

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Sledování opotřebení inteligentních řezných nástrojů

Monitoring Wears of Intelligent Cutting Tools

Student:

Jan Botek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Botek**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: **Sledování opotřebení inteligentních řezných nástrojů**
Monitoring Wears of Intelligent Cutting Tools

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor problematiky.
3. Zpracování naměřených hodnot.
4. Vyhodnocení experimentu.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
[2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inženýrstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
[4] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, s.r.o. Brno, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.

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

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, 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 bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.4.2012

..... *Bituk*
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 bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena 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 : 21.4.2012

..... Botek

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Botek

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Míkovice 273
68604

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BOTEK, J. *Sledování opotřebení inteligentní řezných nástrojů: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2012, Vedoucí práce: Kratochvíl, J.

Hlavním cílem bakalářské práce je sledování opotřebení inteligentních řezných nástrojů. Materiálem řezného nástroje je keramika na bázi nitridu křemíku s nanesenou odporovou vrstvou. V první části je zpracován teoretický rozbor soustavy SNOP s použitými částmi. Následující kapitola rozebere problematiku opotřebení řezného nástroje a jeho měření. Dále bude popsána řezná keramika se zaměřením na nitridovou keramiku. Hlavní část práce zpracuje naměřené výsledky, graficky vyhodnotí závislost opotřebení na čase. Výsledky získané z experimentu jsou shrnuty v závěru práce.

ANNOTATION OF THESIS

BOTEK, J. *Monitoring Wears of Intelligent Cutting Tools: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Working and Assembly, 2012, Thesis head: KRATOCHVÍL, J.

The monitoring wears of intelligent cutting tools is the chief reason of my thesis. The material of cutting tools is ceramic on the basis of silicon nitride coated with a resistive layer. First of all is processed theoretical analysis of system SNOP with used parts. Next chapter parses problems of wears of cutting tool and measurement of it. In the following chapter will be described cutting ceramic with a view to nitrid ceramic. Main body of my work processes measured results and graphically interpret wears dependence on time. Results taken from experiment are summarised in the end of my work.

Obsah

0 Úvod	7
1 Teoretický rozbor experimentu	8
1.1 Použitý stroj	8
1.2 Použitý nástroj	9
1.2.1 Destička	9
1.2.2 Držák destičky	10
1.3 Obráběné materiály	11
1.3.1 Ocel 13781	12
1.3.2 Ocel 13864	12
1.3.3 Ocel 13985	13
1.4 Upnutí materiálu při obrábění	13
1.5 Dílenský mikroskop s osvětlením	13
1.6 Postup prováděného experimentu	14
2 Opotřebení rezného nástroje	15
2.1 Princip opotřebení	15
2.2 Hlavní faktory ovlivňující opotřebení	16
2.3 Mechanismy opotřebení bříty	17
2.4 Formy opotřebení nástrojů	19
2.5 Kritéria opotřebení	22
3 Řezná keramika	24
3.1 Charakteristické vlastnosti	24
3.2 Výroba	26
3.2.1 Oxidová keramika	27
3.2.2 Nitridová keramika	28
4 Zpracování naměřených hodnot	31
5 Vyhodnocení experimentu	33
5.1 Břit č. 2 - ocel 13 781	33
5.2 Břit č. 3 – ocel 13 985	34
5.3 Břit č. 4 – ocel 13864	35
5.4 Grafické porovnání velikosti opotřebení všech břitů	36
6 Závěr	38
7 Seznam použité literatury	39

Seznam použitých zkratk a symbolů

Značka	Popis	Jednotky
A	Tažnost	[%]
CA	Oxidická keramika na bázi Al_2O_3	[-]
CC	Povlakovaná keramika	[-]
CM	Směsná keramika na bázi Al_2O_3 s přísadou neoxidových komponentů	[-]
CN	Neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku Si_3N_4	[-]
KB	Šířka žlábků	[mm]
KF	Vzdálenost žlábků od čela	[mm]
KM	Střední vzdálenost žlábků	[mm]
KT	Hloubka žlábků	[mm]
L	Délka obrobení	[mm]
Rm	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
VB	Opotřebení na hřbetě	[mm]
VB _B	Opotřebení přímé části ostří (průměrné)	[mm]
VB _C	Opotřebení v oblasti špičky nástroje	[mm]
VB _N	Opotření ve formě vrubu	[mm]
VB _{B max}	Opotřebení maximální	[mm]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
a _p	Hloubka řezu	[mm]
f	Posuv	[mm]
n	Otáčky	[1/min]
t	Čas nástroje v řezu	[min]
v _c	Řezná rychlost	[m/min]
v _f	Posuvová rychlost	[mm/min]

0 Úvod

Vývoj nových obráběcích technologií je důležitý pro zefektivnění výrobního procesu, tím i zmenšení nákladů na výrobu. Nová metoda obrábění bude mít úspěch jen v tom případě, že bude nenáročná na zavedení do provozu, jednoduchá obsluha s minimálními náklady na údržbu, s co nejvyšší přesností.

Docílení takových podmínek může být hodně náročné. Obrábění je realizováno soustavou stroj, nástroj, obrobek a přípravek. Aktivním prvkem je řezný nástroj. Obrobek je v kontaktu s řezným klínem. Díky kombinaci mechanických, chemických a tepelných vlivů dochází k opotřebení břitu řezného nástroje. Určení opotřebení v průběhu obrábění umožní maximálně využít daný břit. Technologie sledování nástroje v řezu pomocí odporové vrstvy stanoví konec trvanlivosti břitu.

Tato bakalářská práce se zabývá měřením opotřebení vyměnitelné břitové destičky z neoxidické keramiky, na bázi nitridu křemíku s nanosenou odporovou vrstvou, v rámci širokého experimentu. Další parametry důležité pro tento experiment, jako jsou teplota a elektrický odpor, zpracovávali studenti Martin Bilík a Petr Dvouletý. Tato práce bude zkoumat funkčnost sestavy (vyměnitelnou břitovou destičku, nožový držák). Dále bude v práci proveden teoretický rozbor opotřebení břitu řezné keramiky.

Podklady pro tuto práci jsem získal z experimentálního měření a z odborné literatury.

1 Teoretický rozbor experimentu

Tato kapitola podrobně rozebere soustavu SNOP a jejich základní části.

1.1 Použitý stroj

Experiment je prováděn na školním univerzálním hrotovém soustruhu od výrobce MAŠSTROJ TROJAN CV11MV. Stroj se nachází v prostorách laboratoře VŠB – TUO. Parametry jsou popsány v tab. 1.1.

Tab. 1.1 Parametry stroje.

Popis	hodnota
Oběžný průměr nad ložem	500mm
Oběžný průměr nad suportem	290mm
Vzdálenost hrotů koníka	1100mm
Průměr sklíčidla	ø250/315mm
Výkon soustruhu	15kW



Obr. 1.1 Univerzální hrotový soustruh Maštroj Trojan

1.2 Použitý nástroj

1.2.1 Destička

Na experiment byla použita VBD od firmy KS 6000. Destička je vyrobena z křemíko nitridové keramiky s nanesenou odporovou vrstvou (viz. Obr. 1.2)



Obr. 1.2 VBD KS6000

Zařazení použití dle ISO 513 od výrobce VBD je uvedeno v tab. 1.2. Skupinou K obrábíme materiály, které tvoří krátkou drobnou třísku. Vhodný pro dokončovací až polohrubovací soustružení litiny, uhlíkových i legovaných ocelí. Lze ho také použít pro jemné a dokončovací soustružení kalených ocelí a tvrzených litin.

Struktura KS6000 poskytuje zvýšenou tuhost a umožňuje obrábění s chlazením. Vhodné pro vysoké rychlosti a vysoké posuvy. Nitridová keramika (na bázi Si₃N₄) vyniká velmi vysokou houževnatostí při zachování vysoké tvrdosti, lomovou houževnatostí a odolností k teplotním rázům. Umožňuje obrábění běžným přerušovaným řezem. Experiment byl řešen plynulým nepřerušovaným řezem.

Tab. 1.2 Zařazení VBD dle výrobce[7]

Workpiece Material	Cast Iron (Gray Cast Iron/Ductile Cast Iron)			
	Finishing ←		→ Roughing	
Cutting Range				
Classification	K01	K10	K20	K30
Ceramic				
	A65			
	A66N			
KS6000				

Tab. 1.3 Vlastnosti a použití nitridové keramiky KS6000

Popis	hodnota
Značka	KS6000
Hlavní složka	Si3N4
Tvrдость základního materiálu[Gpa]	15,7
Lomová houževnatost [Mpa·m]	6,5
Doporučená oblast řezné rychlosti vc [m/min]	50-1499

1.2.2 Držák destičky

Technologie sledování nástroje v řezu pomocí odporové vrstvy měří elektrický signál, který je veden tělem nože. Z toho důvodu musí být použit speciální držák značky CERADEx. Držák destičky má přesné označení XCSRNR2525M-1207SEN. Rozměry jsou uvedeny v Tab. 1.4.

Tab. 1.4 Rozměrová charakteristika držáku CERADEx: XCSRNR2525M-1207SEN

Druh držáku	Způsob upnutí	Tvar destičky	Tvar nože	Úhel hřbetu
X Speciál Speciál	C 	S 	R 	N $\alpha_n=0^\circ$
Směr řezu	Výška řezu	Šířka držáku	Délka držáku	-
R 				-
Velikost hrany	Tloušťka destičky	Tvar destičky	Úhel hřbetu	provedení
12	7	S 	E	N

1.3 Obráběné materiály

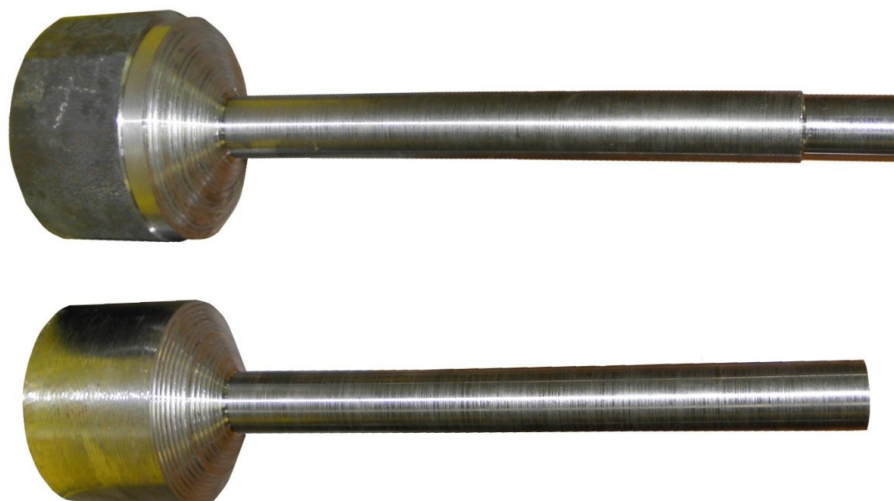
Zkoušce jsme podrobily tyto materiály: - ocel 13 781 rozměr: $\phi 100 \times 370$
 rozměr: $\phi 100 \times 380$
 - ocel 13 864 rozměr: $\phi 101 \times 375$
 - ocel 13 985 rozměr: $\phi 102 \times 386$

Obráběné materiály byly od firmy Třinecké Ocelárny, a.s. Z důvodu utajení obchodních tajemství (ochrany nového materiálu) nebyly sděleny mechanické a chemické vlastnosti. V laboratořích katedry 345 byla změřena tvrdost dle Vickerse. Pevnost v tahu byla odvozena z tabulky dostupné na internetu (viz. [9]).

1.3.1 Ocel 13781

Tab. 1.5 Vlastnosti oceli 13781

Značka	HV10	Rm[Mpa]
Hodnota	106	330



Obr. 1.3 Obrobený materiál ocel 13781

1.3.2 Ocel 13864

Tab. 1.6 Vlastnosti oceli 13864

Značka	HV10	Rm[Mpa]
Hodnota	107	350

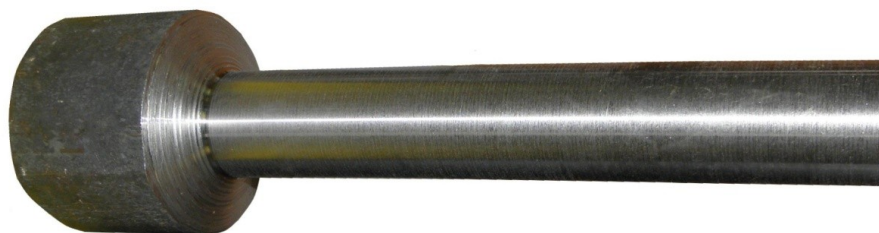


Obr. 1.4 Obrobený materiál ocel 13864

1.3.3 Ocel 13985

Tab. 1.7 Vlastnosti oceli 13985

Značka	HV10	Rm[Mpa]
Hodnota	123	400



Obr. 1.5 Obrobený materiál ocel 13985

1.4 Upnutí materiálu při obrábění

Všechny čtyři polotovary byly upnuty stejným způsobem. Jedna strana byla upnuta do tříčelist'ového sklíčidla. Druhá strana podepřena hrotem, který byl upnutý v pinole koníku. Tím byla omezena házivost polotovaru.

1.5 Dílenský mikroskop s osvětlením

Opořebení VBD změříme mikrometrickou metodou, dílenským mikroskopem od firmy INTRACO MICRO spol. s.r.o. (viz. Obr. 1.6). Z důvodu malé intenzity světla osvětlujeme destičku pomocí osvětlovače od stejné firmy. Osvětlovač je vybaven dvěma ohebnými světlovody. Mikroskop byl vybaven digitální kamerou a až pětinasobným zvětšením obrazu. Měření probíhalo za zvětšení 3.2x. Vyfocené obrazy se převedly do stolního počítače kde se pomocí softwaru MOTIC IMAGE PLUS 1.0 ML pořídili digitální snímky. Abychom mohli hodnotit opořebení na VBD musela být provedena kalibrace pomocí kalibrační měřky. Ta se vyfotila ve stejné vzdálenosti a stejném zvětšení jako VBD. Pomocí získaného obrazu s kalibrační měrkou byl program zkalibrován.



Obr. 1.6 Dílenský mikroskop

1.6 Postup prováděného experimentu

Před samotným měřením jsme zjistili kritickou hodnotu opotřebení destičky danou rozměry odporové vrstvy. Tato hodnota nám stanoví přerušeni odporové vrstvy a tím i konec technické životnosti břitu. Hodnoty jsou na hřbetě 0.55mm a na čele 0.67mm. Obrábění probíhalo za řezných podmínek uvedených v tabulce 1.8. Řezná rychlost byla zvolena na základě technických možností stroje. Protože experiment zkoumá metodiku opotřebení řezného nástroje s nanesenou odporovou vrstvou, zvolená řezná rychlost nemusí splňovat oblast řezných podmínek pro řeznou keramiku.

Tab. 1.8 Řezné podmínky

Značka	a_p [mm]	f [mm]	v_c [m/min]
Hodnota	2	0.15	250

Řezná rychlost uvedená v tabulce je průměrná.

Měření bylo provedeno na třech různých druzích materiálů, které jsou popsány v kapitole 1.3. Řezným materiálem byla nitridová keramika s nanesenou odporovou vrstvou (viz. kap. 1.2). Po každém provedeném řezu byl pořízen foto snímek VBD. Poté za pomoci softwaru byly vyhodnoceny hodnoty opotřebení na hřbetu $VB_{B \max}$, VB_B a na čela KB. Měření VBD je popsáno v kapitole 1.5. Obráběné materiály byly rozměrově nepřesné s povrchovými okujemi a nerovnostmi na povrchu. Aby nedošlo ke zkreslení naměřených výsledků, byla odebrána povrchová vrstva polotovarů. Nejdříve byly testovány otáčky 400, 500, 630, 800. Poté experiment probíhal kolem průměrné řezné rychlosti, se zmenšujícím se průměrem polotovaru se zvyšovaly otáčky.

VBD má 8 břitů, které jsou očíslovány. První zkoušený materiál byla zvolena ocel 13781, kterou jsme obráběli břitem č. 2. Tento materiál neopotřebil VBD na kritickou hodnotu a další řezy nebyly možné z důvodu malého průměru jádra, které způsobovalo nadměrné vibrace. Dalším materiálem byla ocel 13864. Byla testována břitem č. 4. Zde bylo dosaženo stanovené kritické opotřebení. Poslední ocel 13985 byla obráběna břitem č. 3. Opět byla dosažena kritická hodnota opotřebení.

2 Opotřebení řezného nástroje

2.1 Princip opotřebení

Řezný nástroj, jako aktivní činitel SNOP, významným způsobem ovlivňuje kvalitu i hospodárnost obrábění. Studium řezných schopností nástrojů je nedílnou součástí teorie obrábění. Vzhledem k moderním konstrukcím nástrojů, je nutno jejich životnost poněkud upřesnit. Řezné nástroje nového typu, pro manuální obsluhu i pro automatické systémy, mají zpravidla vyměnitelné řezné destičky, upevněné mechanicky v nástrojovém držáku. Je proto vhodné hovořit odděleně o životnosti řezné destičky, o životnosti nástrojového držáku, popřípadě i o životnosti upínacích systémů.[1]

Při obrábění vzniká velké množství tepla, které se vyvíjí na ploše čela a hřbetu nástroje. Tepelné zatížení značně namáhá materiál břitu nástroje. Procesem utváření třísky se kontinuálně vytváří při vysokém tlaku a teplotách čistý kovový povrch, který má sklony k chemickým reakcím, případně k difuzním procesům. Většina obráběných

materiálů obsahuje tvrdé částice různého druhu, které se svou tvrdostí neliší od materiálu bříty nástroje. Tyto částice vyvolávají u nástroje brousící, případně abrazivní efekt. Kombinací mechanických, chemických a abrazivních faktorů dochází ke složitému zatěžování bříty nástroje, které se projevuje jeho opotřebením.[2]

2.2 Hlavní faktory ovlivňující opotřebení

Opotřebení bříty ovlivňuje hodně faktorů. Zde jsou ty nejdůležitější.

- Řezná rychlost (v_c):

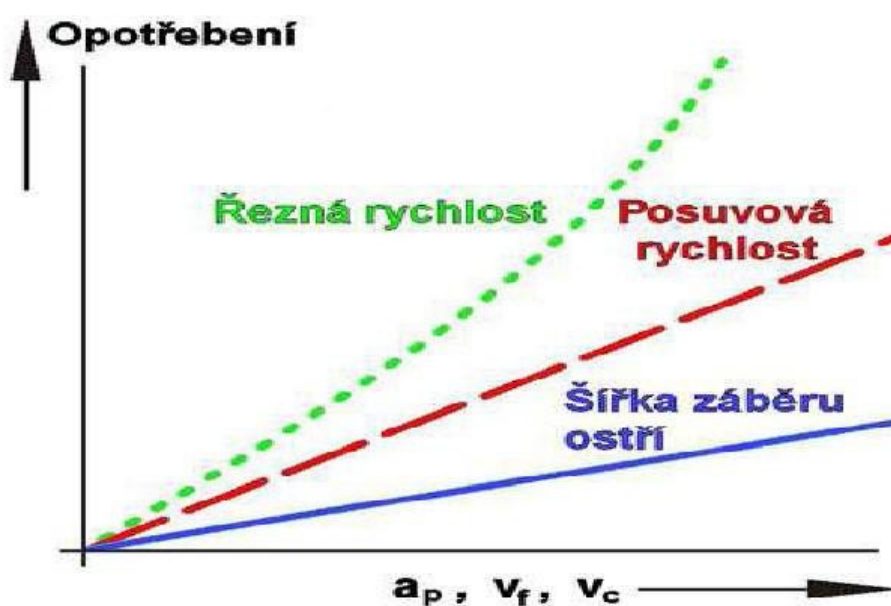
Čím je větší rychlost, tím dříve se opotřebí břit nástroje. Proto je řezná rychlost nejvíc ovlivňující faktor opotřebení bříty nástroje. (Obr. 2.1) [6]

- Posuvová rychlost (v_f):

Vliv posuvové rychlosti na opotřebení bříty nástroje je menší než u řezné rychlosti. Opotřebení se projeví hlavně na hřbetu, z důvodu zatlačování hřbetu do obrobku. (Obr. 2.1) [6]

- Šířka záběru ostří a_p :

Protože šířka záběru se zvětšuje pouze se zvětšením hloubky řezu, zvětší se pouze plocha třísky, má nejmenší vliv na opotřebení. (Obr. 2.1) [6]



Obr. 2.1 Vliv řezných podmínek na opotřebení[6]

Další faktory ovlivňující opotřebení břítu:

- **Teplota řezání**
- **Obráběný materiál**
- **Nástrojový materiál**
- **Jakost ostří**
- **Řezná geometrie**

2.3 Mechanismy opotřebení břítu

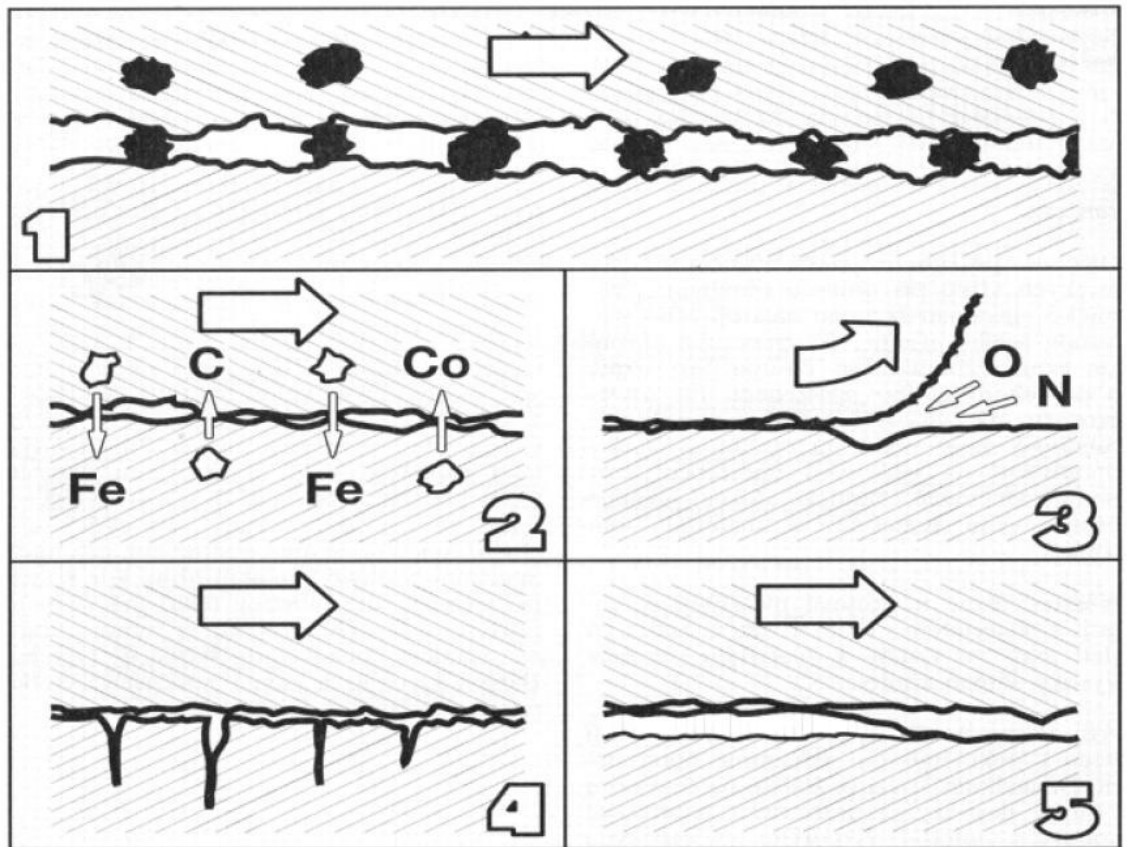
Na základě analýzy zatěžujících faktorů břítu je možné identifikovat základní mechanismy opotřebení, jako jsou:

- 1. Abrazivní opotřebení** – je velmi rozšířený mechanismus, který vzniká hlavně působením tvrdých částic v materiálu obrobku. Schopnost břítu odolávat abrazivnímu otěru je z větší části závislé na jeho tvrdosti. Řezný materiál, který obsahuje hustou strukturu tvrdých částic, bude abrazivnímu opotřebení odolávat dobře, avšak nemusí stejně dobře odolávat jiným mechanismům. Opotřebení je významné především při nízkých řezných rychlostech, kdy se oba materiály stýkají na vrcholcích mikronerovností. [2]
- 2. Difuzní opotřebení** – vzniká působením chemických vlivů při procesu obrábění. Chemické vlastnosti řezného materiálu a jeho afinita vůči materiálu obrobku jsou rozhodujícími činiteli pro vznik a průběh difuzního opotřebení. Na tomto procesu má tvrdost jen relativně malý podíl. O podíl difuzního opotřebení na celkové opotřebení rozhoduje chemické složení řezného nástroje a materiálu obrobku. [2]
- 3. Oxidační opotřebení** – souvisí s vysokými teplotami řezného procesu, které spolu s okolním vzduchem mají za následek oxidaci nástrojového materiálu. Vzniklé oxidy působí velmi rozdílně. Wolfram a kobalt tvoří porézní filmy oxidu, které jsou snadno odnášeny třískou. Jiné oxidy, jako například oxid hlinitý, jsou naproti tomu podstatně pevnější a tvrdší. Některé řezné nástroje

jsou proto náchylnější k oxidačnímu opotřebení než jiné. Speciálně v místě kontaktu břitu, kde končí šířka třísky, má vzduch přístup do řezného procesu. V tomto případě vznikají působením oxidace typické žlábký, které jsou však v současné výrobě relativně vzácným fenoménem. [2]

4. **Lom statický nebo dynamický** - má často termomechanické příčiny. Kolísání teploty a zatížení řeznými silami mohou vést k vydrolování a lomu řezného nástroje. Řezné nástrojové materiály reagují na tato zatížení různě. Čistá mechanická únava může být vyvolaná, s ohledem na mechanickou pevnost břitu, příliš vysokými řeznými silami. Příčiny mohou být na jedné straně v příliš velké tvrdosti nebo pevnosti materiálu obrobku a ve vysokých posuvech nebo na druhé straně v příliš tvrdém řezného nástrojového materiálu. Ale také v případě příliš měkkého řezného nástrojového materiálu může dojít k lomu, dojde-li vlivem vysokých teplot k plastické deformaci. [3]

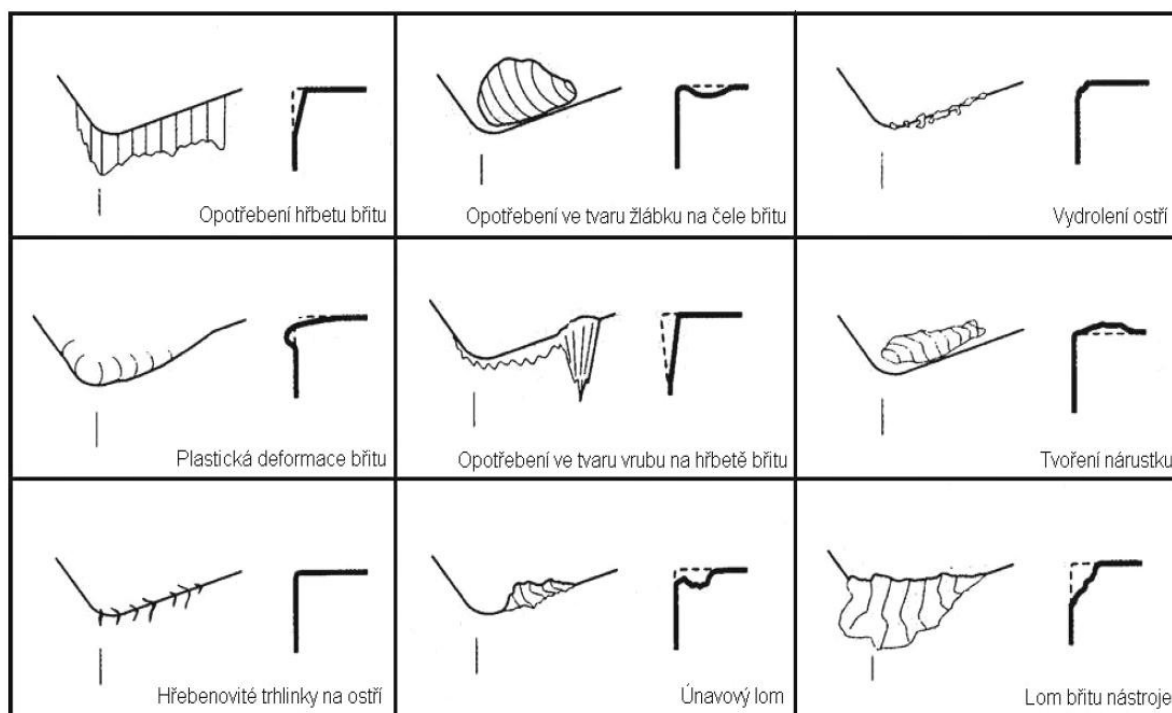
5. **Adhezní opotřebení** – se vyskytuje hlavně při nízkých teplotách obrábění na čele břitu nástroje. Může vzniknout jak u ocelí tvořících dlouhou třísku, tak u materiálů s krátkou třískou. Adhezní otěr je způsoben vytrháváním částic břitu v důsledku adhezních spojů mezi nástrojem a obrobkem. Je významný při nižších řezných rychlostech, kdy vzniká bodový styk mezi třískou a nástrojem a kdy je umožněno adhezní spojení obou materiálů. Adhezní otěr vzniká zejména při obrábění nástroji z nástrojových a rychlořezných ocelí. Tento jev často vede k vytváření nárůstku mezi třískou a břitem. Jedná se přitom o dynamický průběh s narůstajícím počtem vrstev, které jsou z třísky navařovány a vytvrzovány a stávají se tak součástí břitu. Takto nárůstkem vytvořený břit může tvořit základ pro nové nárůstky na břitu, nebo může poškodit původní břit vydrolováním nebo výmolem. [2]



Obr. 2.2 Schéma základních mechanismů opotřebení břitu nástroje[4]

2.4 Formy opotřebení nástrojů

Formy opotřebení břitu nástroje byly určeny za účelem posouzení operací obrábění a tím i možnosti ovlivnění produktivity. Pohled na břit při zvětšení a posouzení, jaká opotřebení jsou na něm viditelná, umožňuje kontrolovat vhodnost trvanlivosti, její spolehlivost a dokonce i možnost jejího prodloužení. Pro každý proces existuje optimální průběh opotřebení. Správný nástroj a odpovídající řezné podmínky, kvalifikovaná odborná pomoc, vlastní zkušenost, dobrá jakost materiálu obrobku a dobré podmínky pro obrábění jsou důležitými předpoklady pro vznik optimálního průběhu opotřebení. [4]



Obr. 2.3 Formy opotřebení nástrojů[4]

Opotřebení hřbetu břitu - patří mezi abrazivní formy opotřebení a projevuje se na hřbetní ploše břitu (obr. 2.3). Plochy hřbetu u hlavního ostří, vedlejšího ostří, poloměru špičky a na čelní fasetce jsou před utvářením, během utváření a po utváření třisky zvláště vystaveny působení materiálu obrobku. Opotřebení hřbetu je všeobecně obvyklým typem opotřebení. Příliš velké opotřebení hřbetu má za následek zhoršení jakosti obrobku, nepřesnost rozměrů a narůstání tření, které vzniká změnou geometrie břitu. [4]

Opotřebení ve tvaru žlábků na čele - je důsledkem působení mechanismů difúzního opotřebení a abraze. Žlábek vzniká částečně úběrem rezného materiálu nástroje vyvolaného brousicím pochodem, které vzniká působením tvrdých částic obsažených v materiálu, ale zejména difúzí v místě břitu s nejvyšší teplotou, tzn. v kontaktním místě mezi třískou a materiálem břitu. Tvrdost za tepla a malá afinita mezi materiálem obrobku a břitu nástroje snižují tendenci ke vzniku tohoto opotřebení. Mimořádně velké opotřebení v podobě žlábků může změnit geometrii břitu a ovlivnit tak tvar třísky, změnit směr působení rezných sil a zeslabit břit (obr. 2.3). [4]

Vydrolení ostří - je formou opotřebení, při níž se břit místo stejnosměrného opotřebení vydroluje (obr. 2.3). Toto opotřebení je způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že se drobné částičky rezného nástrojového materiálu začnou oddělovat z povrchu břitu.

Nejčastější příčinou tohoto typu opotřebení je obrábění přerušovaným řezem. Odlupování materiálu a trhliny jsou příznaky, které upozorňují na možnost lomu břitu. Dalšími faktory způsobující tento typ opotřebení mohou být nevhodná volba řezného materiálu, nebo nevhodná volba ostří. [4]

Plastická deformace břitu - vzniká působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na břit (obr. 2.3). U řezného materiálu nástroje, který těmto zatížením odolává a plasticky se nedeformuje, je tvrdost za tepla rozhodujícím faktorem. Typická deformace břitu ještě více zvyšuje teploty a má za následek změnu geometrie břitu, změny v odchodu třísek a může velmi rychle dosáhnout kritického stádia. Toto opotřebení lze zmenšit použitím vhodného řezného materiálu s vyšší oteřuvzdorností, správného zaoblení ostří, volbou správné geometrie. [4]

Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu - patří k typickým adhezním opotřebením. Může však stejně dobře souviset s jevem oxidačního opotřebení. Vruby vznikají v místě kontaktu břitu s bokem třísky. Toto opotřebení se omezuje přesně na to místo, kudy proniká vzduch do oblastí obrábění. Opotřebení ve tvaru vrubu na vedlejším hřbetu břitu má mechanické příčiny. Jejich původcem jsou tvrdé částice materiálu obrobku. Mimořádně velké opotřebení ovlivňuje utváření třísky a může vést k lomu destičky. [4]

Tvoření nárůstku - je v převážné většině případů fenoménem, vztahující se k teplotám a řezným rychlostem. Může však být způsobena i odlupováním vrstev v místě břitu nebo jinými formami. Mimo změny geometrie břitu působí tato forma opotřebení negativně, protože se mohou částice materiálu odlomit. Afinity břitu k materiálu hraje v tomto případě rozhodující roli. Nízké teploty a vysoké tlaky vyvolávají mezi materiálem třísky a čelem nástroje efekt svařování. Velká část moderních způsobů obrábění probíhá nad oblastí tvorby nárůstků a mnohé moderní řezné materiály nemají při správném použití k této formě opotřebení sklony. Prvním negativním důsledkem tvorby nárůstku je zhoršená jakost obrobeného povrchu. Nadměrná tvorba nárůstků může vést k lomu VBD. [4]

Vznik hřbenových trhlinek na ostří - je formou únavového opotřebení, které vzniká tepelným šokem. Zvláště změna teplot při frézování často vede k tomuto druhu opotřebení. Trhlinky se tvoří kolmo na ostří. Přitom se mohou částice řezného materiálu mezi jednotlivými trhlínkami vylamovat a vyvolat tak náhlý lom břitu. Změnou

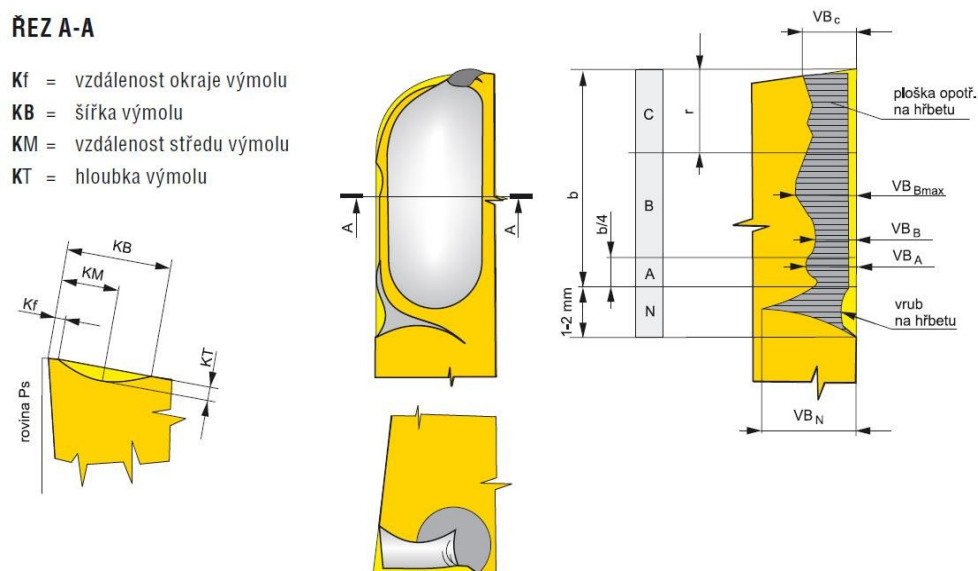
tloušťky třísky se při obrábění změny teploty. Chladicí kapalina se nedoporučuje, zvyšuje rozdíl teplot při záběru břitu do materiálu obrobku a při výstupu z něj. [4]

Únavový lom - je typickým následkem mimořádně velkých změn velikosti řezných sil. Tento druh lomu vzniká vlivem součtu neustále se měnících různých zatížení, kdy působení jednotlivých zatížení není dostatečně intenzivní, aby mělo za následek lom. Způsob vřezávání nástroje do materiálu obrobku a změna velikosti a směru působení řezné síly mohou být pro pevnost a houževnatost VBD příliš náročné. Lomové plochy probíhají paralelně s ostřím. [4]

Lom břitu nástroje - je osudným koncem každého břitu (obr. 2.3). Totální lom je často velmi nebezpečný a mělo by se mu za každých okolností zabránit. Lom břitu nástroje je nutné v každém případě považovat za konec trvanlivosti. Změny geometrie, oslabení břitu, nárůst teplot a sil mohou vést ke značným škodám. Křehký lom může být způsoben různými faktory. Velmi často je zvolený materiál břitu málo houževnatý na to, aby mohl zvládnout všechny požadavky na obrábění. [4]

2.5 Kritéria opotřebení

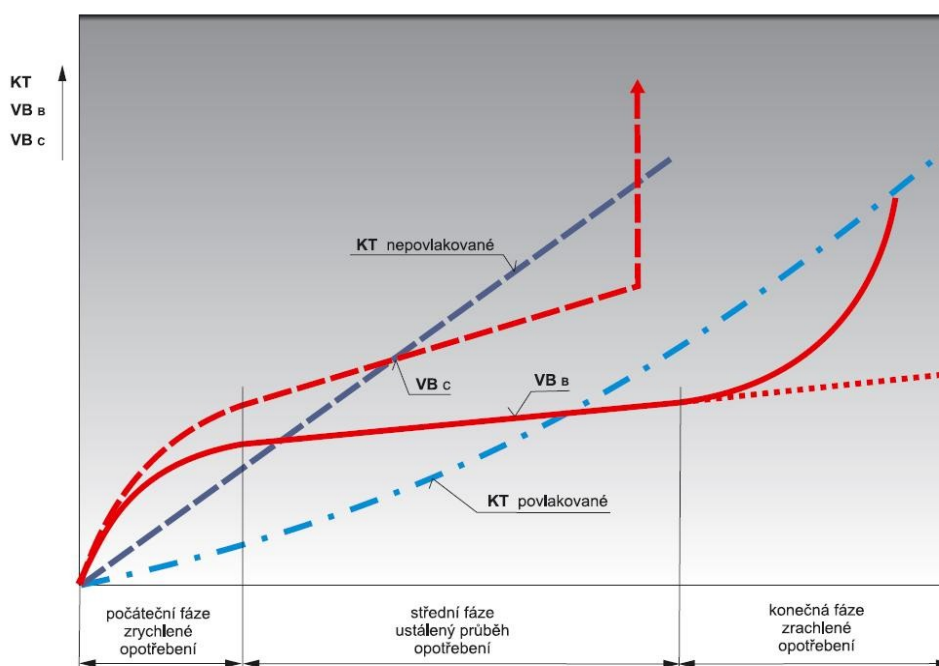
Následující obrázek uvádí typy opotřebení břitu podle normy ISO 3685 spolu s označením jejich charakteristických rozměrů.



Obr. 2.4 Kritéria opotřebení řezného nástroje dle ISO 3685 [5]

Nejpoužívanější kritéria opotřebení.

VB - opotřebení na hřbetě
VB_C - opotřebení v oblasti špičky nástroje
VB_N - opotřebení ve formě vrubu
VB_B - opotřebení přímé části ostří (průměrné)
VB_{Bmax} - opotřebení maximální
KT - hloubka žlábků
KF - vzdálenost žlábků od čela
KM - střední vzdálenost žlábků
KB - šířka žlábků



Obr. 2.5 Graf závislosti doby řezání na opotřebení VB_C, VB_B a KT [5]

Teoretický průběh opotřebení na době řezání viz Obr. 2.5.

Graf závislosti je rozdělen do tří částí:

- 1. Oblast počáteční (záběrové) fáze opotřebení** – zrychlené opotřebení obecně souvisí se „záběrem“ nástroje a je způsobováno vysokým měrným tlakem na vrcholcích mikronerovností povrchu hřbetu a určitou defektností povrchové vrstvy, vyvolanou podmínkami ostření (mikrotrhlínky), resp. v důsledku výrobních procesů při výrobě nástrojů.[2]

2. **Oblast střední (lineární) fáze opotřebení** – v této oblasti dochází k lineárnímu nárůstu opotřebení, tzn. intenzita opotřebení je konstantní. [2]
3. **Oblast konečné (zrychlené) fáze opotřebení** – Počáteční bod této oblasti je obvykle spojen s limitní teplotou řezání a s výrazným poklesem tvrdosti řezného materiálu. Nastává zrychlené opotřebení – lavinovité opotřebení.[2]

3 Řezná keramika

Moderní definicí je keramika obecně charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Tato definice zahrnuje nejen tradiční keramiku (porcelán, cement, cihly), ale i brousící materiály a řadu tzv. „nových“ (speciálních, konstrukčních, strojírenských, průmyslových, pokrokových příp. jinak nazvaných) keramických látek, jako je oxidová keramika (na bázi Al_2O_3 , ZrO_2 , BeO , UO_2), ferity, feroelektrika, nitridy (na bázi Si, B, Al), karbidy (na bázi Si, B), boridy (na bázi Ti) a další. Pro novou keramiku je charakteristické to, že je vyráběna z poměrně čistých surovin a často z čistých výchozích chemikálií, jako keramika syntetická. Většina látek zařazovaných pod pojem „nová keramika“ jsou látky krystalické na rozdíl od tradiční keramiky (např. porcelán, glazury), která obsahuje i značný podíl skelné (amorfní) fáze. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými a kovalentními, jejich vazba není ale čistě iontová nebo čistě kovalentní, obvykle se vyskytují oba typy vazby současně. V krystalické struktuře, tvořící základ keramických materiálů, převažují složité mřížky kubické a hexagonální.

Intenzivní výzkumnou a vývojovou činností byly v posledních letech výrazně zlepšeny některé vlastnosti keramických materiálů tak, že to umožnilo podstatně rozšířit jejich aplikace ve strojírenské výrobě. Výrazným způsobem k tomu přispěly i pokroky v oblasti obrábění keramik a to jak v surovém stavu, tak v konečné fázi výroby polotovarů a konkrétních součástí. [8]

3.1 Charakteristické vlastnosti

Charakteristické vlastnosti předurčují keramické materiály pro použití zejména v následujících oblastech technické praxe:

1. **Tepelné aplikace** – odolnost vůči vysokým teplotám, stabilita tvaru při tlakovém a tahovém namáhání, i za vysokých teplot, odolnost proti náhlým změnám teploty, nízká tepelná roztažnost, vysoká nebo nízká tepelná vodivost, vysoká schopnost akumulace tepla. [8]
2. **Mechanické aplikace** – vysoká tvrdost, odolnost proti opotřebení, velmi dobré a stabilní kluzné vlastnosti, nepřítomnost statického náboje, nízká měrná hmotnost, vysoká přesnost tvaru, úzké rozměrové tolerance, možnost užití různých spojovacích technik. [8]
3. **Elektrotechnika, elektronika** – výborné izolační vlastnosti i za vysokých teplot, vysoká dielektrická pevnost, vysoká stabilita výboje, vysoký výkon zhášení výboje, definovaná dielektrická konstanta, dobré vysokofrekvenční vlastnosti, dobré mechanické vlastnosti. [8]
4. **Fyzikální a chemické aplikace** – chemická odolnost vůči kyselinám a louhům, chemická inertnost, odolnost vůči korozi a erozi, akumulární a pohlcovací schopnost, velký geometrický a měrný povrch, definovaná filtrační schopnost. [8]

Jednotlivé vlastnosti keramik lze přitom různě kombinovat a měnit tak, jak to vyžadují konkrétní aplikace daného materiálu. Mimo jiných oblastí se proto vybrané keramické materiály velmi často užívají zejména pro výrobu řezných nástrojů, kde jsou s výhodou využívány především tyto jejich vlastnosti: [8]

- **vysoká tvrdost**
- **odolnost proti mechanickému namáhání** (zejména tlakem)
- **odolnost proti působení vysokých teplot** (u současných nejlepších materiálů i odolnost proti náhlým změnám teploty)
- **odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům a korozi** (vysoká trvanlivost a řezivost)
- **nízká měrná hmotnost**

- **dostupnost základních surovin z domácích zdrojů**
- **poměrně nízká cena**

3.2 Výroba

Proces výroby kompaktních keramických součástí a tedy i vyměnitelných břitových destiček pro řezné nástroje je velmi podobný procesu výroby součástí ze slinutých karbidů a cermetů (např. příprava práškové směsi, mletí, míchání, tvarování, sušení, přeslinování, slinování, tepelné zpracování a úpravy povrchu). Podstatný rozdíl je ale v tom, že keramické výrobky neobsahují žádný materiál, jehož funkcí by bylo spojení zrn tvrdé fáze do jednolitého tělesa. Tato skutečnost celou výrobu keramických materiálů výrazně znesnadňuje a klade velmi vysoké nároky jak na výrobní zařízení, tak zejména na dodržení všech předepsaných parametrů technologického postupu výroby.

Vývoj mikrostruktury a slinovatelnosti keramickým materiálů je možno ovlivnit přidáním přísad, které v průběhu slinování vytvářejí kapalnou fázi. Tímto způsobem lze dosáhnout hustějšího uspořádání částic při slinování a rychlejšího a lepšího zhutňování výrobku. Nekrystalická fáze, která se po slinutí objeví na hranicích zrn, má ale za následek degradaci mechanických vlastností materiálu při vyšších teplotách. Podobný nepříznivý vliv mají i kationové nečistoty, které se koncentrují na hranicích zrn a to již v množství na úrovni setin až desetin hmotnostních procent. Anionové nečistoty, případně zbytky organických látek, mají rovněž nepříznivý vliv na vlastnosti výrobku, protože se mohou v průběhu slinování uvolnit ve formě plyných látek, a tím způsobovat problémy při eliminování pórovitosti.

Zásadní vliv na mikrostrukturu výrobku a jeho chování v průběhu slinování mají morfologické charakteristiky výchozího prášku. Prášky, které mají neaglomerovaná zrna s úzkým rozdělením jejich rozměrů, umožňují při formování snadněji dosáhnout rovnoměrné velikosti a prostorového rozložení pórů, což je požadováno s ohledem na rovnoměrnou rychlost zhutňování v celém objemu tělesa při slinování. Mimo to, monodisperzní systémy podstatně omezují možnosti nadměrného růstu zrn, který je často pozorován při slinování polydisperzních prášků. Izometrický tvar zrn umožňuje jejich rychlou reorganizaci v počátečních fázích slinování. Reorganizace částic eliminuje 20-30 % pórovitosti, čímž je podstatně urychleno zhutňování keramického tělesa při slinování. Snížení rozměrů částic prášku zvyšuje hybnou sílu slinování a

povrchovou Gibbsovu energii, což je podstatné pro urychlení látkového transportu zejména u materiálů s převážně kovalentním charakterem chemické vazby, které se vyznačují velmi nízkým koeficientem difúze v tuhé fázi, při teplotách blízkých teplotě tavení daného materiálu. Velmi jemné, submikrometrové částice však vyžadují chemickou úpravu povrchu, aby se mezi nimi vytvořily odpudivé síly, které by bránily shlukování a tvorbě pevných aglomerátů. [8]

3.2.1 Oxidová keramika

Základní surovinou pro výrobu tohoto typu keramiky je velmi čistý a jemný oxid hlinitý – Al_2O_3 . K němu se po vstupní kontrole přidávají malá množství pomocných látek, které mají usnadnit slinování a zabránit růstu zrna. Různí výrobci k tomu účelu užívají různé materiály, nejčastěji se jedná např. o oxidy zirkonia, yttria, chromu, titanu, niklu, hořčíku, kobaltu a molybdenu a karbidy těžkovitých kovů jako je wolfram a titan.

Po mokrém semletí tato směs rozprašováním vysuší, přičemž se získá prášek schopný soudržnosti, který je slisován na automatických lisech do požadovaného tvaru. Před lisováním se někdy přidávají přísady, které zlepšují tečení prášku, snižují tření při lisování a zlepšují rovnoměrnost zaplnění formy. Lisování probíhá obvykle na lisech s oboustranným tlakem, aby bylo zajištěno dobré zhutnění polotovaru v celém jeho průřezu, odstranění rozdílů ve zhutnění lze dosáhnout vibračním lisováním. Keramické polotovary lze též vyrábět. Keramické polotovary lze též vyrábět izostatickým lisováním, pomocí hydrostatického tlaku kapaliny, který působí přes elastickou, pro kapalinu a plyn nepropustnou stěnu tvarovacího pouzdra, zaplněného keramickým práškem. Vstřikovacím lisováním, způsob vhodný zejména pro velkosériovou výrobu těles složitých tvarů nebo litím. Velmi často jsou z prášku vytlačeny (extruzí) tvarovány tyče s průřezem odpovídajícím budoucímu tvaru břitových destiček, které jsou po slinutí pomocí diamantového okružní pilky rozřezány na jednotlivé destičky.

Po vyslinování následuje slinování ve speciálních pecích, kde dochází ke spojení prášku do tuhého tělesa potřebného tvaru. Po slinování následuje broušení na konečné rozměry a požadovanou kvalitu povrchu. [8]

3.2.2 Nitridová keramika

Slinutím Si_3N_4 při atmosférickém tlaku je mnohem obtížnější než u oxidových keramik, jako je Al_2O_3 a ZrO_2 , a to v důsledku jeho nižší samodifúze a teploty rozkladu 2112 °K. Proto je při výrobě řezné keramiky na bázi nitridu křemíku nutné dopovat výchozí prášek slinovacími přísadami a aplikovat technologický postup vysokoteplotního lisování nebo vysokoteplotního izostatického lisování (HIP). Slinovací aditiva vytvoří s nitridem křemíku během ohřevu tekutou fázi, která podporuje zhutňovací proces. Na druhé straně při ochlazování se projeví negativní vliv tekuté fáze v tom, že segreguje na hranicích zrn a vytváří zde křehkou interkrystalickou strukturu. V zásadě je možné vytvarovat výrobek ze směsi Si_3N_4 a přísad a potom jej slinovat, nebo jej vyformovat ze směsi práškového křemíku a následně nitridovat a slinovat. [8]

Další problémy při slinování nitridu křemíku způsobuje pevná kovalentní vazba mezi atomy křemíku a dusíku, která omezuje možnost samodifúze, a tím zabraňuje dosažení teoretické hustoty materiálu. Vyšší teploty sice mohou podporovat difúzní proces, ale teplota, která je potřebná pro dostatečnou difúzi tak vysoká, že materiál se před slinováním začíná rozkládat. [8]

Pokud má být výsledný produkt hutný, bez nespojených míst, je nutné, aby se v průběhu slinovacího procesu vytvářela tekutá fáze, která urychluje přemísťování hmoty. Z toho důvodu se do výchozí směsi přidávají speciální přísady, kterými mohou být různé kovy nebo sloučeniny kovů. V průběhu slinovacího procesu je pak vytvářena tekutá fáze různého složení a je rozptylována mezi zrna nitridu křemíku. Tato fáze během ochlazování ztuhne a její charakter a složení pak určují konkrétní soubor charakteristických vlastností finálního výrobku. Výběr přísad je mimo jiného určen též použitou technologií výroby nitridu křemíku. [8]

Podle způsobu výroby kompaktního tělesa rozlišujeme tyto druhy Si_3N_4 , v aplikaci pro břitové destičky řezných nástrojů je nejčastěji užíván posledně jmenovaný materiál:

- 1. Reakčně vázaný nitrid křemíku** – Vyrábí se nitridací práškového křemíku při teplotách 1200 až 1600 °C. Hlavní získanou fází je α -nitrid křemíku, s malým množstvím β -nitridu křemíku. Mikrostruktura je tvořena skeletem α - Si_3N_4 s několika vměstky β - Si_3N_4 . Reakčně vázaný nitrid křemíku je pórovitý, s hustotou menší než 85% teoretické hustoty a v důsledku této nízké hustoty má výrobek i další nepříznivé vlastnosti. Protože se jedná o vysoce čistý materiál, který neobsahuje cizí fáze na hranicích zrn, jeho pevnost i při tak nízké hustotě poměrně vysoká. Mezi výhody této metody patří neomezený tvar výrobku a velmi malé změny rozměrů při následujícím slinování, takže lze vyrobit součásti s velmi úzkými rozměrovými tolerancemi. [8]
- 2. Slinutý nitrid křemíku** – Je vyroben slinováním se zhutňovacími přísadami při teplotách 1600 až 1800 °C v dusíkové atmosféře o tlaku 1 až 10 MPa. Původně byly jako přísady používány oxidy MgO , Al_2O_3 , Y_2O_3 nebo jejich směsi, u nejnovějších experimentů byly vyzkoušeny přísady oxidů prvků vzácných zemin. Mechanismus zhutňování slinutého nitridu křemíku během výroby pomocí MgO je založen na vzniku tekuté taveninové fáze α - Si_3N_4 , která později během ochlazování ztuhne na β - Si_3N_4 . Mezi zrny nitridu křemíku pak zůstává zachována skelná fáze. Výzkum zhutňování v průběhu slinování nitridu křemíku s oxidem hlinitým ukázal, že se vytváří tuhý roztok Al_2O_3 v Si_3N_4 a některé z atomů Si a N₂ v mřížce nitridu křemíku jsou nahrazeny Al nebo O₂. Tento poznatek vedl k vývoji sloučenin typu Si-Al-O-N (sialon, syalon). Pokud jsou jako přísady užity přísady dalších oxidů, objeví se křemičité taveniny, které v průběhu krystalizace vytvoří kompletní oxinitridové fáze. Materiál získaný slinováním nitridu křemíku s přísadami má obvykle vysokou hustotu, ale v důsledku uvedených přísadových fází se může objevit částečné zhoršení mechanických vlastností za vysokých teplot. Nejdůležitější výhodou dané technologie je možnost beztlakového slinování, které znamená produkci výrobků neomezených tvarů. [8]
- 3. Nitrid křemíku lisovaný za vysokých teplot** – Je vyroben horkým, žárovým lisováním prášku Si_3N_4 se zhutňujícími přísadami při teplotách 1700 až 1900 °C a tlaku 20 až 50 MPa. V principu se jedná o lisovací formu, která je ohřívána na slinovací teplotu. Tlak je ve většině případů vyvozován hydraulicky, existují ale i lisy s pákovým přenosem síly. Přítomnost přísad aktivuje přenos hmoty

objemovou difúzí a difúzí po hranicích zrn, podobně jako u slinutého nitridu křemíku. Vysokoteplotní lisování vyžaduje mnohem menší množství přísad než běžné slinování je $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$, čímž lze vysvětlit vysokou hustotu a vysoké hodnoty mechanických vlastností u takto vyrobených materiálů. Mezi nevýhody dané metody patří zejména velmi omezený tvar výrobku, složitost výrobního zařízení a potíže při výrobě více vzorků současně. Lisovaný materiál je ve většině případů nutné izolovat od stěn grafitové formy práškem, který je inertní jak ke grafitu, tak k lisovanému materiálu. Použití takové izolační vrstvy navíc omezuje rozměrovou toleranci hotových výrobků. Nitrid křemíku vyrobený touto metodou vykazuje anizotropii mechanických vlastností ve směru rovnoběžně a kolmo ke směru lisování, vzhledem k růstu β -zrn ve směru kolmo ke směru lisování. [8]

- 4. Nitrid křemíku vyrobený metodou HIP** – Podobně jako při výrobě slinutých karbidů, lze i u Si_3N_4 použít metody vysokoteplotního izostatického lisování, kdy je slinované těleso při vysoké teplotě vystaveno všestrannému tlaku plynu, který umožní udržet jeho původní tvar. Jako pracovní plyn je nejčastěji užíván argon, při slinování výrobků z Si_3N_4 bez obalů se s výhodou používá dusík, vzhledem k tomu, že potlačuje tepelný rozklad materiálu. V průběhu procesu přitom nedochází v materiálu k tvorbě textury. Aplikace vyšších tlaků ve srovnání s předchozí metodou umožňuje vyrábět produkty s menším obsahem přísad, které mají výhodnější mikrostrukturu. Vysoký tlak rovněž napomáhá odstraňování různých mikrostrukturních defektů, což má výrazný kladný vliv na mechanické vlastnosti hotových výrobků. Vzhledem k tomu, že výchozí materiály mají otevřenou pórovitost, musí být pře aplikací HIP obaleny nepropustným materiálem, který zabrání přístupu plynu do pórů. Jako obal je obvykle využíváno sklo, případně skelné nebo keramické prášky, které jsou za nižší teploty slinuty a poté lze v horkém lisu aplikovat tlak plynu. Slinovaný materiál je od obalu izolován inertní práškovou vrstvou, např. práškem nitridu boru. Obaly bývají většinou vícevrstvé a jejich jednotliví výrobci pečlivě tají. Po ukončení procesu je třeba obal odstranit, což lze provést chemickou cestou, nebo pískováním. Horké izostatické lisování je technologicky nejnáročnější metodou zhutňování keramik, umožňuje ale vyrobit materiál o vysoké pevnosti s malým rozptylem hodnot mechanických vlastností a tedy vysokým Weibullovým modulem.[8]

4 Zpracování naměřených hodnot

Naměřené a získané hodnoty z experimentu jsou uvedeny v následujících tabulkách. Jsou rozděleny podle zkoušených materiálů.

Tab. 4.1 Naměřené a získané hodnoty oceli 13 781

13 781	VB _B [mm]	VB _{Bmax} [mm]	KB[mm]	∑t[min]	v _c [m/min]	n[1/min]	L[mm]
řez 1	0,01	0,02	0,49	0,9	239	800	103
řez2	0,01	0,02	0,52	1,7	188	630	82
řez 3	0,02	0,04	0,55	3,1	149	500	100
řez 4	0,04	0,05	0,58	4,7	119	400	100
řez 5	0,05	0,07	0,59	5,4	298	1000	102
řez 6	0,07	0,09	0,59	5,8	373	1250	73
řez 7	0,08	0,11	0,6	6,1	478	1600	67
řez 8	0,09	0,13	0,6	8	289	1000	290
řez 9	0,1	0,17	0,61	9,9	289	1000	288
řez 10	0,12	0,2	0,62	11,8	276	1000	286
řez 11	0,13	0,23	0,62	13,7	264	1000	285
řez 12	0,15	0,25	0,62	15,6	251	1000	283
řez 13	0,17	0,27	0,62	17,1	298	1250	281
řez 14	0,19	0,28	0,62	18,6	283	1250	280
řez 15	0,2	0,3	0,63	20,1	267	1250	279
řez 16	0,22	0,31	0,63	21,6	251	1250	278
řez 17	0,23	0,32	0,63	23,1	236	1250	277
řez 18	0,25	0,34	0,63	24,5	220	1250	276
řez 19	0,26	0,35	0,63	25,7	261	1600	274
řez 20	0,28	0,37	0,63	26,8	241	1600	273
řez 21	0,28	0,38	0,63	28	221	1600	272
řez 22	0,29	0,38	0,63	29,1	201	1600	270
řez 23	0,29	0,39	0,63	30,2	181	1600	268
řez 24	0,3	0,39	0,63	31,3	161	1600	267
řez 25	0,3	0,4	0,63	33,2	286	1000	285
řez 26	0,31	0,4	0,64	35,1	273	1000	284
řez 27	0,32	0,41	0,64	37	261	1000	283
řez 28	0,33	0,41	0,64	38,9	248	1000	282
řez 29	0,35	0,42	0,64	40,4	294	1250	281
řez 30	0,36	0,43	0,64	41,9	279	1250	280
řez 31	0,36	0,44	0,64	43,3	263	1250	279
řez 32	0,37	0,45	0,64	44,8	247	1250	278
řez 33	0,37	0,46	0,64	46,3	232	1250	277
řez 34	0,38	0,47	0,64	47,8	216	1250	276
řez 35	0,39	0,48	0,64	48,9	256	1600	275
řez 36	0,39	0,49	0,64	50,1	236	1600	274
řez 37	0,4	0,5	0,64	51,2	216	1600	273
řez 38	0,4	0,5	0,64	52,3	196	1600	272
řez 39	0,41	0,51	0,65	53,5	176	1600	271
řez 40	0,41	0,51	0,65	54,6	156	1600	270
řez 41	0,42	0,53	0,65	55,7	136	1600	269

Tab. 4.2 Naměřené a získané hodnoty oceli 13 864

13 864	VB _B [mm]	VB _{Bmax} [mm]	KB[mm]	∑t[min]	v _c [m/min]	n[1/min]	L[mm]
řez 1	0,09	0,13	0,63	2,1	121	400	125
řez2	0,09	0,13	0,63	3,8	151	500	125
řez 3	0,09	0,13	0,63	5,3	182	630	143
řez 4	0,09	0,13	0,64	6,5	231	800	143
řez 5	0,13	0,17	0,64	8,4	276	1000	284
řez 6	0,17	0,22	0,64	10,2	264	1000	282
řez 7	0,21	0,27	0,65	12,1	251	1000	282
řez 8	0,26	0,32	0,65	13,6	298	1250	281
řez 9	0,3	0,37	0,65	15,1	283	1250	280
řez 10	0,36	0,41	0,65	16,6	267	1250	280
řez 11	0,38	0,43	0,66	18,1	251	1250	278
řez 12	0,4	0,45	0,66	19,6	236	1250	277
řez 13	0,42	0,47	0,66	21	220	1250	276
řez 14	0,44	0,49	0,67	22,2	261	1600	275
řez 15	0,45	0,51	0,67	23,3	241	1600	275
řez 16	0,47	0,53	0,68	24,5	221	1600	274
řez 17	0,48	0,56	0,69	25,6	201	1600	272

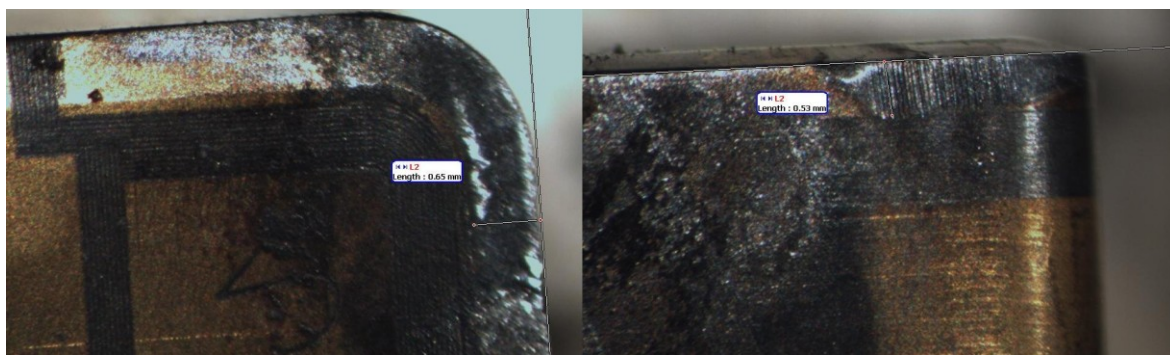
Tab. 4.3 Naměřené a získané hodnoty oceli 13 985

13 985	VB _B [mm]	VB _{Bmax} [mm]	KB[mm]	∑t[min]	v _c [m/min]	n[1/min]	L[mm]
řez 1	0,09	0,11	0,54	1,8	122	400	105
řez2	0,09	0,11	0,56	3	152	500	95
řez 3	0,09	0,11	0,58	3,9	192	630	82
řez 4	0,09	0,11	0,6	6,2	234	800	282
řez 5	0,17	0,21	0,63	8,1	280	1000	280
řez 6	0,19	0,23	0,65	10	267	1000	279
řez 7	0,2	0,28	0,65	11,8	254	1000	278
řez 8	0,24	0,32	0,66	13,3	302	1250	277
řez 9	0,28	0,37	0,66	14,8	287	1250	276
řez 10	0,3	0,41	0,67	16,2	271	1250	276
řez 11	0,32	0,46	0,67	17,7	255	1250	275
řez 12	0,35	0,5	0,68	19,2	240	1250	274
řez 13	0,37	0,52	0,68	20,6	224	1250	274
řez 14	0,41	0,55	0,7	21,8	266	1600	272
řez 15	0,44	0,57	0,71	22,9	246	1600	270

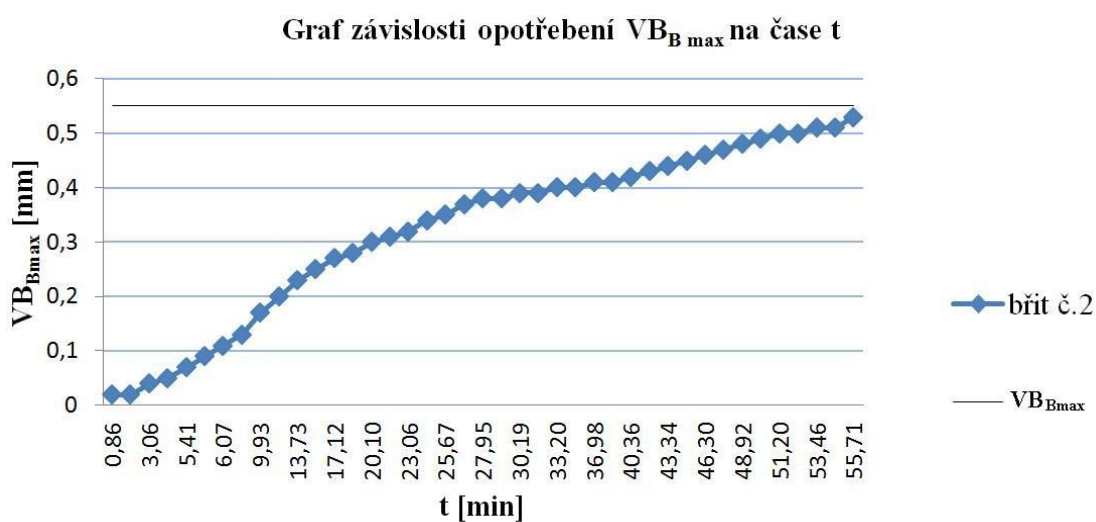
5 Vyhodnocení experimentu

5.1 Břit č. 2 - ocel 13 781

Na břitu č. 2 bylo provedeno 41 řezů na materiálu 13 781. Celková délka obrobení materiálu je 10063mm. U tohoto materiálu docházelo k pomalému rovnoměrnému opotřebení břitu VBD. Břit nebyl opotřeben na kritickou hodnotu opotřebení. Vzniklo rovnoměrné opotřebení na hřbetu destičky a na čele vzniklo opotřebení ve tvaru žlábků (viz Obr. 5.1)



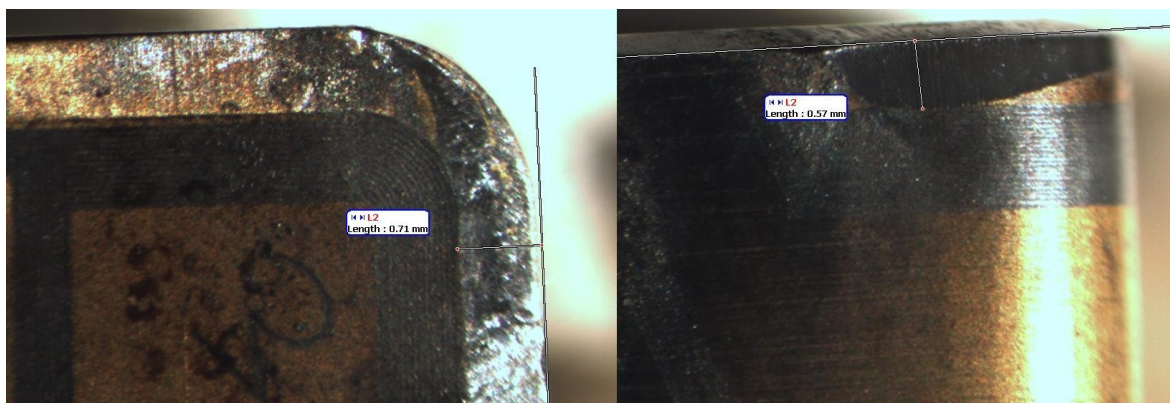
Obr. 5.1 Řez č. 41 vlevo čelo vpravo hřbet VBD



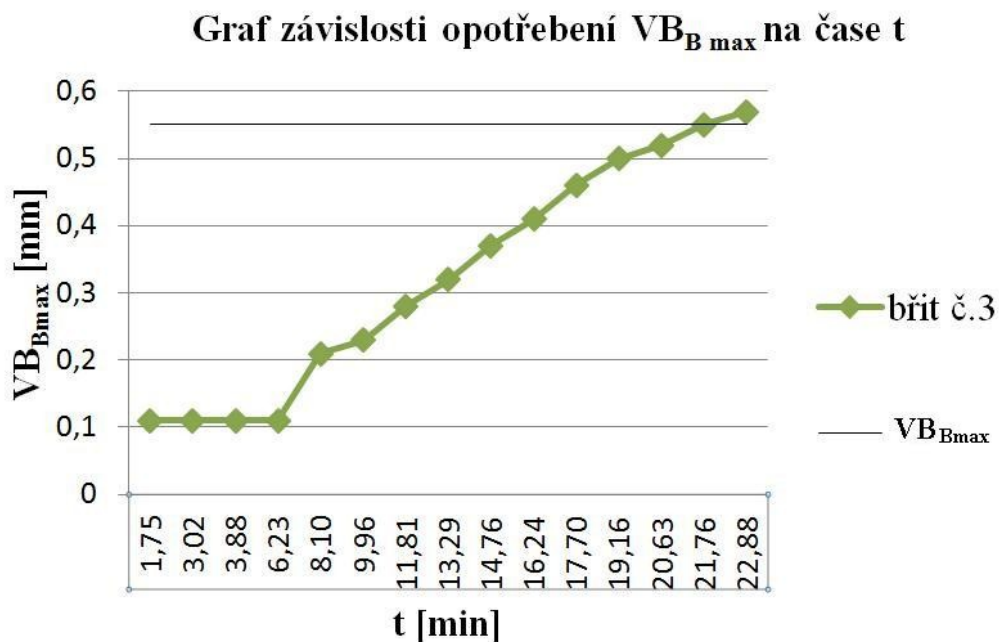
Obr. 5.2 Graf závislosti opotřebení $VB_{B\max}$ na čase t na břitu č. 2

5.2 Břit č. 3 – ocel 13 985

Na břitu č. 3 bylo provedeno 15 řezů na materiálu 13 985. Celková délka obrobení materiálu je 3595mm. U tohoto materiálu docházelo k nejrychlejšímu opotřebení břitu VBD. Břit byl opotřeben na kritickou hodnotu opotřebení. Vzniklo podobné opotřebení jako u břitu č. 2 (viz Obr. 5.3).



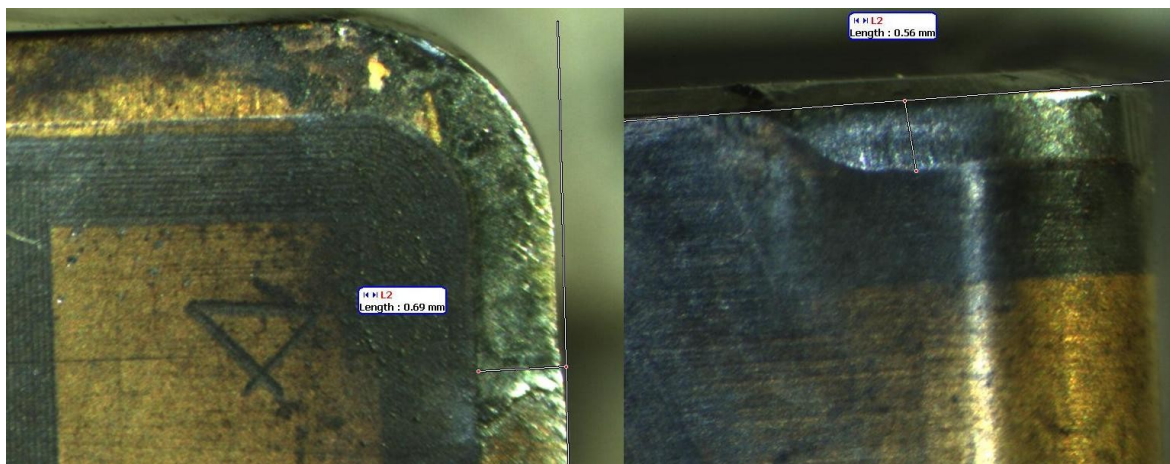
Obr. 5.3 Řez č. 15 vlevo čelo vpravo hřbet VBD



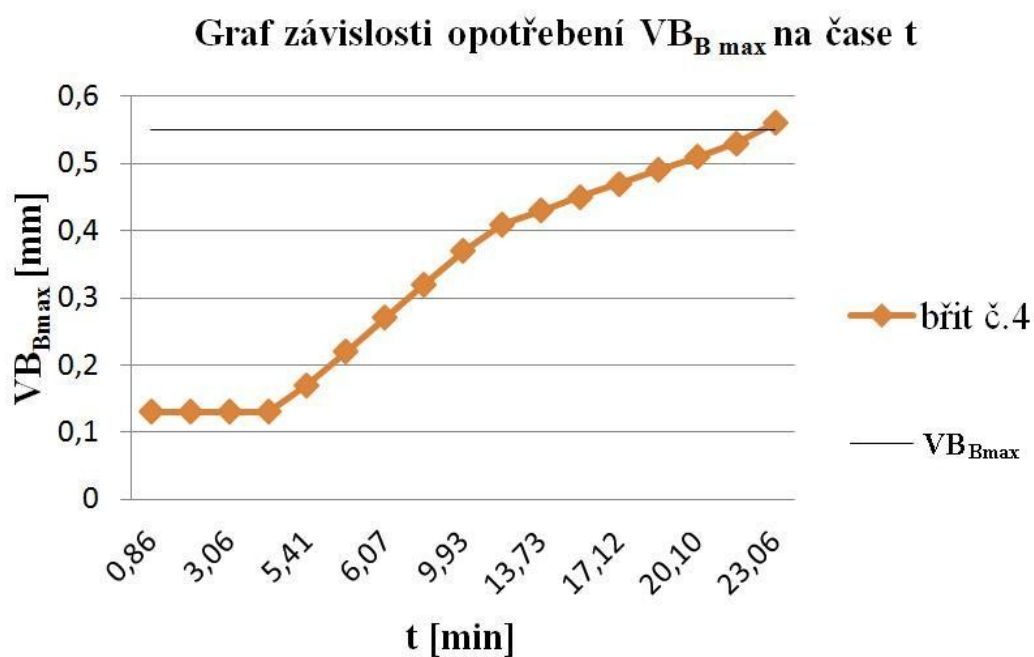
Obr. 5.4 Graf závislosti opotřebení $VB_{B\max}$ na čase t na břitu č. 3

5.3 Břit č. 4 – ocel 13864

Na břitu č. 4 bylo provedeno 17 řezů na materiálu 13 864. Celková délka obrobení materiálu je 4152mm. U tohoto materiálu docházelo k opotřebení břitu VBD střední rychlostí. Břit byl opotřeben na kritickou hodnotu opotřebení. Vzniklo podobné opotřebení jako u břitu č. 2,3 (viz Obr. 5.5).

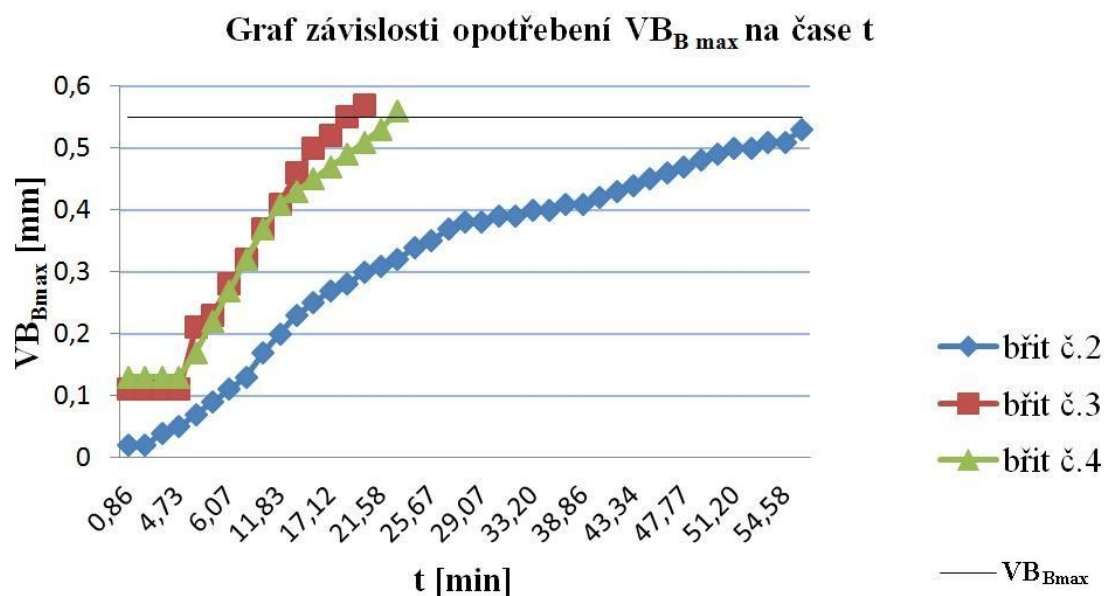


Obr. 5.5 Řez č. 17 vlevo čelo vpravo hřbet VBD



Obr. 5.6 Graf závislosti opotřebení $VB_{B_{max}}$ na čase t na břitu č. 4

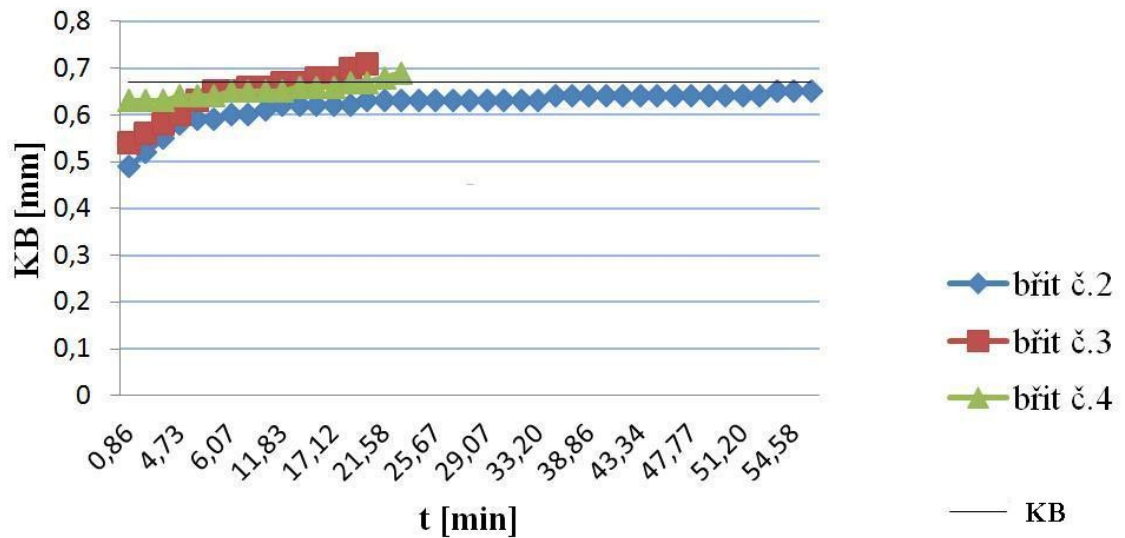
5.4 Grafické porovnání velikosti opotřebení všech břitů



Obr. 5.7 Graf závislosti opotřebení $VB_{B\max}$ na čase t

Na Obr. 5.7 Graf závislosti opotřebení $VB_{B\max}$ na čase t můžeme vidět standardní křivku opotřebení VBD. Křivka břitu č. 2 je velmi pozvolná, křivky břitů č. 3 a 4 jsou strmější. Tyto křivky byly zhotoveny z naměřených hodnot z fotografií břitu. Kritérium opotřebení na hřbetu je dáno hodnotou 0,55mm. U břitu č. 2 nebylo dosaženo opotřebení. Tohoto kritéria bylo dosaženo břitem č. 3 u 14 řezu. Břit č. 4 dosáhl kritéria během 16 řezu. Z těchto křivek jde vyčíst, že materiál 13 781 vykazoval nejmenší nárůst opotřebení ze všech obráběných materiálů. Materiál 13 985 měl naopak největší nárůst opotřebení.

Graf závislosti opotřebení KB na čase t



Obr. 5.8 Graf závislosti opotřebení KB na čase t

Na Obr. 5.8 Graf závislosti opotřebení KB na čase t můžeme vidět standardní křivku opotřebení VBD. Křivka břítu č. 2 je velmi pozvolná, křivky břitů č. 3 a 4 jsou strmější. Tyto křivky byly zhotoveny z naměřených hodnot z fotografií břítu. Kritérium opotřebení na hřbetu je dáno hodnotou 0,67mm. U břítu č. 2 nebylo dosaženo opotřebení. Tohoto kritéria bylo dosaženo břitem č. 3 u 14 řezu. Břit č. 4 dosáhl kritéria během 16 řezu. Z těchto křivek jde vyčíst, že materiál 13 781 vykazoval nejmenší nárůst opotřebení ze všech obráběných materiálů. Materiál 13 985 měl naopak největší nárůst opotřebení.

6 Závěr

Bakalářská práce je zaměřena na sledování opotřebením inteligentních řezných nástrojů při obrábění.

Byl proveden teoretický rozbor soustavy SNOP. Dále opotřebením břitů řezného nástroje a teoretický popis řezné keramiky. Experiment probíhal na univerzálním hrotovém soustruhu. Řezným nástrojem byla neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku s nanesenou odporovou vrstvou. Měření experimentu proběhlo na třech materiálech ocel 13 781, 13 864 a ocel 13 985. Zkoušený materiál byl upnut do sklíčidla a podepřen hrotem, který byl upnut v pinole koníku. Opotřebením bylo měřeno mikrometrickou metodou. Měření bylo provedeno na dílenském mikroskopu se záznamovým zařízením. Naměřené výsledky ukázaly chování břitů při obrábění zkoušených materiálů. U všech třech břitů došlo k stejnému typu opotřebením. Na hřbetě bylo kvalifikováno rovnoměrné opotřebením a na čele opotřebením ve tvaru žlábků. Kritérium opotřebením bylo dáno velikostí odporové vrstvy. Na hřbetě bylo dovolené opotřebením 0,55 mm a na čele 0,67mm. U materiálu 13781 byl nůž v záběru 55,7 minut, opotřebením na hřbetu dosáhlo hodnoty VB_{Bmax} 0,53mm, opotřebením čela dosáhlo hodnoty KB 0,65mm. Břit nedosáhl své trvanlivosti. U materiálu 13864 bylo dosaženo trvanlivosti 25,6 minut, opotřebením na hřbetu dosáhlo hodnoty VB_{Bmax} 0,56mm, opotřebením čela dosáhl hodnoty KB 0,69mm. Řezná keramika u materiálu 13985 dosáhla trvanlivosti 22,9 minut, opotřebením na hřbetu dosáhlo hodnoty VB_{Bmax} 0,57mm, opotřebením čela dosáhlo hodnoty KB 0,71mm. Z výsledků jde vidět, že materiál 13 781 je obrobiteľnější než ocel 13 864 a ocel 13985.

Pro obrábění řezným nástrojem s nanesenou odporovou vrstvou je žádoucí rovnoměrné opotřebením. Oxidační vrub na hřbetu, který nastává obvykle u slinutých karbidů, by měl nežádoucí účinek na experiment. Odporová vrstva by se přerušila v krátkém čase, tím pádem by bylo rychleji dosaženo kritéria opotřebením. Experiment by nebyl objektivně vyhodnocen. Nedostatečná tuhost soustavy SNOP mohla mít negativní vliv na výsledky měření. Tyto hodnoty opotřebením VBD byly směrodatné pro další vyhodnocení experimentu z hlediska teploty a elektrického odporu.

7 Seznam použité literatury

- [1] HRUBÝ, J. *Teorie obrábění*. Vysoká škola báňská Ostrava: Ediční středisko VŠB Ostrava kolektiv BSP, 1988. ISBN 203348-8423/88.
- [2] KOČMAN, K a J PROKOP. *TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [3] ABRAHAM, M. *Technologické aspekty opotřebení řezného nástroje*. Brno: VUT Brno strojní inženýrství, 2008 [cit. 2012-4-21]. Dostupné z [www: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5250](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5250)
- [4] Měření opotřebení nástrojů. [online]. 2011 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/EMO_kapitola_05.pdf
- [5] Příručka obrábění, Pramet Tools s.r.o. [online]. 2004 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://www.mavslovakia.sk/pdf/pramet/prirucka_cz.pdf
- [6] HUMÁR, A. *Technologie i technologie obrábění: 1. část*. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003. 138 s. Studijní opory pro magisterskou formu studia "Strojírenská technologie".
- [7] Electronic catalog [online]. Vancouver: Kyocera industrial corp., 2011. Dostupné z WWW: http://americas.kyocera.com/kicc/pdf/ceramics_brochure.pdf
- [8] HUMÁN, A. *SLINUTÉ KARBIDY A ŘEZNÁ KERAMIKA PRO OBRÁBĚNÍ*. Okružní 17, 638 00 Brno: CCB spol. s.r.o., 1995. ISBN 80-85825-10-4.
- [9] *Mechanické vlastnosti, pevnost v tahu vs. tvrdost* [online]. 2011 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://www.ruukki.cz/Produkty-a-reseni/Hutni-materialy/Layer-pages/Mechanicke-vlastnosti-pevnost-v-tahu-vs-tvrdost>

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Jiřímu Kratochvílovi, Ph.D. za odborné rady a vedení během psaní této bakalářské práce. Bez jeho znalostí a nasazení by nemohl být tento experiment vůbec uskutečněn. Poděkování patří také mým spolužákům Petrovi Dvouletému a Martinovi Bilíkovi, kteří měli za úkol zpracovat další oblasti tohoto experimentu. Zároveň bych chtěl poděkovat VŠB-TU Ostrava za poskytnutí strojů a přístrojů, na kterých byl tento experiment vykonán.

V Ostravě dne: 21.4 2012

Jan Botek