Obrábění uhlíkové, legované a nástrojové oceli vytvrzené na 38 HRC.

Sialony - Hrubé obrábění superslitin na bázi niklu pro letecké motory a pro použití v agresivním prostředí. Řezy vyžadující vysoký posuv, rychlost nebo hloubku.

Si3N4 - Hrubé soustružení a frézování litiny v těžkých podmínkách. Soustružení žárovzdorných slitin na bázi niklu.

3.2.2 Výchozí materiály pro výrobu řezné keramiky

Výchozí materiály pro výrobu řezné keramiky se dělí především na:

Oxidy (Al_2O_3 , ZrO_2 , Y_2O_3)

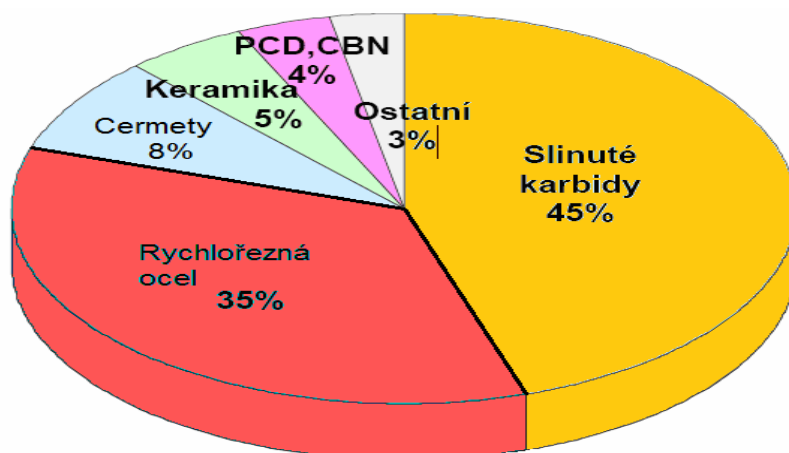
Karbidy (TiC, SiC)

Nitridy (Si_3N_4 , TiN)

Uvedené materiály mají velkou chemickou stabilitu a vysokou tvrdost, tlakovou pevnost a odolnost proti vysokým teplotám.

Tab. 3.1 Vlastnosti vybraných materiálů pro výrobu ŘK [5].

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



Obr. 3.2 Světová produkce řezných materiálů.

4 TRVANLIVOST OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ

Trvanlivost břítu je základní veličinou, která určuje vztah řezných podmínek k hospodárnosti obrábění. Lze ji definovat jako dobu, po kterou je nástroj schopen efektivně plnit požadované funkce, které jsou určeny příslušnými parametry. Trvanlivost nástroje je tedy určena intervalem mezi nasazením nástroje do řezného procesu a vznikem poruchy, kterou končí provozuschopný stav nástroje. Aby bylo možno určit pro jednotlivé případy obrábění hodnoty trvanlivosti, je třeba definovat stav břítu nástroje, kdy jej pokládáme za otupený [8].

Poruchy nástroje lze rozdělit dle různých hledisek, přičemž z technologického hlediska se rozliší porucha postupná (postupné opotřebení nástroje) a náhlá (vylomení břítu, celková destrukce nástroje). Jako kritérium vzniku poruchy, respektive ukončení provozuschopného stavu nástroje, mohou určovat parametry opotřebení břítu, drsnost povrchu obrobené plochy, úchylnost rozměru obrobené plochy, velikost řezné síly apod. V technologické praxi se velmi často trvanlivost vztahuje ke kritériu opotřebení břítu nástroje. Trvanlivost nástroje, podobně jako opotřebení nástroje, závisí zejména na metodě obrábění (soustružení, frézování, vrtání, atd.), vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu a řezných podmínkách (řezná a posuvová rychlost, šířka záběru ostří, řezné prostředí) [8].

Trvanlivost a životnost břítu nástroje se nejčastěji vyjadřuje jako čas řezného procesu [min] nebo jako dráha řezu [m, km]. Pro vrtání, vyhrubování a vystružování děr se trvanlivost nástroje často vyjadřuje jako délka obrobené díry [m, km] [8].

4.1 Výpočet trvanlivosti

Trvanlivost břítu T je obecně závislá na řezných podmínkách. Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti se pro jinak konstantní podmínky popisuje jednoduchým Taylorovým vztahem [7]:

$$T = f(v_c) = C_T \cdot v_c^{-m} \quad [\text{min}] \quad (4.1)$$

C_T – konstanta [-]

m – exponent [-]

v_c – řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$]

Konstanta C_T závisí hlavně na materiálu obrobku a nástroje a nabývá hodnot 10^8 až 10^{13} [7].

Vzhledem k velmi vysoké a nepraktické hodnotě konstanty C_T se častěji používá tvar [7]:

$$v_c = \frac{C_v}{T^{1/m}} \quad [m \text{ min}^{-1}] \quad (4.2)$$

C_v [-] - konstanta (protože $C_v = C_T^{1/m}$), je řádová velikost konstanty C_v pouze ($10^2 \div 10^3$).

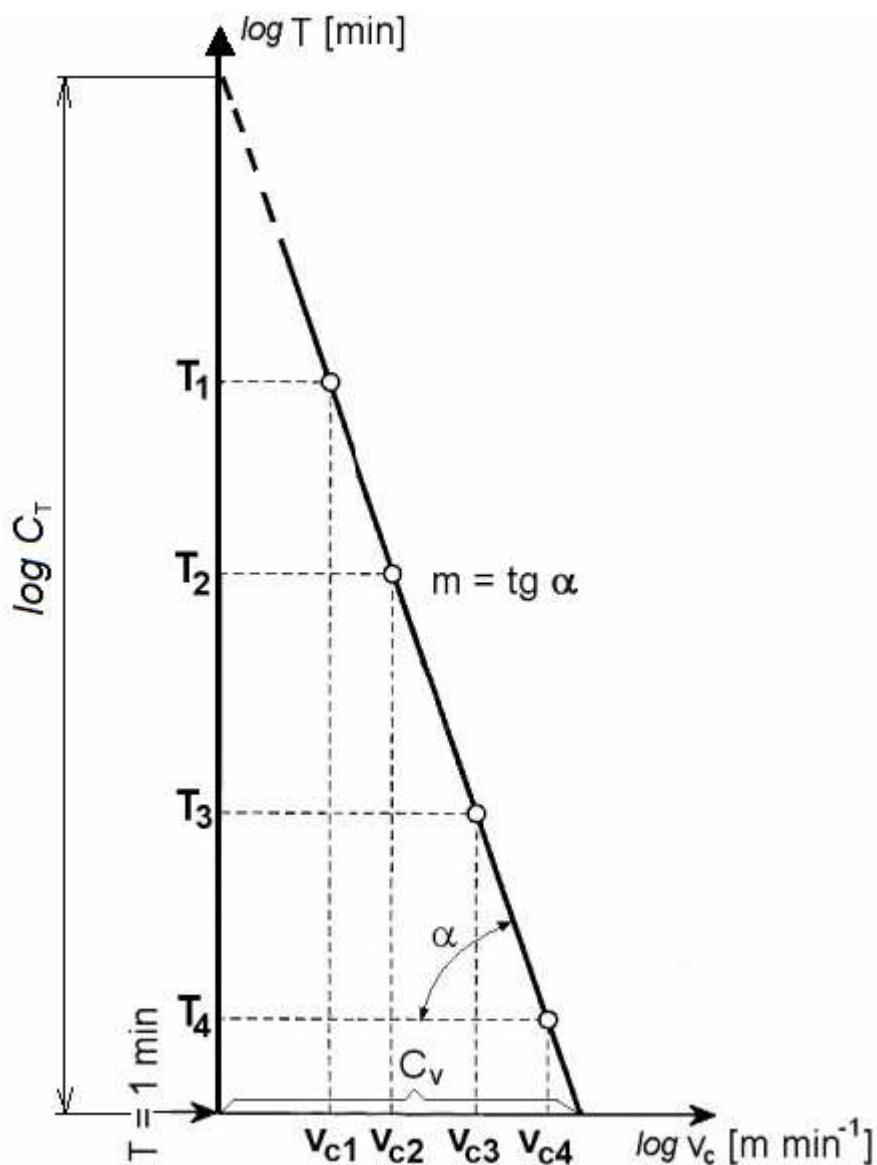
Velikost exponentu m charakterizuje především kvalitu řezného nástroje. Relace exponentu m k T - v_c závislosti je uvedena na obr. 4.3.

Tab. 4.1 Přehled exponentu m pro různé řezné materiály [3].

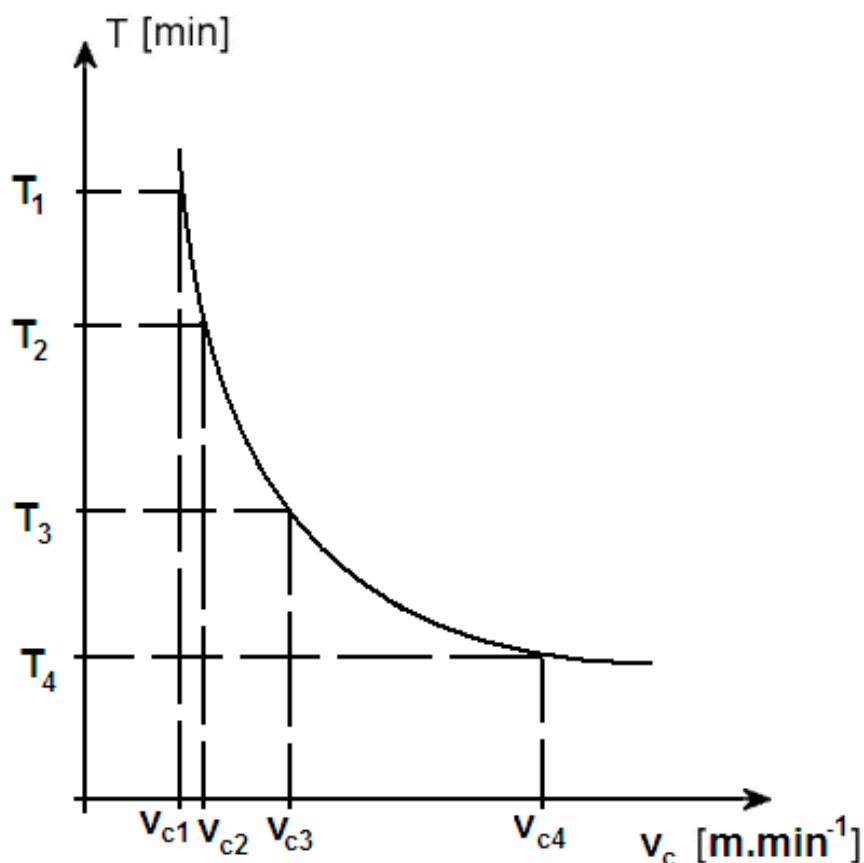
Materiál břítu nástroje	m
Keramické materiály	1,5 až 2,5
Slinuté karbidy	2,5 až 5
Rychlořezné oceli	5 až 8
Nástrojové legované oceli	8 až 10

4.2 Průběh závislosti (4.1) znázorněný v lineárních a logaritmických souřadnicích

Sestrojí se závislost $T_i = f(v_c)$ v logaritmických souřadnicích a pro vybranou trvanlivost je možné stanovit index obrobitelnosti při srovnání řezné rychlosti zkoumaného materiálu s řeznou rychlostí etalonového materiálu viz. obr. 4.5 [2].



Obr. 4.1 Průběh závislosti (4.1) v logaritmických souřadnicích [2].



Obr. 4.2 Průběh závislosti (4.1) v lineárních souřadnicích [2].

V technologické praxi a v normativních podkladech se často pracuje s řeznou rychlostí při trvanlivosti T , označenou jako v_{cT} , pro její vyjádření se formuluje závislost na šířce záběru a_p a posuvu f pro jinak konstantní podmínky ve tvaru [8]:

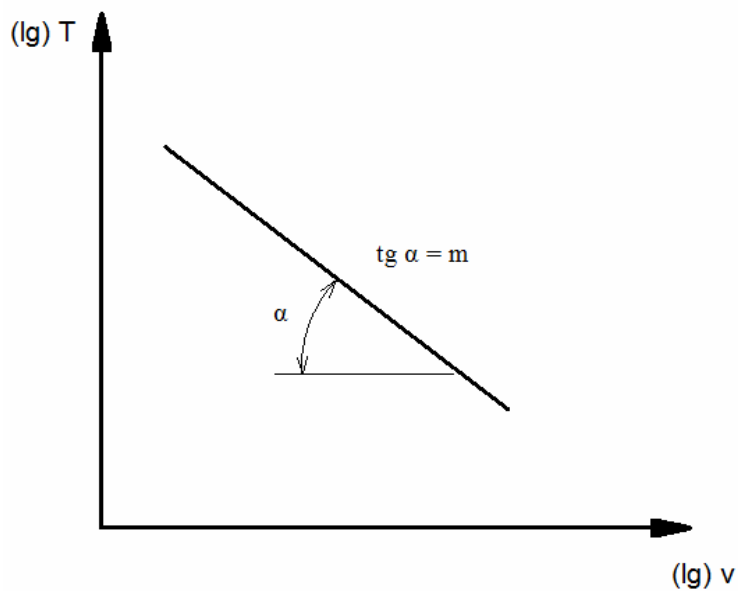
$$v_{cT} = f(a_p, f) = \frac{C_{vT1}}{a_p^{x_{vT}} \cdot f^{y_{vT}}} \quad [m \cdot \min^{-1}] \quad (4.3)$$

Nebo komplexním Taylorovým vztahem [8]:

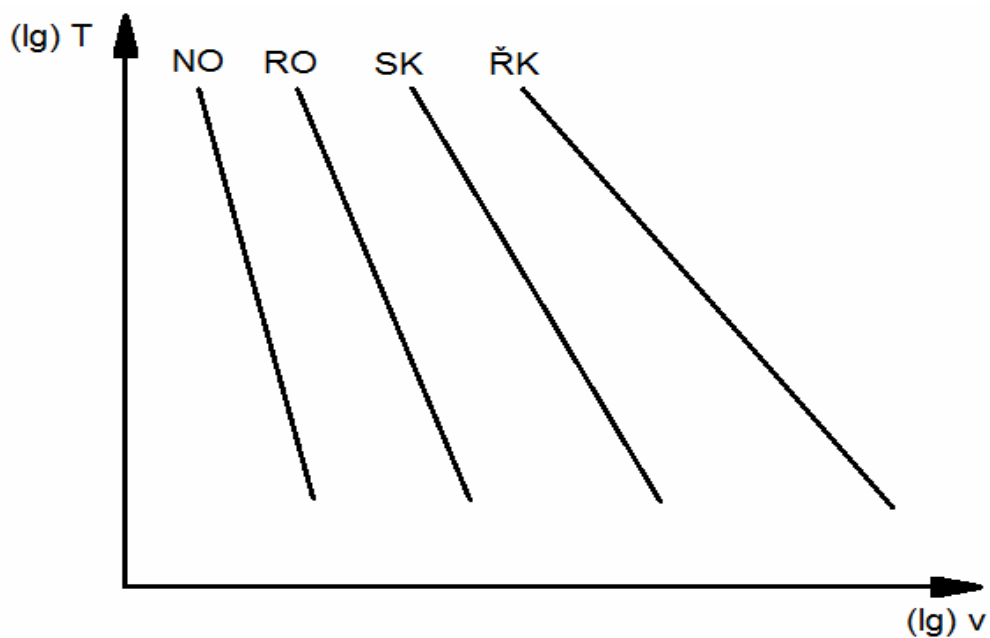
$$v_{cT} = f(a_p, f, T) = \frac{C_{vT1}}{T^{1/m} \cdot a_p^{x_{vT}} \cdot f^{y_{vT}}} \quad [m \cdot \min^{-1}] \quad (4.4)$$

v_{cT} [$m \cdot \min^{-1}$] - řezná rychlost při konstantní trvanlivosti T , např. v_{c15} znamená řeznou rychlost při trvanlivosti $T=15$ minut.

C_{vT} [-] konstanta,
 x_{vT} [-] exponent, vyjadřující vliv hloubky řezu,
 y_{vT} [-] exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku,
 C_{v1} [-] - konstanta (konstanty C_{v1} , C_{vT} a C_v mají rozdílné číselné hodnoty dokonce i pro stejnou kombinaci nástroj – obrobek [7]).



Obr. 4.3 Relace m k T - v_c závislosti [3].



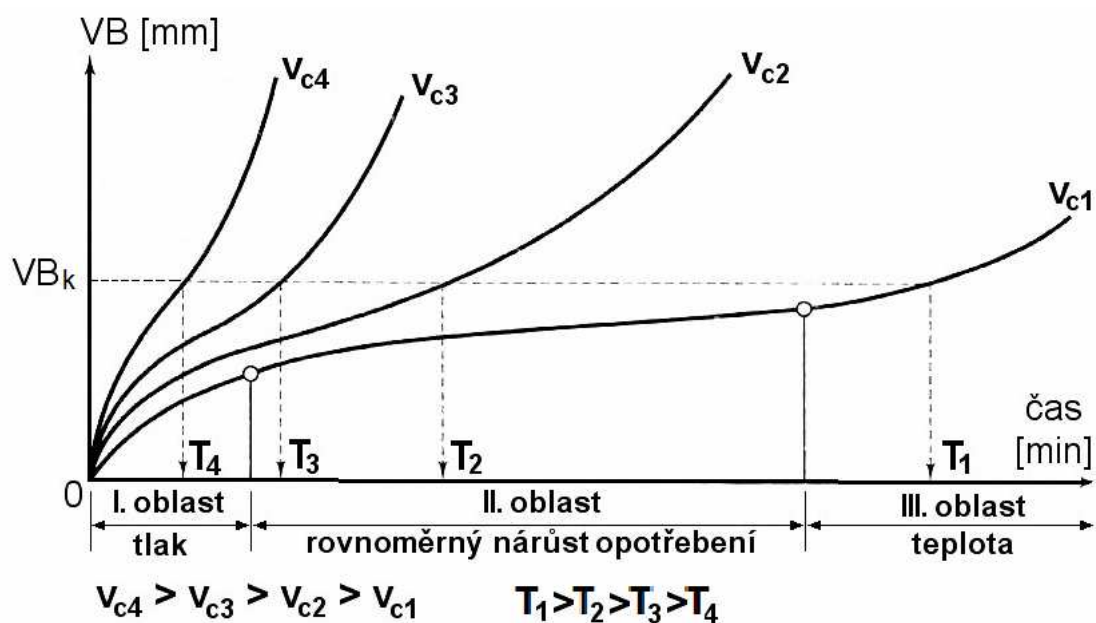
Obr. 4.4 Relace kvality rezných materiálů [3].

4.3 Stanovení $T - v_c$ závislosti

Postup při stanovování základní $T-v_c$ závislosti pro konkrétní kombinaci řezný nástroj - obráběný materiál vychází z definice trvanlivosti. Za ostatních konstantních řezných podmínek je daný materiál obráběn daným nástrojem minimálně při čtyřech různých řezných rychlostech, přičemž se sleduje časový nárůst opotřebení nástroje VB , který se vynáší do závislosti $VB=f(t)$ [7].

Aby bylo dosaženo rovnoměrné rozložení jednotlivých bodů pro konstrukci $T-v_c$ závislosti, volí se řezné rychlosti podle řady R20. Tuto řadu předepisuje norma ČSN ISO 3685 pro nástroj ze slinutého karbidu, pokud je zapotřebí vyšší rozsah změny řezné rychlosti, volí se podle řady R10 pro keramické nástroje. Při nejvyšší řezné rychlosti nemá trvanlivost klesnout pod hodnotu $T=5$ minut (pro obrábění ušlechtilých drahých materiálů se připouští nižší trvanlivost, ne však pod hodnotou nižší než $T=2$ minuty) [7].

Stanovení trvanlivost bříty T_1, T_2, T_3, T_4 v závislosti na řezných rychlostech $v_{c1}, v_{c2}, v_{c3}, v_{c4}$ pro kritické opotřebení bříty VB_k .



Obr. 4.5 Stanovení trvanlivosti bříty pro dané kritérium opotřebení [8].

5 ŽIVOTNOST, ŘEZIVOST A OPOTŘEBENÍ BŘITU NÁSTROJE

5.1 Životnost nástroje

Životnost nástroje je definována jako součet všech jeho trvanlivostí, nebo také jako celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti, až do jeho vyřazení (nástroje, které lze ostřit jsou vyřazeny v případě, že byla odbroušena celá jejich funkční část, vyměnitelné břitové destičky v případě, že byly použity všechny jejich břity). Z tohoto hlediska lze tedy životnost přebroušovaného nástroje vyjádřit vztahem[2]:

$$Z = \sum T_i = (x + 1) \cdot T \quad [\text{min}] \quad (5.1)$$

T_i [min] - jednotlivé trvanlivosti.

T [min] - aritmetický průměr hodnot T_i .

x [-] - počet možných ostření nástroje.

Pro nástroj s mechanicky upínanými vyměnitelnými břitovými destičkami se životnost stanoví podle vztahu [2]:

$$Z = \sum T_i = q \cdot T \quad [\text{min}] \quad (5.2)$$

T_i [min] - trvanlivosti jednotlivých ostří destičky.

T [min] - aritmetický průměr hodnot T_i .

q [-] - počet použitelných ostří destičky.

5.2 Řezivost nástroje

Řezivost obráběcího nástroje se vztahuje k druhu řezného materiálu. Vlastnosti řezného materiálu se posuzují dle jeho vývoje a použití. Řezivost představuje souhrn vlastností, které vyjadřují schopnost řezného materiálu řezat obráběný materiál za fyzikálních podmínek, které jsou pro řezání charakteristické. Úzce to souvisí s fyzikálními a mechanickými vlastnostmi nástroje, ale i s dalšími jako je metoda obrábění, geometrie, řezné parametry a povlak nástroje. Z různých podmínek práce vyplívají i různé požadavky na nástrojové materiály. Aby měl nástroj vysokou životnost a trvanlivost, je nutné volit druh řezného materiálu na základě hlubších poznání jevů probíhajících v zóně řezání. Jednoduchým kritériem je $T-v_c$ závislost. Obecně má lepší řezivost ten nástrojový materiál, který dosahuje vyšší hodnoty konstanty C_v a nižší hodnotu exponentu m [10].

5.3 Opotřebení břitu nástroje

Opotřebení úzce souvisí s trvanlivostí a životností břitu nástroje, je to běžný důsledek funkcí všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném kontaktu a relativním pohybu. Opotřebení je postupně probíhající proces, 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 [3].

Proces opotřebení nástroje je velmi složitý děj, který závisí na mnoha faktorech (fyzikální a zejména mechanické vlastnosti obráběného a nástrojového materiálu, druh obráběcí operace, geometrie nástroje, pracovní podmínky, řezné prostředí, atd.)

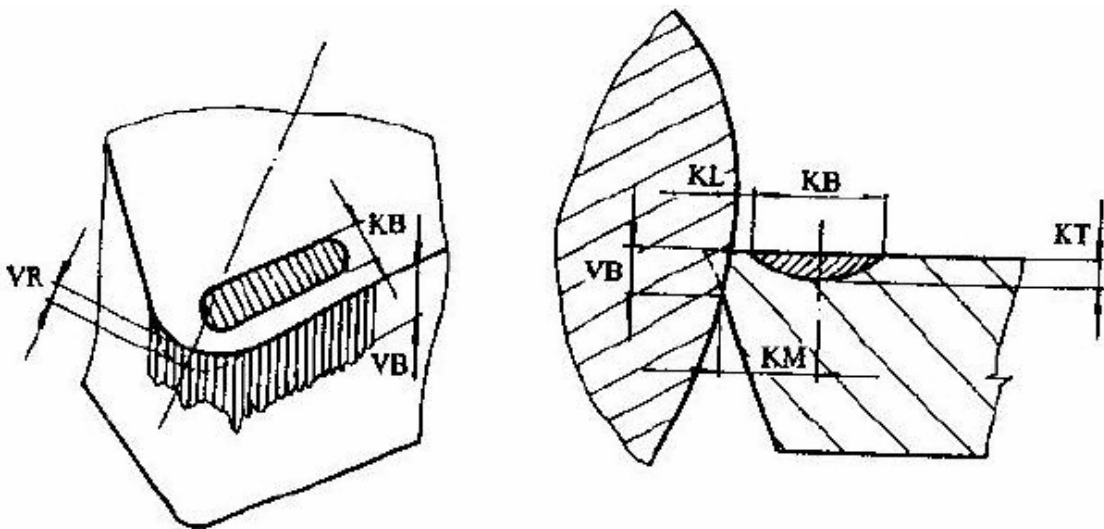
V průběhu opotřebení působí mnoho různých fyzikálně-chemických jevů (mechanizmů opotřebení), k základním mechanizmům opotřebení patří [7] :

- **Abraze** - brusný otěr vlivem tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje.
- **Adheze** - vznik a okamžité následné porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky, v důsledku vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých styčných povrchů.
- **Difúze** - migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak, a z ní vyplývající vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje.

- **Oxidace** - vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí.
- **plastická deformace** - důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení, kumulovaného v čase.
- **křehký lom** - důsledek vysokého mechanického zatížení, např. přerušovaný řez, nehomogenity a vměstky v obráběném materiálu.

5.3.1 Kritéria opotřebení

Opotřebení břitu obráběcího nástroje lze definovat následujícími kritérii (délkové charakteristiky, objem a hmotnost opotřebeného materiálu břitu).



Obr. 5.1 Délkové charakteristiky otupení břitu [11].

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

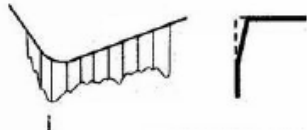







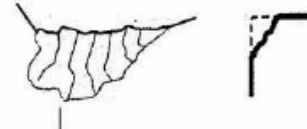
5.3.2 Jednotlivé druhy opotřebení VBD

Při zvětšeném pohledu na břit nástroje můžeme posoudit, jaké opotřebení jsou na něm viditelná a můžeme kontrolovat vhodnost trvanlivosti, její spolehlivost a dokonce i možnost jejího prodloužení.

Pro každý proces obrábění existuje optimální průběh opotřebení. Správný nástroj a odpovídající rezné podmínky, kvalifikovaná odborná pomoc, vlastní zkušenost, dobrá jakost materiálu obrobku a dobré podmínky pro obrábění jsou důležitými předpoklady pro vznik optimálního průběhu opotřebení [1].

V tabulce 5.1 jsou uvedeny jednotlivé druhy opotřebení tak, jak je uvádí ve své literatuře firma Sandvik Coromant.

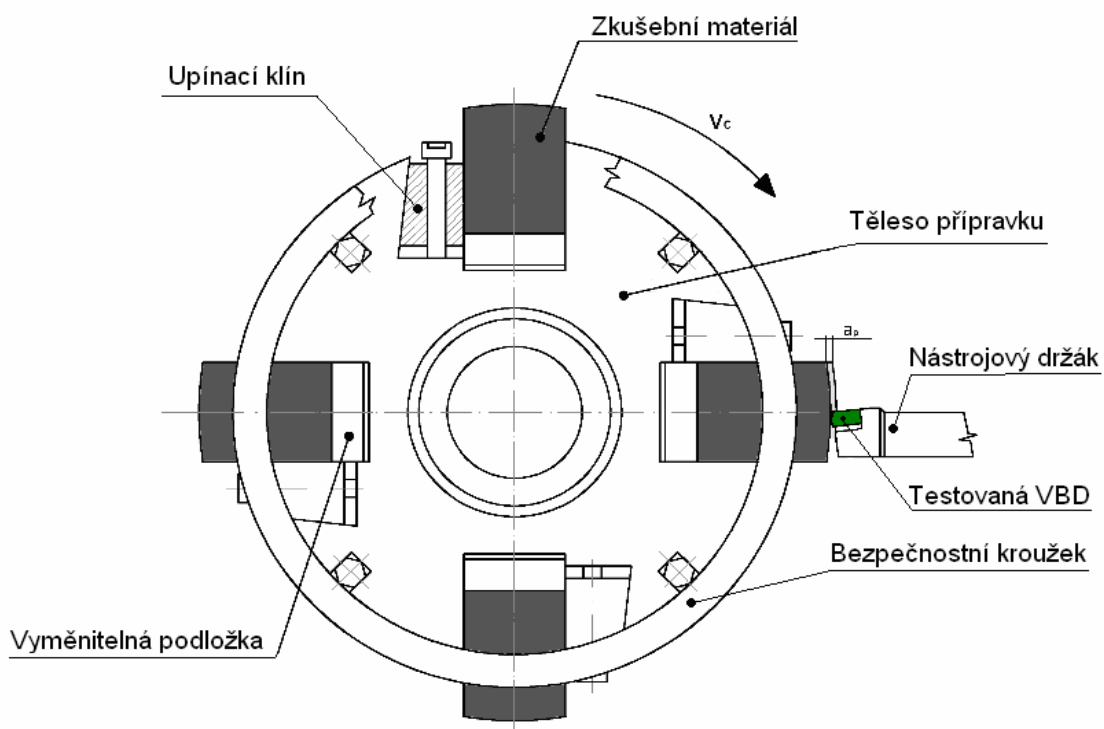
Tab. 5.1 Ukázka jednotlivých druhů opotřebení [12].

<p>Opotřebení hřbetu břitu</p> 	<p>Opotřebení ve tvaru žlábků na čele břitu</p> 	<p>Vydrolení ostří</p> 
<p>Plastická deformace břitu</p> 	<p>Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu</p> 	<p>Tvoření nárustku</p> 
<p>Hřebenovitě trhliny na ostří</p> 	<p>Únavový lom</p> 	<p>Lom břitu nástroje</p> 

6 EXPERIMENTÁLNÍ TESTOVÁNÍ NÁSTROJŮ

6.1 Test VBD podélným soustružením (lišťový test)

Pro uskutečnění tohoto testu potřebujeme speciální přípravek, který je upnutý do sklíčidla soustruhu a podepřen upraveným hrotem ustaveným v pinole koníku. Základní konstrukci speciálního přípravku tvoří válec, ve kterém jsou vyfrézovány 4 drážky o rozměru 60 x 48 mm v délce 600 mm, do vyfrézovaných drážek se ukládají lišty a upínají se pomocí sady upínacích klínů viz. (Obr. 6.1).



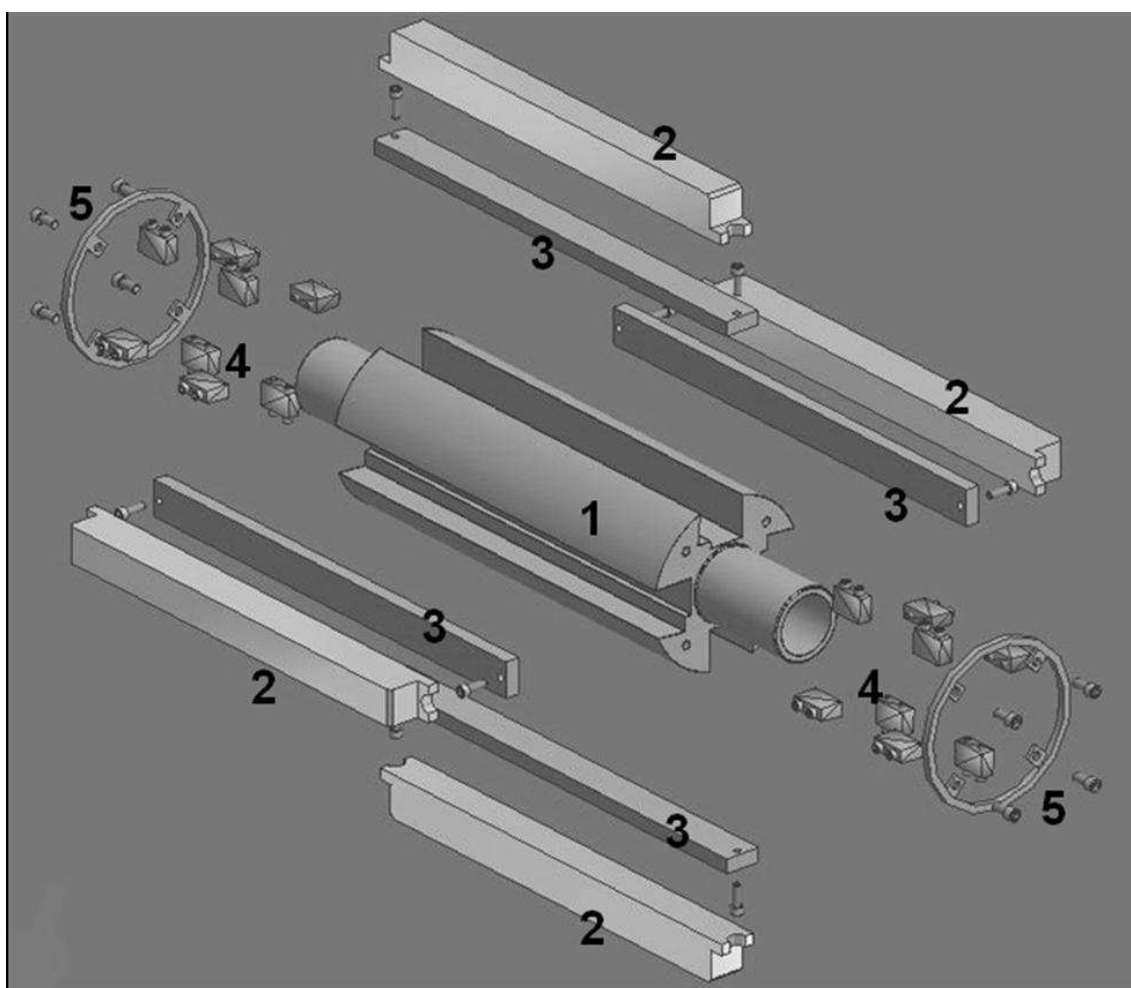
Obr. 6.1 Schéma přípravku pro podélné soustružení [15].

Tento přípravek byl zhotoven v rámci řešení grantového projektu GAČR č.101/93/0129 v laboratořích Katedry obrábění a montáže [13]. Testovaný nástroj se při této zkoušce posouvá v podélném směru od hrotu ke sklíčidlu obráběcího stroje. Během jedné otáčky je břit VBD vystaven 4 rázům při vnikání do obráběných lišt. Po konstrukční stránce byl přípravek navržen svými autory pro řeznou rychlost v rozsahu $v_c = \text{do } 900 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, což pokrývá oblast použití SK a celý rozsah řezné keramiky [14]. Pro realizaci experimentů za účelem testování při vyšších řezných rychlostech je nutné zajistit dynamické vyvážení a zajištění vyměnitelných podložek proti uvolnění odstředivými silami při vysokých otáčkách vřetene [1].

6.1.1 Konstrukce přípravku

Pro testování je nezbytně nutné celý přípravek upnout do soustruhu, uložit do něj lišty z testovaného materiálu a hlavně připravit a zajistit tuhé upnutí jednotlivých lišt. Jednotlivé lišty z obráběného materiálu 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 [1].

Celková konstrukce a popis jednotlivých dílů přípravku je na (obr. 6.2).



Obr. 6.2 Schéma rozloženého přípravku [16].

1. *Tělo přípravku* – válec, ve kterém jsou vyfrézovány 4 drážky do kterých se ukládají lišty s vyměnitelnými podložkami. Jedna strana drážky je vyfrézována pod úhlem, aby pomocí klínu mohlo dojít k pevnému upnutí lišty.
2. *Obráběné lišty* – jsou to vyměnitelné obrobky z určitého materiálu o daných vlastnostech.
3. *Vyměnitelné podložky* – podložky, které se umísťují pod vyměnitelné lišty, zajišťují konstantní zachování řezné rychlosti. Podložky mají na svém konci

šrouby z důvodu odstranění možných vibrací, které vznikají při nedokonalém upnutí obráběných lišt.

4. *Upínací klíny* – slouží pro upnutí obráběné lišty, na jednu lištu se používají 4 klíny. Klín je opatřen dvěma šrouby, díky kterým se získává síla přenášená třením mezi klíny a obrobkem.
5. *Pojistné kroužky* – jsou našroubovány z obou stran přípravku a slouží k zamezení, při nedostatečném upnutí lišt, zranění pracovníka nebo k jiným materiálním škodám, ke kterým by mohlo dojít vlivem odstředivé síly.

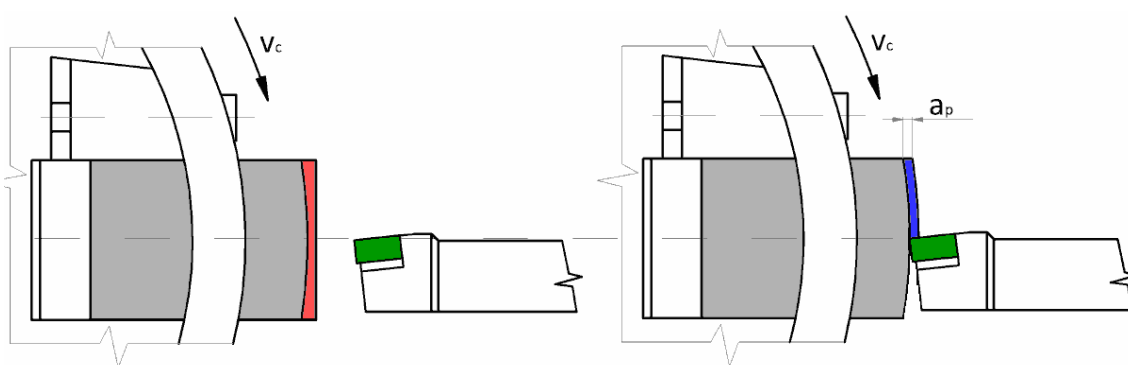


Obr. 6.3 Fotografie z přípravy přípravku.

6.1.2 Potřebná úprava lišt před vlastním měřením

Před testem je nutné odřezat (odsoustružit) první hloubku třísky, aby byla zajištěna konstantní velikost třísky a_p viz (obr. 6.4). Touto jednoduchou úpravou zajistíme i vyvážení proti rozkmitání soustavy, protože vzdálenost lišt bude od středu konstantní. Tato první tříska není ve výsledcích měření uvedena [1].

Po odřezání třísky jsou lišty radiálně podkládány speciálními distančními podložkami, takže obrábění probíhá na relativně stejném průměru, který se mění pouze v malém rozsahu přibližně 5%. Po daných úpravách je přípravek připraven a může probíhat vlastní testování VBD.



Obr. 6.4 Úprava lišt před začátkem měření [15].

6.2 Materiál vyměnitelných lišt

Materiál obrobku jsme zvolili ocel 15 128 (13MoCrV6) jedná se o ocel se zvláštními vlastnostmi pro práci za vyšších teplot, žárovevná pro namáhání při zvýšených teplotách v oblasti meze kluzu i meze tečení.

Tab. 6.1 Mechanické vlastnosti oceli 15 128 (13MoCrV6)

Mechanické vlastnosti	Rp 0,2 [MPa]	Rm [MPa]	A5 [%]	Tvrdost [HB]	E [GPa]
15 128 (13MoCrV6)	294	470-640	17	135-183	214

Tab. 6.2 Chemické složení oceli 15 128 (13MoCrV6)

C	Mo	Mn	Si	P	S	V	Cr	Al
0,1-0,18	0,4-0,6	0,45-0,7	0,15-0,4	do 0,04	do 0,04	0,22-0,35	0,05	0,025

6.3 Volba obráběcího stroje

Zvolili jsme stroj který je umístěn v laboratořích Katedry obrábění a montáže, jedná se o stroj bulharské výroby soustruh CMM SLIVEN viz (obr. 6.5). Soustruh je po generální opravě převodovky a je osázen komponenty pro plynulou změnu otáček. Této schopnosti bude v experimentu využito pro dodržení konstantních řezné rychlosti při změně průměru obráběných lišt. Výkon elektromotoru stroje je 6 kw, a dosahuje maximálně 2000 ot.min⁻¹.



Obr. 6.5 Obráběcí stroj CMM Sliven

6.4 Řezná geometrie

Všechny druhy destiček, které budeme testovat 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 [17]. Zvolené 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. 6.6 Nástrojový držák CSRNR 25x25M12- K

6.5 Testované materiály VBD

Materiály VBD z řezné keramiky byli zvoleny od výrobce SANDVIK Coromant. Testovali jsme 4 druhy VBD (CC6190, CC650, CC620, CC670) bližší popis viz tab. 6.3. Jedná se o destičky normalizovaného tvaru SNGN 120716.

Tab. 6.3 Zvolená řezná keramika od výrobce SANDVIK [18].

Destičky	Třída	Složení	Vlastnosti
6190	K	CN	Keramika z čistého nitridu křemíku s dobrou odolností proti opotřebení při vysokých teplotách. Doporučuje se pro hrubování až dokončování litin při vysokých řezných rychlostech a za dobrých podmínek. Odolává i občasnému přerušování řezu.
650	H , K	CM	Směsná keramika na bázi Al_2O_3 . Dobré tepelné vlastnosti a odolnost proti opotřebení. Doporučuje se zejména pro lehké nepřerušované řezy při dokončování. Dále se doporučuje pro dokončování šedé litiny a tvrzené litiny při vysokých rychlostech a za stabilních podmínek.
620	K	CA	Keramika 'čistě' na bázi Al_2O_3 . Doporučena pro dokončování šedé litiny při vysokých řezných rychlostech za stabilních podmínek a zasucha.
670	S , H	CA	Keramika na bázi oxidu hlinitého vyztužená vlákny (whiskery) karbidu křemíku má vynikající objemovou houževnatost. Doporučuje se především pro soustružení tepelně odolné slitiny a tvrzených součástí za nepříznivých pracovních podmínek.

Složení:

CN - Nitridová keramika obsahuje převážně nitrid křemíku (Si_3N_4).

CM - Smíšená keramika především z oxidu hlinitého (Al_2O_3). Obsahuje ovšem i jiné složky než oxidy.

CA - Oxidová keramika obsahující převážně oxid hlinitý (Al_2O_3).

Třídy:

K – Litina, tvrzená litina, temperovaná litina.

H – Tvrzené materiály.

S – Žárovzdorné slitiny a super slitiny.

6.6 Řezné parametry

Před začátkem vlastního měření musíme stanovit a nastavit řezné parametry na použitém obráběcím stroji, tyto parametry volíme s ohledem na doporučení výrobce řezné keramiky a dle zkušeností řešitele. Pro náš přípravek o průměru $D = 260$ mm jsme zvolili řezné parametry viz. (tab. 6.4), obě řezné rychlosti jsou zvoleny dle výpočtu maximální řezné rychlosti a nepřekračují ji.

Tab. 6.4 Použité řezné parametry

Řezné parametry								
Otáčky n [min ⁻¹]	500				660			
Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	408				539			
Posuv f [mm]	0,15	0,20	0,25	0,30	0,15	0,20	0,25	0,30
Hloubka řezu a_p [mm]	1							

6.7 Vyhodnocovací zařízení

Pro vyhodnocení stavu ostří nástroje byl použit mikroskop INTRACOMICRO ten je vybaven digitální kamerou, přídatným studeným světlem, polarizační jednotkou a výstupem do Pc. Počítač je vybaven softwarem IMPOR 5 pro online kótování geometrických parametrů. Všechny testované destičky byly vyfotografovány a zdokumentovány pomocí tohoto mikroskopu ve zvětšení 3 až 5x.



Obr. 6.7 Mikroskop INTRACOMICRO

7 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍHO MĚŘENÍ

7.1 Sledování počtu rázů

Při měření byl hlavním 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 břitů nástroje byla ustanovena limitní hranice 6000 rázů. Zvolená hranice odpovídá přepočtu obrobené délky, při daném posuvu obráběcího nástroje viz (tab. 7.1), v tabulce jsou uvedeny pouze posuvy, které byli použity pro testování VBD [6]. Pokud VBD tuto hodnotu vydrží, bude prováděný experiment ukončen a destička bude označena za vyhovující. Limitní hranice byla zvolena také z důvodu ekonomického charakteru a vede ke snížení nároku na čas a množství obráběného materiálu. Měření se opakuje 3x a na několika vyměnitelných břitových destičkách. Většinou byla destička nasazena maximálně dvakrát (pokud to destrukce prvního břitu dovolila).

Tab. 7.1 Přepočet posuvu a obrobené délky pro hraniční počet rázů

Posuv f [mm]	Obrobená délka l [mm]	Počet rázů R [-]
0,15	225	6000
0,20	300	6000
0,25	375	6000
0,30	450	6000

Počet rázu byl vypočten podle vzorce:

$$R = \frac{n_1 \cdot l}{f} \quad (9.1)$$

R – počet rázů [-]

n_1 – počet lišt v přípravku [-]

f – posuv nástroje [mm]

l – obrobená délka [mm]

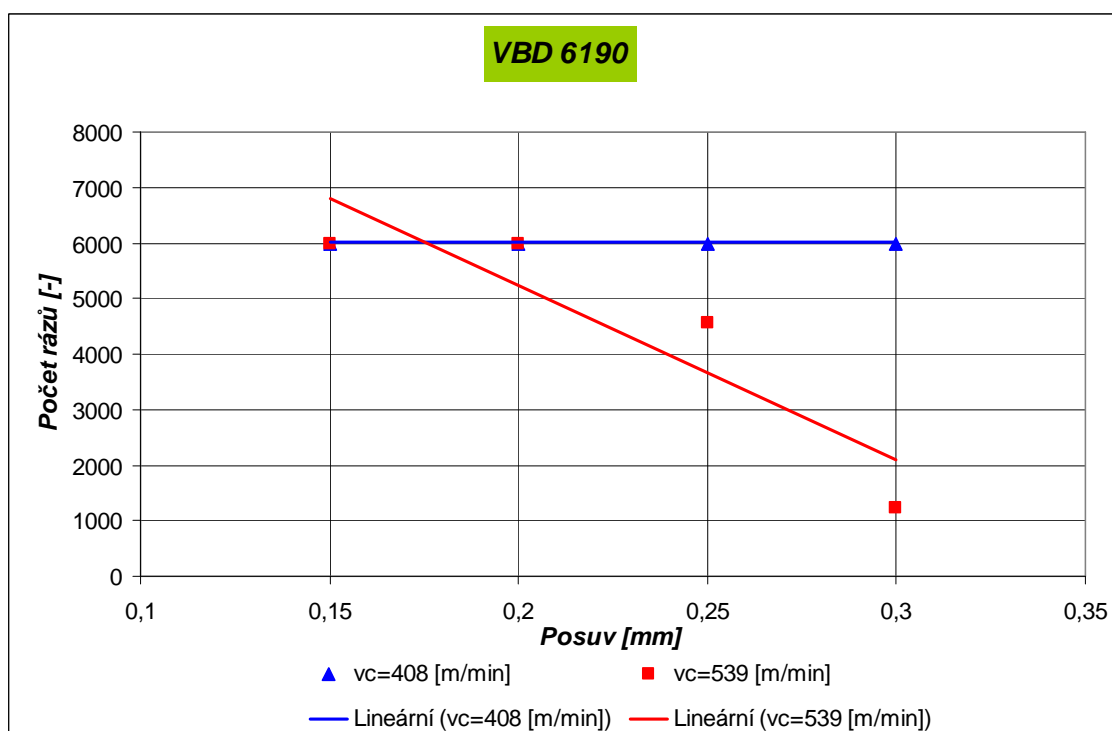
7.2 Zpracování výsledků měření

Obráběné lišty z oceli 15 128 (13MoCrV6) o mechanických vlastnostech viz. Tab. 6.1 by měli mít poměrně dobrou obrobiteľnosť. Hodnoty uvedené v následujících tabulkách jsou aritmetickým průměrem tří měření. Jednotlivé destičky byli při měření označeny čísly, vždy byli měřeny dvě hrany jedné VBD a ty byli označeny jednou a dvěma tečkami. Použité VBD z řezné keramiky značky Sandvik Coromant (6190, 670, 650, 620) jsou v tabulkách a grafech barevně odlišeny pro lepší přehlednost. Uvedený počet rázů v tabulkách je již přepočítán z obrobené délky.

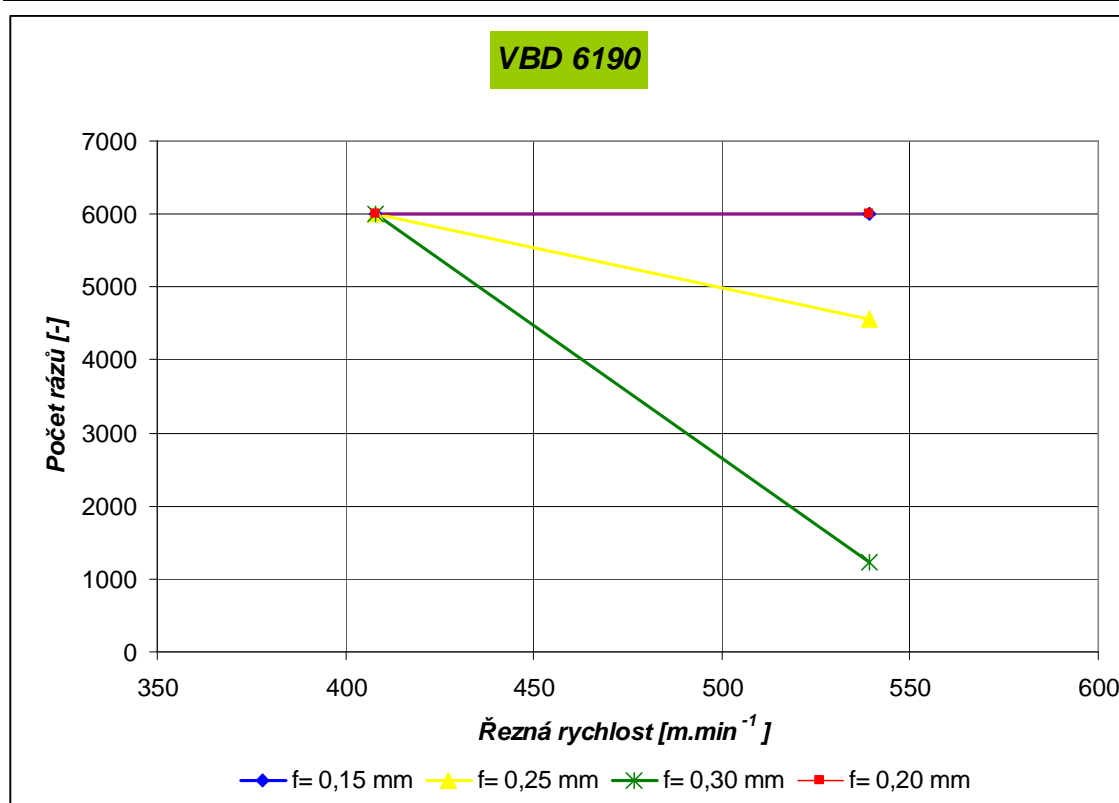
7.2.1 VBD z řezné keramiky 6190

Tab. 7.2 Naměřené hodnoty pro destičky 6190

6190				6190			
n= 500 [min ⁻¹], v _c = 408 [m.min ⁻¹], a _p = 1 [mm]				n= 660 [min ⁻¹], v _c = 539 [m.min ⁻¹], a _p = 1 [mm]			
VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]	VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]
1 ●	0,15	225	6000	3 ●	0,15	225	6000
1 ● ●	0,20	300	6000	3 ● ●	0,20	300	6000
2 ●	0,25	375	6000	4 ●	0,25	285	4560
2 ● ●	0,30	450	6000	4 ● ●	0,30	93	1240



Obr. 7.1 Závislost počtu rázů na posuvu



Obr. 7.2 Závislost počtu rázů na řezné rychlosti

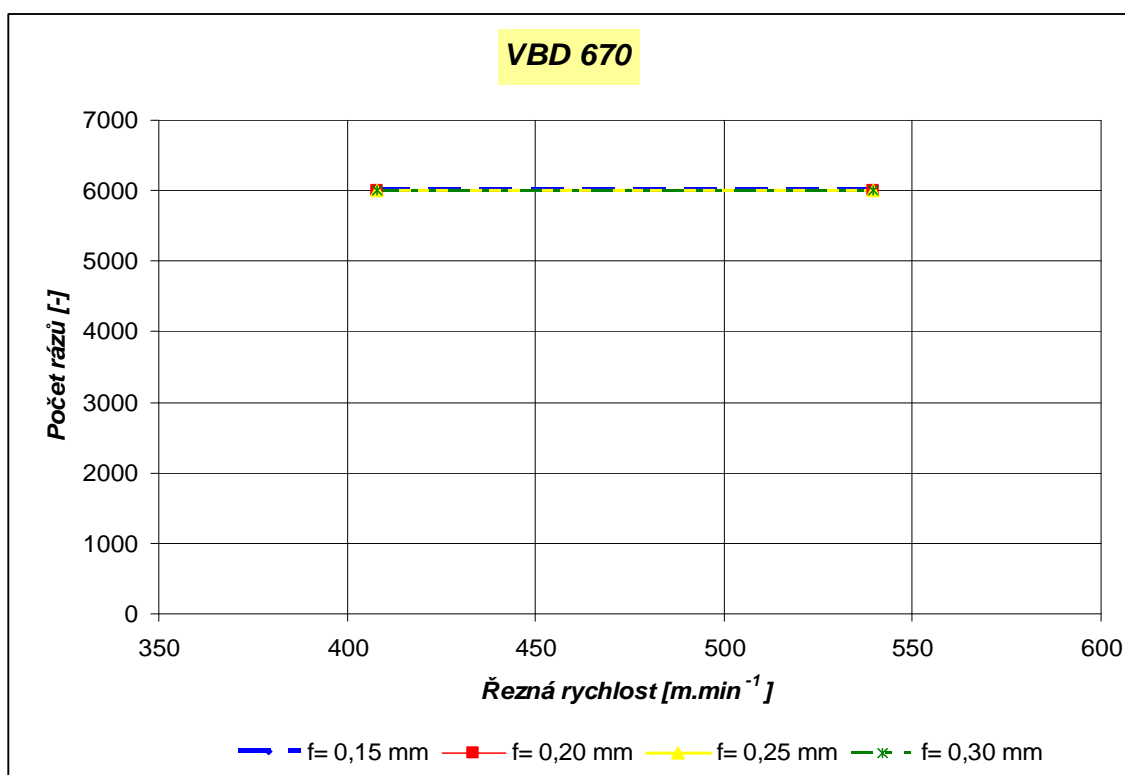
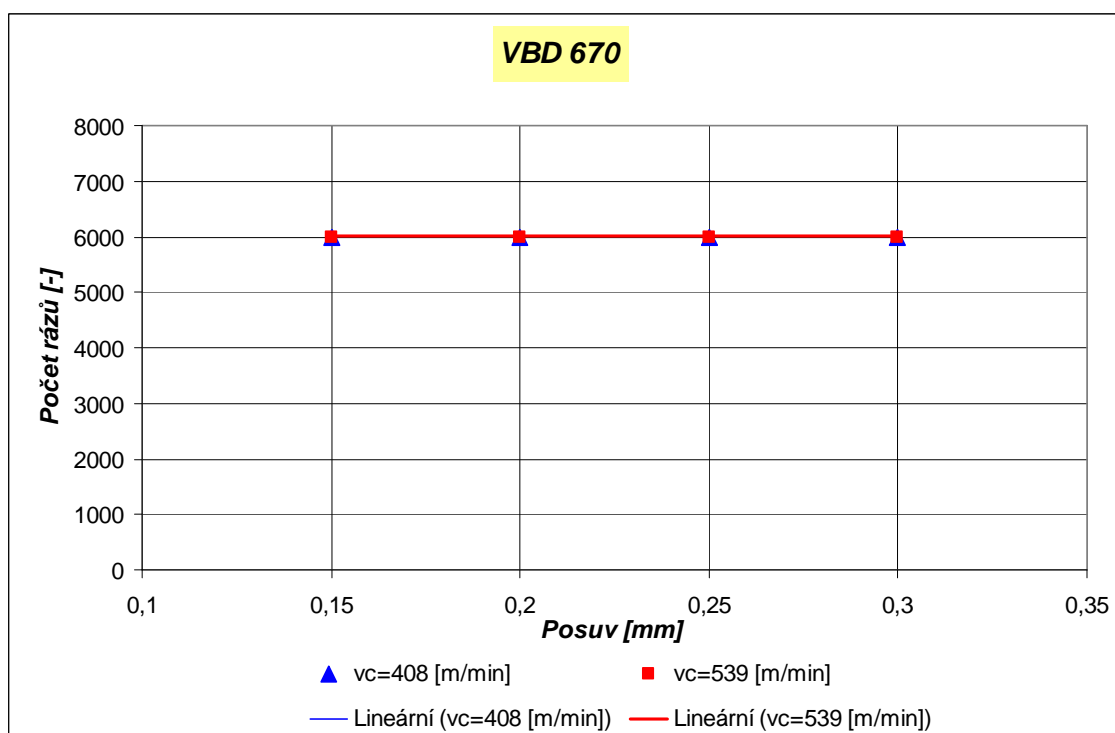
Z grafu 7.1 je zřejmé, že počet rázů VBD 6190 při nižší řezné rychlosti dosáhl limitní hodnoty pro všechny posuvy. Při řezné rychlosti $v_c=539 \text{ m.min}^{-1}$ a zvyšujícím se posuvem destičky vydrží menší počet rázů.

Na grafu 7.2 vidíme, že při nižších posuvech vydrží břit nástroje více rázů. Při posuvu $f=0,15 \text{ mm}$ a $f=0,20 \text{ mm}$ je počet rázů maximální, začne klesat s rostoucím posuvem.

7.2.2 VBD z řezné keramiky 670

Tab. 7.3 Naměřené hodnoty pro destičky 670

670				670			
$n=500 \text{ [min}^{-1}], v_c=408 \text{ [m.min}^{-1}], a_p=1 \text{ [mm]}$				$n=660 \text{ [min}^{-1}], v_c=539 \text{ [m.min}^{-1}], a_p=1 \text{ [mm]}$			
VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]	VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]
1 ●	0,15	225	6000	3 ●	0,15	225	6000
1 ● ●	0,20	300	6000	3 ● ●	0,20	300	6000
2 ●	0,25	375	6000	4 ●	0,25	375	6000
2 ● ●	0,30	450	6000	4 ● ●	0,30	450	6000

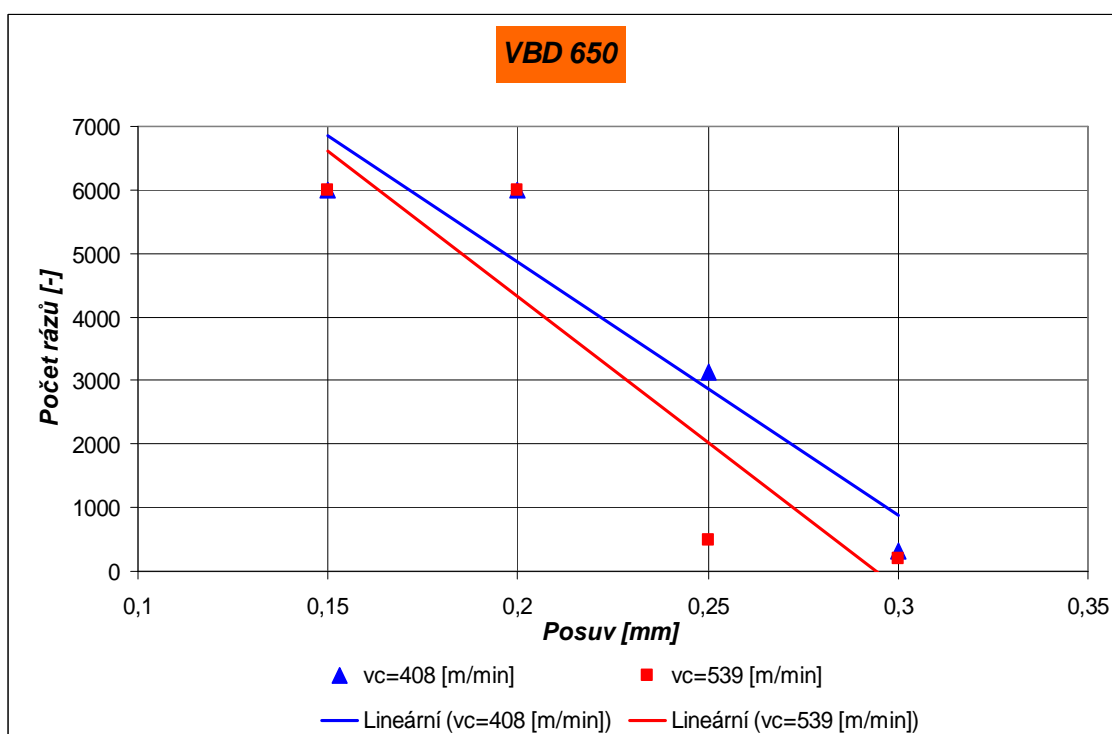


Z grafu 7.3 a 7.4 jde vidět, že VBD 670 při obou řezných rychlostech a veškerých posuvech dosáhly limitní hranice počtu rázů. To znamená, že mají vysokou odolnost a schopnost vykonávat přerušovaný řez a to díky jejich složení.

7.2.3 VBD z řezné keramiky 650

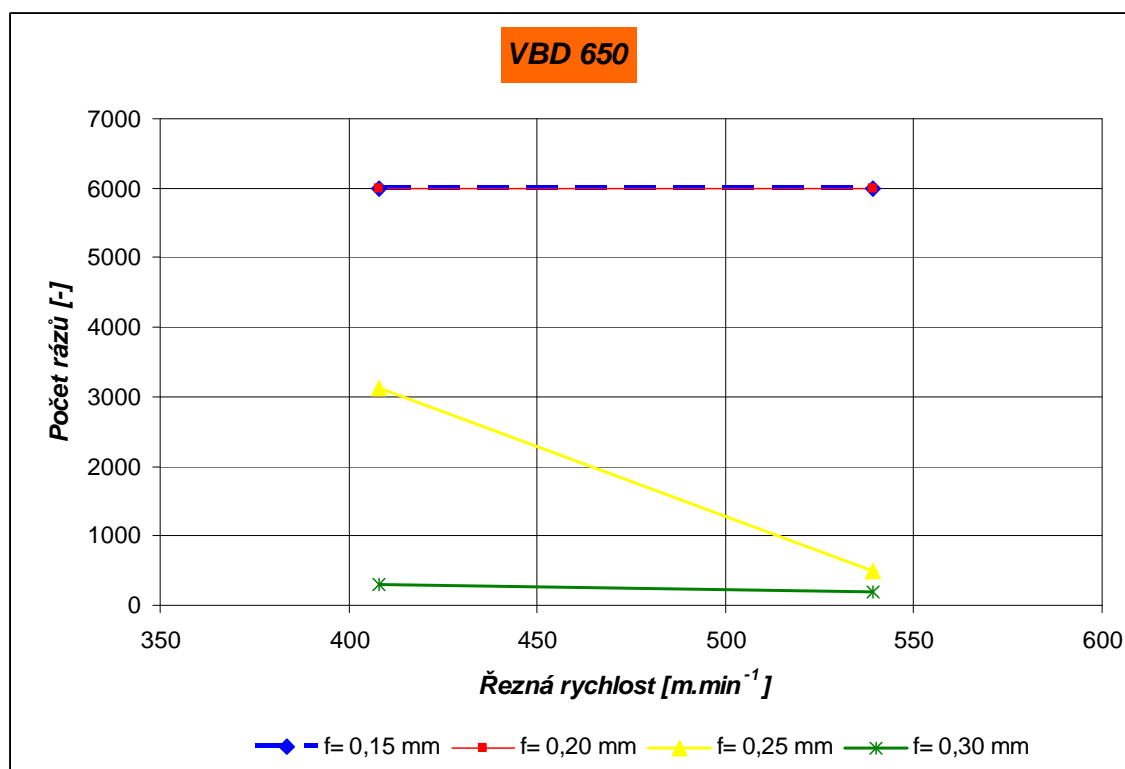
Tab. 7.4 Naměřené hodnoty pro destičky 650

650				650			
n= 500 [min ⁻¹], v _c = 408 [m.min ⁻¹], a _p = 1 [mm]				n= 660 [min ⁻¹], v _c = 539 [m.min ⁻¹], a _p = 1 [mm]			
VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]	VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]
1 ●	0,15	225	6000	3 ●	0,15	225	6000
1 ● ●	0,20	300	6000	3 ● ●	0,20	300	6000
2 ●	0,25	196	3136	4 ●	0,25	31	496
2 ● ●	0,30	23	307	4 ● ●	0,30	14	187



Obr. 7.5 Závislost počtu rázů na posuvu

Z grafu 7.5 je patrné, že odolnost počtu rázů vyměnitelných břitových destiček klesá s rostoucí hodnotou posuvu. Dále vidíme, že při vyšší řezné rychlosti $v_c=539$ m.min⁻¹ vydrží menší počet rázů než při nižší řezné rychlosti.



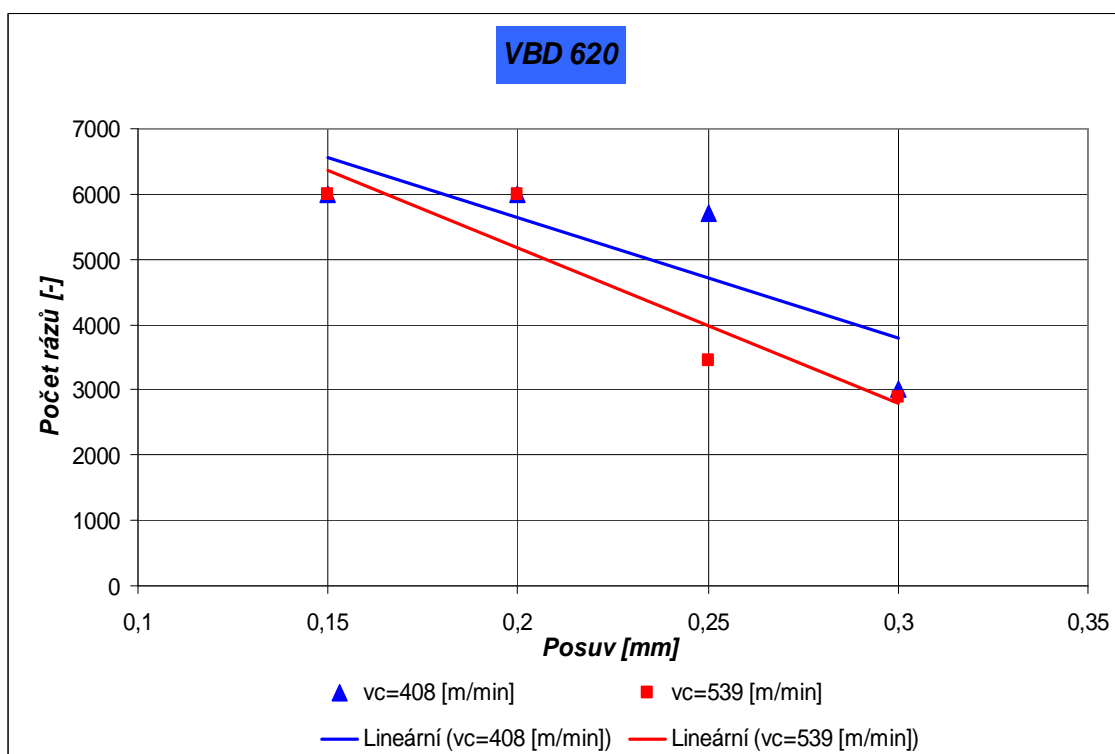
Obr. 7.6 Závislost počtu rázů na řezné rychlosti

Na obrázku 7.6 vidíme, že VBD 650 při nízkém posuvu mají vysokou odolnost, ale při zvýšení řezné rychlosti a posuvu odolnost prudce klesá.

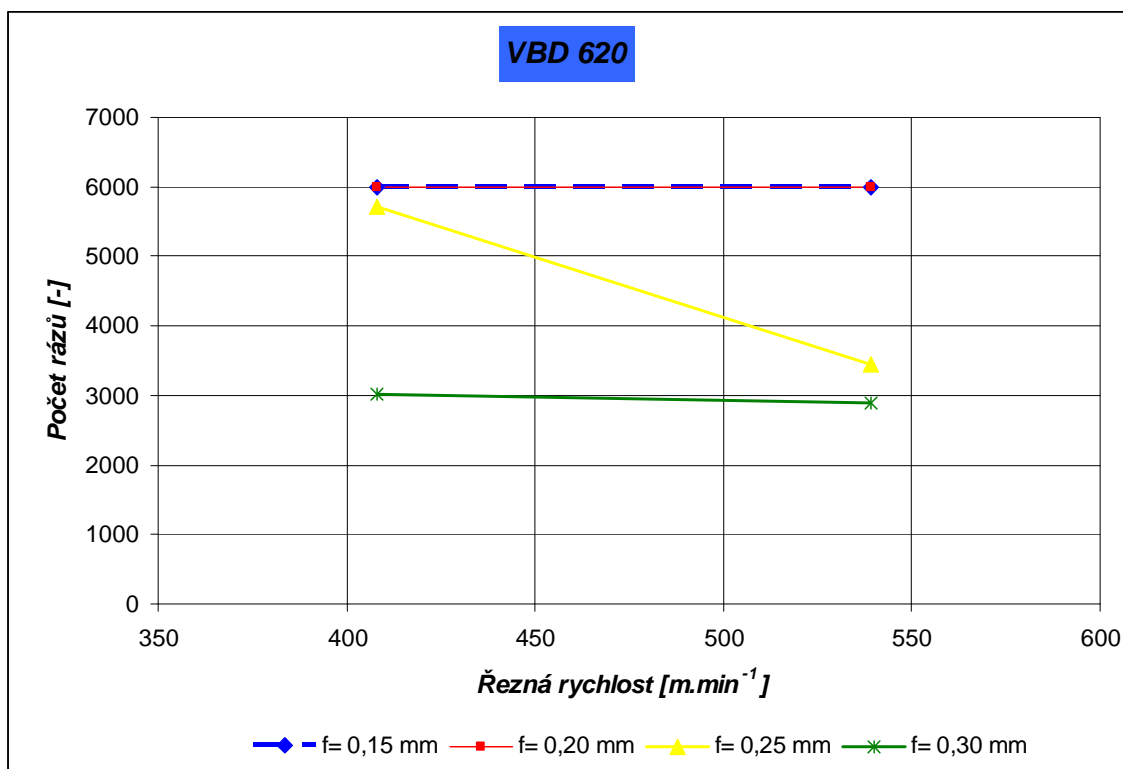
7.2.4 VBD z řezné keramiky 620

Tab. 7.5 Naměřené hodnoty pro destičky 620

620				620			
n= 500 [min ⁻¹], v _c = 408 [m.min ⁻¹], a _p = 1 [mm]				n= 660 [min ⁻¹], v _c = 539 [m.min ⁻¹], a _p = 1 [mm]			
VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]	VBD	f [mm]	l [mm]	R [-]
1 ●	0,15	225	6000	3 ●	0,15	225	6000
1 ● ●	0,20	300	6000	3 ● ●	0,20	300	6000
2 ●	0,25	357	5712	4 ●	0,25	215	3440
2 ● ●	0,30	226	3013	4 ● ●	0,30	217	2893



Obr. 7.7 Závislost počtu rázů na posuvu

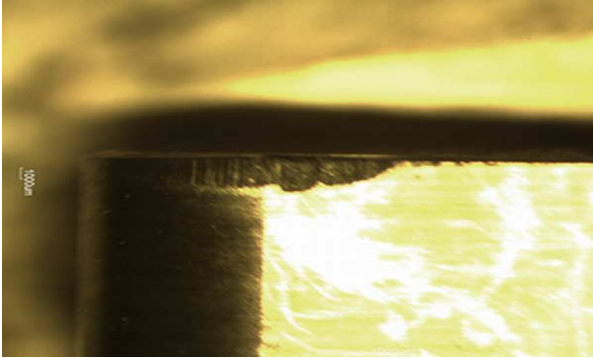





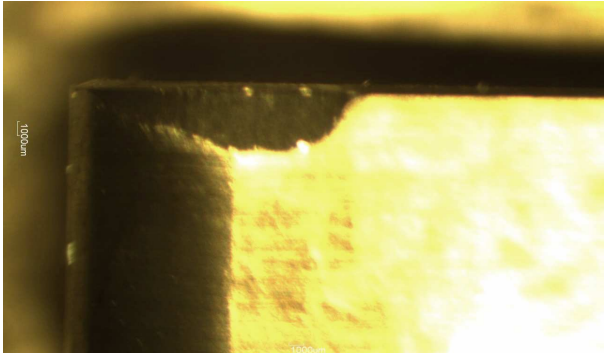
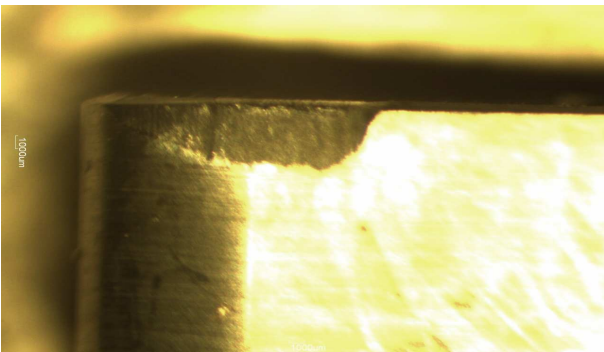



Obr. 7.8 Závislost počtu rázů na řezné rychlosti

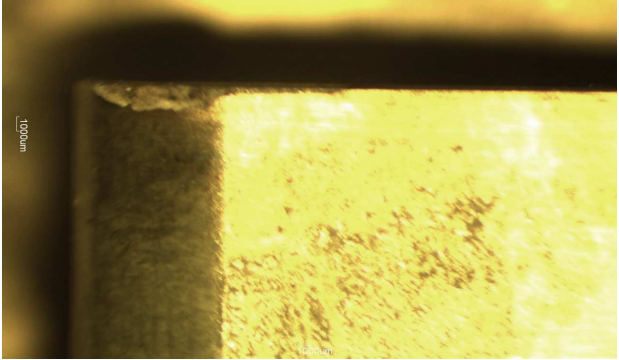
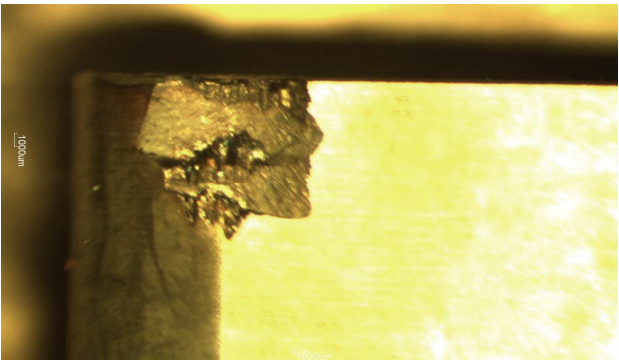

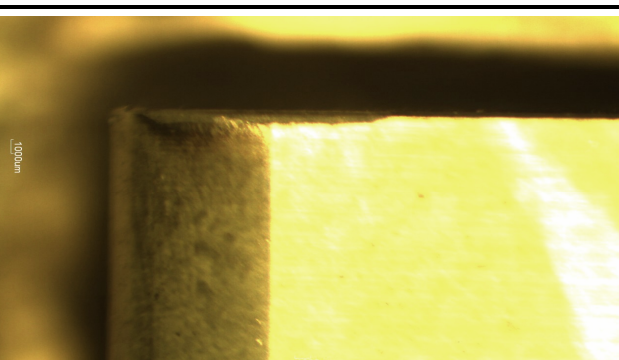

Z grafu 7.7 a 7.8 vyplývá, že VBD z řezné keramiky 620 mají velice podobný vývoj grafu jako destičky 650, ale při vyšších posuvech destičky 620 vydrží větší počet rázů než destičky 650.


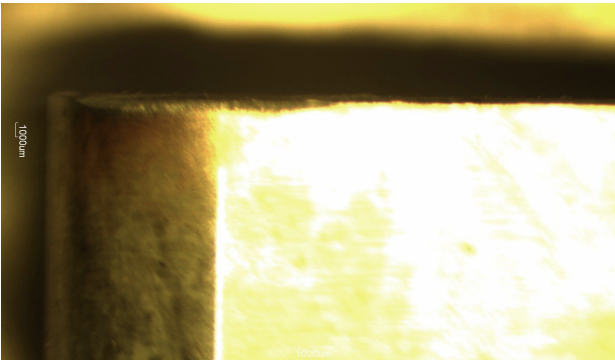

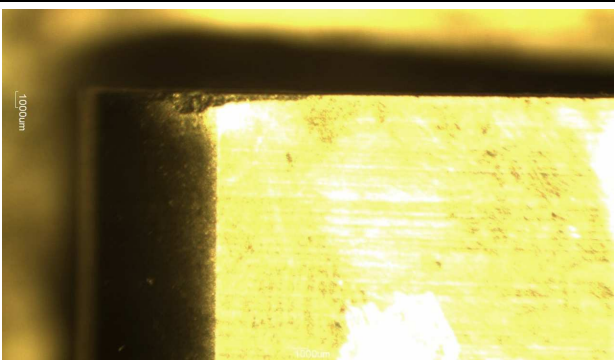
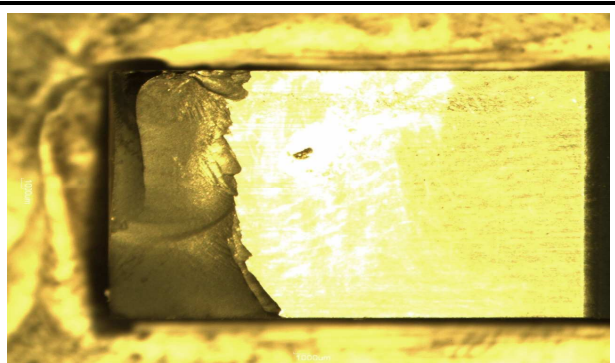
7.3 Fotografie opotřebení jednotlivých druhů VBD

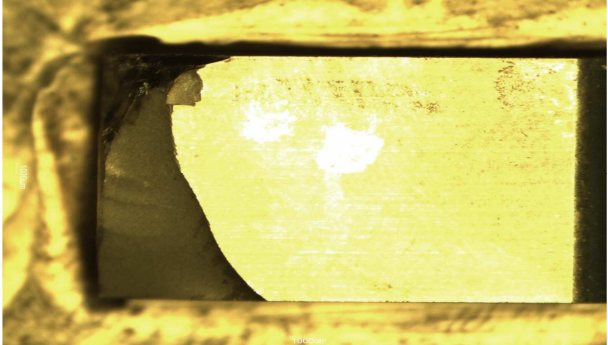
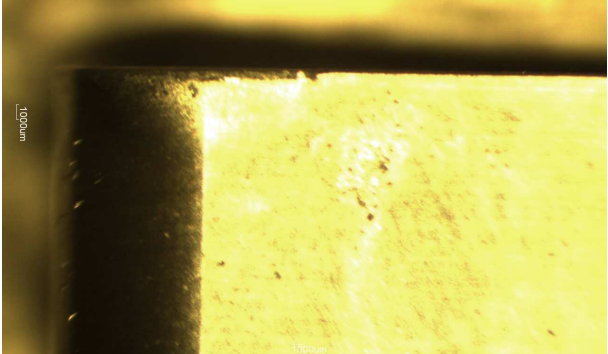


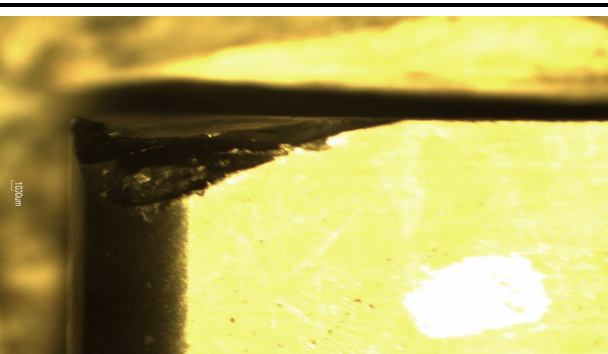
Tab. 7.6 Fotografie opotřebení VBD firmy Sandvik Coromant

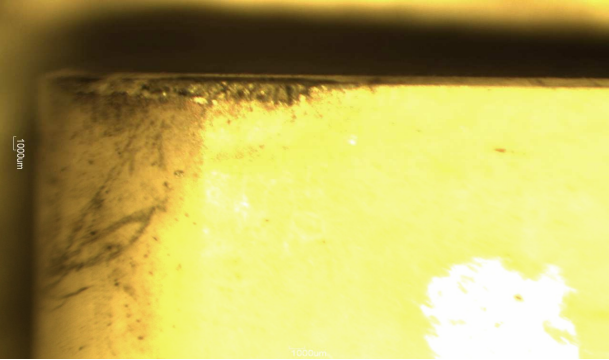
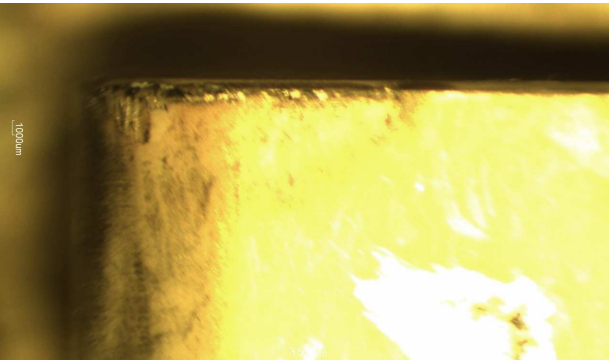
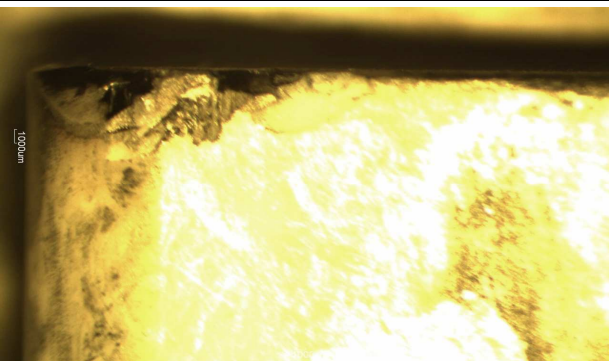
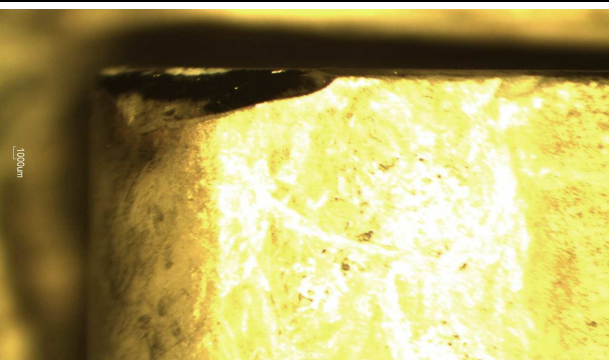

<p>VBD 6190</p> <p>1 ●</p> <p>$v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,15 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p>VBD 6190</p> <p>1 ● ●</p> <p>$v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,20 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p>VBD 6190</p> <p>2 ●</p> <p>$v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,25 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p>VBD 6190</p> <p>2 ● ●</p> <p>$v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,30 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	

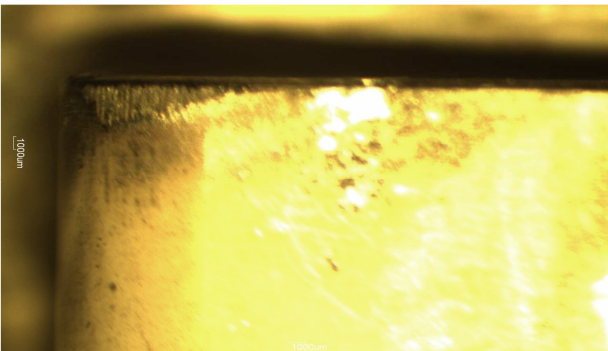
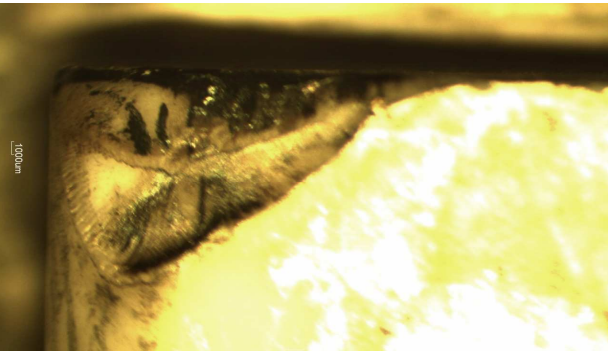
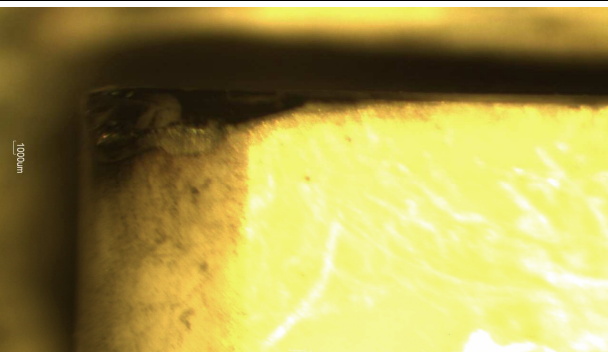
<p>VBD 6190</p> <p>3 ●</p> <p>$v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,15 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p>VBD 6190</p> <p>3 ● ●</p> <p>$v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,20 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p>VBD 6190</p> <p>4 ●</p> <p>$v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,25 \text{ mm}$</p> <p>$R = 4560$</p>	
<p>VBD 6190</p> <p>4 ● ●</p> <p>$v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,30 \text{ mm}$</p> <p>$R = 1240$</p>	
<p>VBD 670</p> <p>1 ●</p> <p>$v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,15 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	

<p>VBD 670</p> <p>1 ● ●</p> <p>$v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,20 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p>VBD 670</p> <p>2 ●</p> <p>$v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,25 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p>VBD 670</p> <p>2 ● ●</p> <p>$v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,30 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p>VBD 670</p> <p>3 ●</p> <p>$v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,15 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p>VBD 670</p> <p>3 ● ●</p> <p>$v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,20 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	

<p style="text-align: center;">VBD 670</p> <p>4 ●</p> <p>$v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,25 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p style="text-align: center;">VBD 670</p> <p>4 ● ●</p> <p>$v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,30 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p style="text-align: center;">VBD 650</p> <p>1 ●</p> <p>$v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,15 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p style="text-align: center;">VBD 650</p> <p>1 ● ●</p> <p>$v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,20 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p style="text-align: center;">VBD 650</p> <p>2 ●</p> <p>$v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,25 \text{ mm}$</p> <p>$R = 3136$</p>	

<p>VBD 650</p> <p>2 ● ●</p> <p>$v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,30 \text{ mm}$</p> <p>$R = 307$</p>	
<p>VBD 650</p> <p>3 ●</p> <p>$v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,15 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p>VBD 650</p> <p>3 ● ●</p> <p>$v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,20 \text{ mm}$</p> <p>$R = 6000$</p>	
<p>VBD 650</p> <p>4 ●</p> <p>$v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,25 \text{ mm}$</p> <p>$R = 496$</p>	
<p>VBD 650</p> <p>4 ● ●</p> <p>$v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$</p> <p>$a_p = 1 \text{ mm}$</p> <p>$f = 0,30 \text{ mm}$</p> <p>$R = 187$</p>	

VBD 620 1 ● $v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,15 \text{ mm}$ $R = 6000$	
VBD 620 1 ● ● $v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,20 \text{ mm}$ $R = 6000$	
VBD 620 2 ● $v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,25 \text{ mm}$ $R = 5712$	
VBD 620 2 ● ● $v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,30 \text{ mm}$ $R = 3013$	
VBD 620 3 ● $v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,15 \text{ mm}$ $R = 6000$	

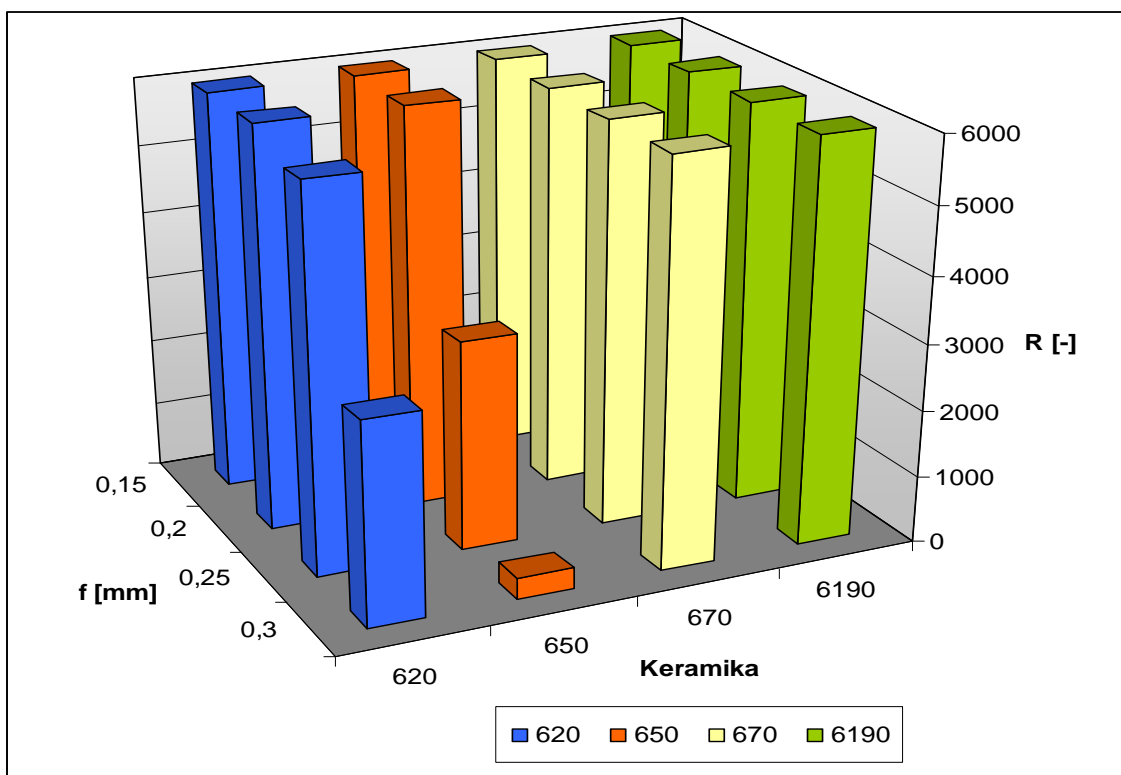
<p style="text-align: center; background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px;">VBD 620</p> <p>3 ● ● $v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,20 \text{ mm}$ $R = 6000$</p>	
<p style="text-align: center; background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px;">VBD 620</p> <p>4 ● $v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,25 \text{ mm}$ $R = 3440$</p>	
<p style="text-align: center; background-color: #0056b3; color: white; padding: 2px;">VBD 620</p> <p>4 ● ● $v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $a_p = 1 \text{ mm}$ $f = 0,30 \text{ mm}$ $R = 2893$</p>	

V tab. 7.6 jsou uvedeny fotografie opotřebení hřbetu nástroje. Fotografie byly pořízeny na mikroskopu Intracomicro ve 3 až 5 násobném zvětšení.

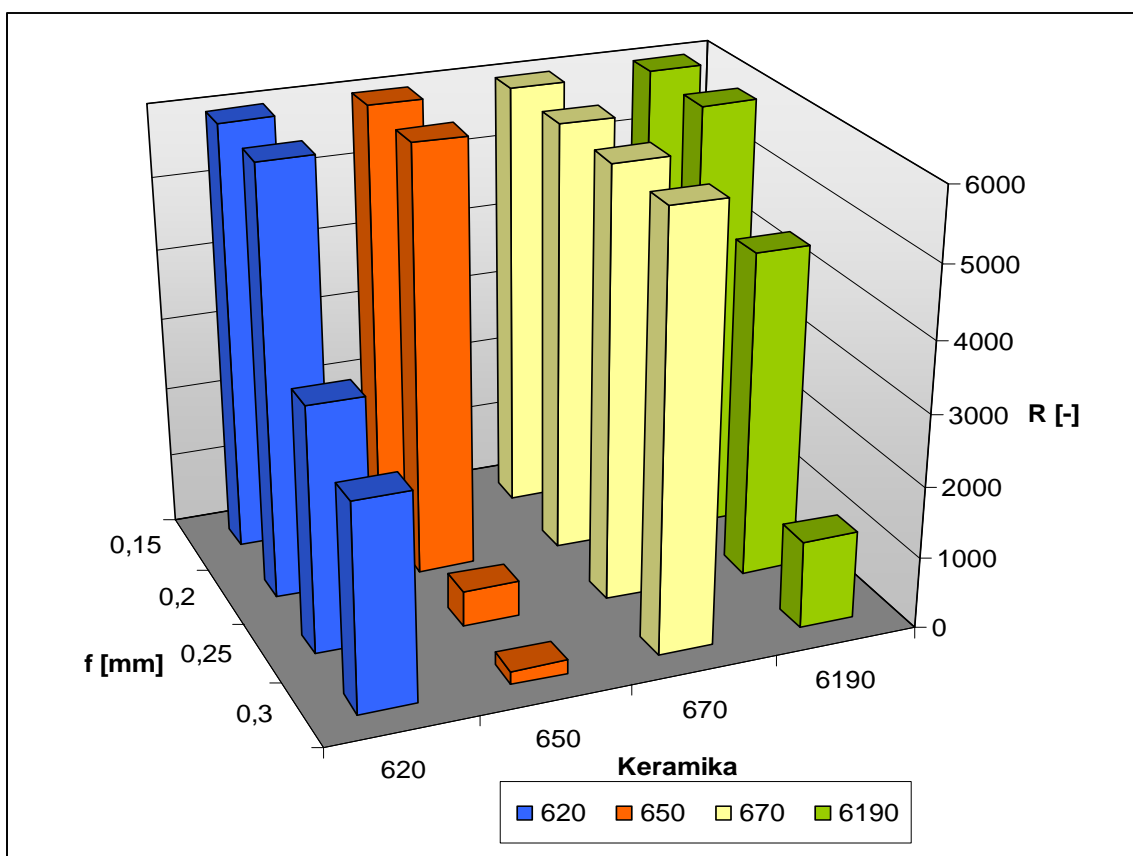
7.4 Porovnání a zhodnocení výsledků

Zpracovali jsme veškeré naměřené hodnoty pro všechny typy keramických řezných destiček od firmy Sandvik Coromant (6190, 670, 650, 620), které byli v bakalářské práci testovány.

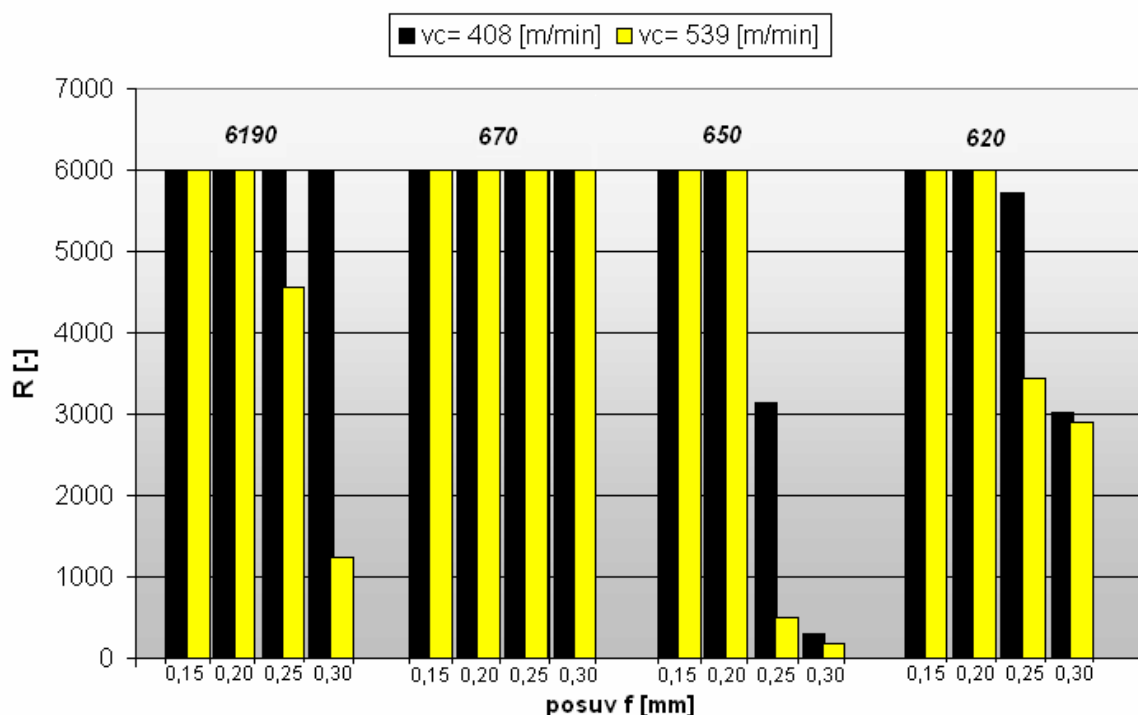
Na následujících grafech (*obr. 7.9, obr. 7.10, obr. 7.11*) jsou vedle sebe přehledně zobrazeny výsledky pro všechny typy keramických řezných destiček. Podle následujících grafů můžeme vzájemně porovnat použité řezné destičky a vyhodnotit, které jsou nejvhodnější pro obrábění přerušovaným řezem. Grafy jsou rozděleny podle řezné rychlosti, kterou bylo obráběno ($v_c = 408 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a $v_c = 539 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$).



Obr. 7.9 Závislost počtu rázů na posuvech pro řeznou rychlost $v_c = 408 \text{ m.min}^{-1}$



Obr. 7.10 Závislost počtu rázů na posuvech pro řeznou rychlost $v_c = 539 \text{ m.min}^{-1}$



Obr. 7.11 Závislost počtu rázů na posuvu pro obě řezné rychlosti

Na obr. 7.11 je uvedeno porovnání závislosti počtu rázů na posuvu pro obě řezné rychlosti ($v_c=408 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a $v_c=539 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) a pro obráběný materiál 15 128. Vidíme, že destičky z řezné keramiky 670 vydržely limitní počet rázů (6000) pro všechny posuvy a obě řezné rychlosti. Z toho vyplývá, že pro přerušovaný řez je z testovaných destiček nejvhodnější.

V těsném závěsu jsou destičky z řezné keramiky 6190, které při nižší řezné rychlosti ($v_c=408 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) vydržely maximální počet rázů pro všechny posuvy, ale při $v_c=539 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ za posuvu (0,25 mm a 0,30 mm) počet rázů prudce klesá. Dle uvedené skutečnosti soudím, že destičky 6190 jsou vhodné pro přerušovaný řez jen při nižších řezných rychlostech.

Další v pořadí jsou destičky 620, které odolaly limitnímu počtu rázů při posuvu (0,15mm a 0,20mm) pro obě řezné rychlosti. Při zvyšujícím se posuvu počet rázů klesá na průměrnou hodnotu 3000 rázů. Destičky 620 by byly vhodné pro přerušovaný řez pouze pro malé posuvy.

A jako nejhorší se nám jeví destičky 650, které při posuvu (0,15mm a 0,20 mm) vydržely maximální počet rázů při obou řezných rychlostech, ale při posuvu (0,25mm a 0,30mm) je jejich schopnost odolávat počtu rázů minimální.

8 ZÁVĚR

Úkolem této bakalářské práce bylo testování VBD z řezné keramiky pro použití při přerušovaném řezu. Experimenty byly prováděny na speciálním přípravku při podélném soustružení, který byl zkonstruován na katedře obrábění a montáže Fakulty strojní VŠB – TU Ostrava v rámci projektu GAČR.

Experiment nám umožnil zjistit chování řezné keramiky a míru vhodnosti použití pro přerušovaný řez za daných řezných podmínek, $a_p = 1$ mm, $v_{c1} = 408$ m.min⁻¹, $v_{c2} = 539$ m.min⁻¹, $f = (0,15; 0,20; 0,25; 0,30)$ mm. Testovány byly 4 druhy řezné keramiky od firmy Sandvik Coromant. Obráběným materiálem lišt byla ocel 15 128 (13MoCrV6). Hlavním sledovaným parametrem byl počet rázů R, který byl přepočten z obrobené délky.

Všechny 4 zvolené druhy řezné keramiky dosáhly limitního počtu (6000) rázů pro obě řezné rychlosti při posuvu $f = 0,15$ mm a $f = 0,20$ mm. Z toho vyplývá, že testované druhy řezné keramiky při nižších posuvech mají dostatečnou odolnost při využití pro přerušovaný řez, ale nelze říct, že se přímo dají „bezpečně“ použít pro přerušovaný řez. Nejvíce vhodná se jeví řezná keramika 670, ta vydržela maximální počet rázů pro všechny posuvy při obou řezných rychlostech, dále jsme zjistili, že opotřebení destiček 670 po měření není zdaleka tak veliké jako u ostatních druhů. Další destičky, které se jeví, že budou schopny odolávat rázům při přerušovanému řezu jsou 6190. Dosáhli limitního počtu rázů při všech posuvech pro přeznou rychlost $v_{c1} = 408$ m.min⁻¹, pro řeznou rychlost $v_{c2} = 539$ m.min⁻¹ jsou schopny odolávat maximálnímu počtu rázů jen pro posuv $f = 0,15$ mm, $f = 0,20$ mm, pro zbylé dva posuvy odolnost prudce klesá a zdají se být pro tyto posuvy nevyhovující. Poslední dvě zvolené řezné keramiky 650 a 620, jak už bylo uvedeno výše, dosáhly limitního počtu rázů při posuvu $f = 0,15$ mm a $f = 0,20$ mm pro obě řezné rychlosti. Při zvyšujícím se posuvu destičky 620 odolávají průměrné hodnotě (3000) rázů. Z toho můžeme usoudit, že se při vyšších posuvech pro přerušovaný řez moc nehodí. Stejně jako destičky 620, které při vyšších posuvech mají minimální odolnost proti rázům.

Ze závěrů vyplývajících z této práce lze konstatovat, že obráběcí materiály z řezné keramiky jsou použitelné pro obrábění nejen plynulým, ale i přerušovaným řezem. K tomuto prohlášení nás vedou zejména výsledky, kdy destičky z řezné keramiky při použitých řezných parametrech dosahovaly dobrých výsledků.

Zaručeně nejlepších výsledků ze 4 testovaných řezných keramik dosáhly destičky 670.

Poděkování

Rád bych chtěl poděkovat panu Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při vypracování této bakalářské práce.

9 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] 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.
- [3] Hlucký, M.; Haněk, V. *Strojírenská technologie koroze, základy obrábění, výrobní postupy- 2. díl*. Praha : Scientia, spol s.r.o. Praha, 1998. 176 s.
- [4] ČEP, R.; VRBA, V. *Přehled zkoušek řezných materiálů při přerušovaném řezu*. In *Strojářská Technológia 2004, IV. Medzinárodná vedecká konferencia pre doktorandov, školiteľov a pracovníkov z praxe*. Súľov : Žilinská Univerzita Žilina, 2004. ISBN 80-8070-300-0.
- [5] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-5.
- [6] VRBA, V.; ČEP, R.; JAŠŠ, P. *Zkoušky houževnatosti VBD při přerušovaném řezu: závěrečná zpráva k řešení HS 346701*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2007. 23 s.
- [7] HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I, Technologie obrábění- 1. část*. Brno : VUT Brno, 2003. 138 s.
- [8] KOČMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0
- [9] HUMÁR, Anton. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, s.r.o. Brno, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.
- [10] BILÍK, O. *Obrábění II – 1.díl Fyzikálně mechanické zákonitosti procesu obrábění*. Ostrava : FS VŠB – TU Ostrava, 1994. ISBN 80 -7078 – 228 – 5.
- [11] 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.
- [12] SANDVIK Coromant, technická redakce. *Příručka obrábění*. Praha : Scientia s.r.o. Praha, 1997. 910 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [13] MRKVIČA, 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.
- [14] 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.

-
- [15] REINER, J. Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu : diplomová práce. Ostrava : FS VŠB – TU Ostrava, 2009. 73 s.
- [16] ČEP, Robert; PFEILER, Petr. Shock Number Determination for DISAL D320 Ceramic Cutting Inserts during Interrupted Machining. In. *The International Conference of the Carpathian Euroregion Specialist in Industrial Systems*. Baia Mare : North University of Baia Mare, 2008. s. 75 – 80. ISSN 1224 – 3264.
- [17] ISO 3685: 1990 - *Tool Life Testing with Single Cutting Tools*. 1990.
- [18] SANDVIK Coromant. *Přehled řezných materiálů Sandvik* [online]. 2009. Soubor v PDF. [cit. 29. dubna 2010]. URL
<http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/catalogue/CZE/MC_2009_Klick_CZE_A.pdf>