

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Sledování teplot při soustružení inteligentními nástroji

Monitoring of Temperatures in Turning with Intelligent Tools

Student:

Jiří Morys

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Morys**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Téma: **Sledování teplot při soustružení inteligentními nástroji**  
**Monitoring of Temperatures in Turning with Intelligent Tools**

Zásady pro vypracování:

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

Seznam doporučené odborné literatury:

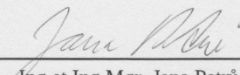
- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno. 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.  
[2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.  
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábani*. 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: 13.12.2013  
Datum odevzdání: 19.05.2014



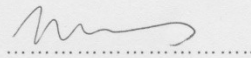
  
\_\_\_\_\_  
Ing.et Ing.Mgr. Jana Petru, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

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

V Ostravě 19. 5. 2014



podpis studenta

### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000Sb. – 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 odstavec 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské 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 odstavec 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. 111/198 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 19. 5. 2014



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jiří Morys

Adresa trvalého pobytu autora práce:

6. Května 11/73, Opava-Zlatníky 746 01

# ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Morys, Jiří. *Sledování teplot při soustružení inteligentními nástroji: Bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2014, 45 s. Vedoucí práce: Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Tato bakalářská práce se zabývá měřením teplot při soustružení s inteligentním nástrojem. Inteligentní nástroj je vyměnitelná břitová destička z řezné keramiky, na které je nanášena odporová vrstva. Dále jsou rozebrány metody měření teploty řezání při soustružení a rozbor keramických nástrojových materiálů.

Hlavní část této bakalářské práce se zabývá rozбором a následným vyhodnocením naměřených dat získaných při experimentu.

## ANNOTATION OF THESIS

Morys, Jiří. *Monitoring of Temperatures in Turning with Intelligent Tools: Bachelor thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining and Assembly, 2013, 45- p. Thesis head: Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

This bachelor thesis deals with measurement of temperatures in turning with intelligent tools. The intelligent tool is a cutting insert of cutting ceramics, on which is applied a resistive layer. Also discussed are methods of measuring cutting temperature when turning, and analysis of ceramic tool materials.

The main part of this thesis deals with the analysis and subsequent evaluation of the measured data obtained in the experiment.

# Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Vznik tepla</b> .....	<b>9</b>
2.1. Tepelné jevy při obrábění a tepelná bilance .....	9
2.2. Teplota řezání .....	10
<b>3. Měření teplot</b> .....	<b>11</b>
3.1. Termočlánky.....	11
3.1.1. Termočlánek přirozený.....	12
3.1.2. Termočlánek poloumělý.....	12
3.1.3. Termočlánek umělý.....	13
3.2. Termistory .....	14
3.3. Pyrometry .....	14
3.4. Měření pomocí termovce.....	15
3.5. Změna struktury, teploměrné křídly a barvy .....	15
<b>4. Řezná keramika</b> .....	<b>17</b>
4.1. Výroba řezné keramiky .....	17
4.2. Použití keramických nástrojů .....	17
4.3. Rozdělení řezné keramiky .....	18
<b>5. Vlastní experiment</b> .....	<b>19</b>
5.1. Stroj .....	19
5.2. Pyrometr .....	20
5.3. Infrapyrometr MAUER – KTR 1085-1 .....	23
5.4. Zařízení pro záznam naměřených hodnot.....	25
5.5. Kalibrace pyrometru AMIR 7838 – 21.....	25
5.6. Nožový držák CERAMDEX .....	27

5.7. Řezný nástroj .....	28
5.8. Materiál.....	30
<b>6. Zpracování a vyhodnocení experimentu .....</b>	<b>31</b>
6.1. Postup experimentu .....	31
6.2. Vyhodnocení závislosti teploty na čase.....	32
6.2.1. Řezná hrana číslo 7.....	32
6.2.2. Řezná hrana číslo 1 .....	33
6.2.3. Řezná hrana číslo 3.....	34
6.2.4. Řezná hrana číslo 4.....	35
6.2.5. Řezná hrana číslo 5.....	36
6.2.6. Řezná hrana číslo 6.....	37
6.3. Stanovení statické rovnice teploty řezání .....	38
<b>7. Závěr .....</b>	<b>42</b>

## Seznam použitého značení

$a_p$	Hloubka řezu	[mm]
$v_c$	Řezná rychlost	[m·min <sup>-1</sup> ]
$f$	Posuv	[mm]
$n$	Otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
$Q$	Celkové teplo	[J]
$Q_{tř}$	Teplo odcházející do třísky	[J]
$Q_o$	Teplo odcházející do obrobku	[J]
$Q_n$	Teplo odcházející do nástroje	[J]
$Q_{pr}$	Teplo odcházející do prostředí	[J]
$Q_e$	Teplo řezného procesu	[J]
$Q_{pd}$	Teplo vzniklé v primární oblasti plast. deformace	[J]
$Q_{tě}$	Teplo vzniklé v sekundární oblasti plast. deformace	[J]
$Q_{th}$	Teplo vzniklé v terciální oblasti plast. deformace	[J]
$\Theta_m$	Teplota měření	[°C]
$\Theta_o$	Teplota okolí	[°C]
mV	Milivoltmetr	[-]
$E$	Emisivita	[-]
$D$	Průměr obráběného materiálu	[mm]
$l$	Délka řezu	[mm]
$C_\theta$	Teplotní konstanta	[-]
$C_1, C_2$	Konstanty statické rovnice	[-]
$Y_\theta, Z_\theta$	Exponenty statické rovnice	[-]
$R_m$	Pevnost v tahu	[MPa]
$R_{p02}$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
$A$	Tažnost	[%]



## 1. Úvod

V dnešní době je při velkosériové výrobě často využíváno bezobslužných systémů výroby. Zavádění nových technologií klade vysoké nároky nejen na stroje používané v procesu obrábění, ale i na nástroje s břitovými destičkami. Tyto bezobslužné systémy se používají hlavně pro snížení výrobních nákladů. Jako hlavní je maximální využití vyměnitelné břitové destičky při dosažení požadované drsnosti i rozměrové a geometrické přesnosti výrobku. Využití vyměnitelné břitové destičky je jedním z hlavních faktorů ovlivňující ekonomičnost výroby. Aby bylo dosaženo všech požadovaných vlastností obrobku, musí být stanovena trvanlivost vyměnitelné břitové destičky, po kterou může být destička v záběru. Při obrábění může dojít k tomu, že i když břitová destička ještě nedosáhla svého úplného opotřebení, dochází k předčasné výměně destičky, a tím rostou náklady na výrobu daného obrobku. V dnešní době existuje mnoho způsobů, jak zkontrolovat opotřebení dané destičky, ale žádný z těchto způsobů to nedokáže kontrolovat během procesu řezání. Následným přerušením řezu a kontrolou destičky dochází ke snížení produktivity výroby, z čehož vyplývá zvýšení nákladů. Destička, která byla použita při tomto experimentu (Kycocera KS – 6000), má na svém povrchu nanesenou odporovou vrstvu, která nám umožňuje změřit řeznou hranu přímo v řezu. A proto můžeme okamžitě zjistit, zda došlo k maximálnímu dovolenému opotřebení destičky, a jestli je nutná její výměna. Tato metoda je velmi jednoduchá, rychlá a v praxi snadnou použitelná.

Tato bakalářská práce se zabývá měřením teploty řezné hrany při soustružení inteligentním břitovým nástrojem. Dále se tato práce zaměřuje na vliv řezných podmínek na teplotu soustružení. Tento experiment byl rozdělen na čtyři dílčí části a to z důvodu velké obsáhlosti tématu. Tato práce je zaměřena pouze na měření teploty, další tři části jsou měření opotřebení, elektrického odporu a měření vibrací stroje během soustružení. Avšak těmito třemi částmi se tato bakalářská práce nezabývá.

## 2. Vznik tepla

Většina vynaložené práce při řezání a odebrání třísky se mění v teplo. To je příčina vzniku vysoké teploty ve velmi malé oblasti břitu nástroje, která má nepříznivý vliv na řezné vlastnosti nástroje (dochází k jeho otupování), mění mechanické vlastnosti obráběného materiálu a přesnost obráběné plochy. Dále je teplota řezání jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících proces řezání a má vliv na všechny parametry řezání. Závisí na ní možnosti a vhodnost použití různých řezných rychlostí, posuvu, hloubky řezu a také ovlivňuje trvanlivost nástroje. Z výše uvedených skutečností vyplývá, že teplota nepřímo, ale zásadně ovlivňuje produktivitu a ekonomičnost výroby. [1]

### 2.1. Tepelné jevy při obrábění a tepelná bilance

#### Tepelné jevy při obrábění

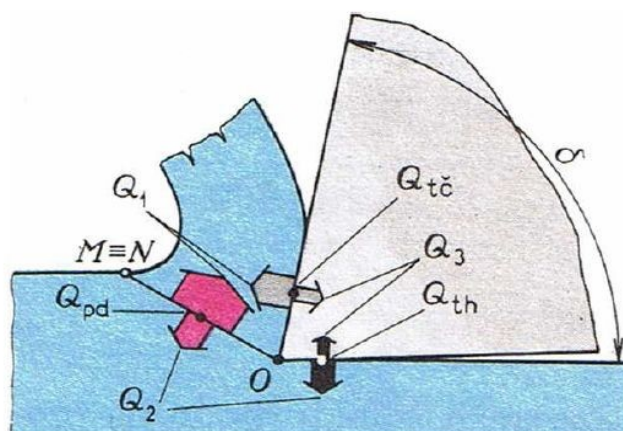
Vznik třísky při obrábění a její odvod z místa řezu je doprovázen vznikem určitého množství tepla. Ke vzniku tepla dochází transformací vynaložené práce. V teplo se přeměňuje téměř veškerá práce vynaložená na proces řezání s výjimkou práce pružných deformací a práce utajené. [5]

#### Tepelná bilance

Teplo řezného procesu  $Q_e$  vzniklé při odebrání určitého množství materiálu je přibližně rovné práci řezného procesu  $E_e$ .

$$Q_e \cong E_e \quad (2.1)$$

Hlavní zdroje tepla jsou v oblastech plastických deformací při tvoření třísky, v oblasti tření třísky po čele nástroje a v oblasti tření hřbetu po obrobené ploše. Viz. (Obr. 2.1.)



Obr. 2.1 Zdroje tepla [9]

$Q_{pd}$  – vzniká přeměnou práce plastických deformací, v oblasti  $OMN$ ,

$Q_{tč}$  – vzniká přeměnou práce tření, na styčné ploše čela,

$Q_{th}$  – vzniká přeměnou práce tření, na styčné ploše hřbetu,

$$Q_e = Q_{pd} + Q_{tč} + Q_{th} \quad (2.2)$$

Vzniklé teplo řezného procesu  $Q_e$  je odváděno do jednotlivých prvků obráběcího systému.

$$Q_e = Q_t + Q_o + Q_n + Q_{pr} \quad (2.3)$$

$Q_t$  - Teplo odvedené třískou [J],

$Q_o$  - Teplo odvedené obrobkem [J],

$Q_n$  - Teplo odvedené nástrojem [J],

$Q_{pr}$  - Teplo odvedené prostředím [J].

## 2.2. Teplota řezání

Z hlediska opotřebení nás zajímají jak maximální teploty na čele a na hřbetu, tak i rozložení teplot na těchto plochách. Stanovení teplotního pole čela a hřbetu je experimentálně velmi náročné. Proto se často spokojíme jen se stanovením středních teplot na těchto plochách, popř. stanovením střední teploty celé styčné plochy nástroje s třískou a obrobkem. Střední teplota bude pochopitelně nižší než maximální teplota na břitě, má však výhodu, že ji lze stanovit podstatně snadněji. [1]

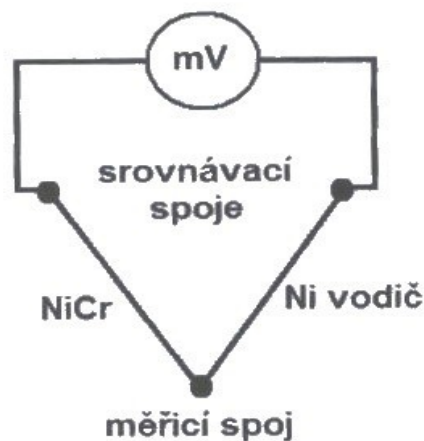
### 3. Měření teplot

Pro měření teploty lze využít celou řadu fyzikálních nebo chemických jevů. Vzhledem k náročnosti a specifickým podmínkám procesu obrábění lze použít pouze některé z metod. Při experimentálním stanovování a při praktických měřeních se využívá především těchto jevů [13]:

- termoelektrický jev (termočláanky),
- změna elektrického odporu (termistory),
- tepelné záření (pyrometry, termovize, fotometrie),
- změna struktury (teploměrné křídly a barvy).

#### 3.1. Termočláanky

Při měření termočláanky se využívá tzv. termoelektrického jevu. Tento jev využívá vzniku termoelektrického napětí (termoelektrický - Seebeckův jev), v obvodu tvořeném dvěma různými vodiči, jejichž konce jsou vodivě spojeny, jestliže jsou oba spoje udržovány na různých teplotách. Při obrábění se ho využije tak, že měřicí spoj je umístěn do místa měření teploty  $\theta_m$  a srovnávací spoj je udržován na známé teplotě  $\theta_o$  (obvykle teplota okolí). K těmto vodičům je pak připojen milivoltmetr (obr.3.1).



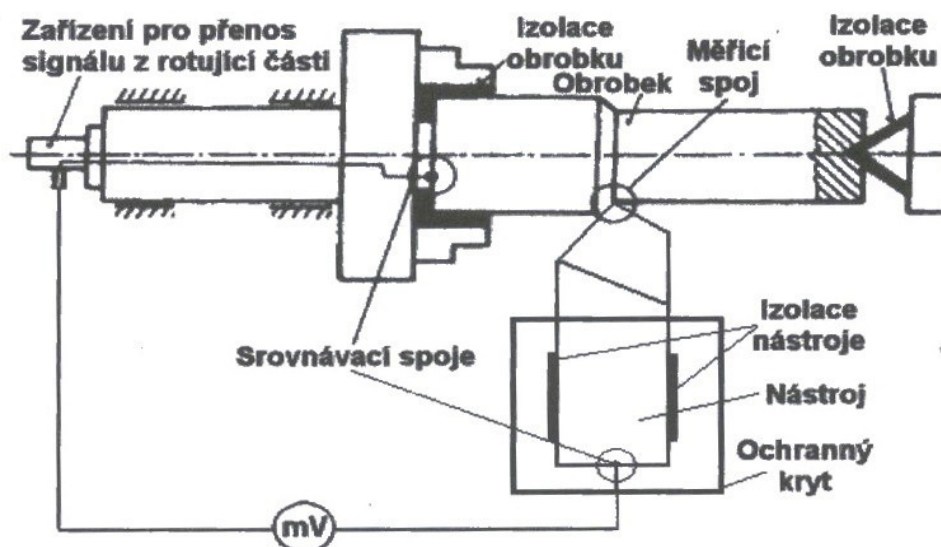
Obr. 3.1 Schéma zapojení termočláanky[10]

Podle provedení lze termočláanky rozdělit:

- termočlánek přirozený,
- termočlánek poloumělý,
- termočlánek umělý.

### 3.1.1. Termočlánek přirozený

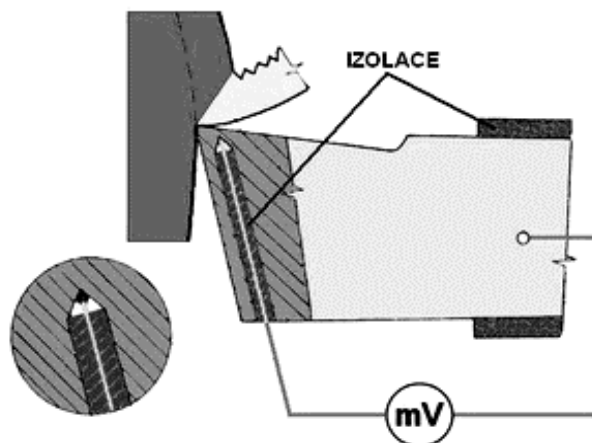
Přirozený termočlánek, jak název napovídá, je bez přídavného cizího vodiče. Jedním z vodičů je materiál nástroje a druhým materiál obrobku. Měřicí spoj je přímo v místě styku břitu nástroje s obrobkem, tzn. na ploše styku třísky s čelem a hřbetu s plochou řezu. Termoelektrické napětí je potom úměrné střední teplotě v oblasti styku – teplotě řezání. Na ploše styku vzniká soustava elementárních termočlánků s různou teplotou v jednotlivých bodech. Výsledné napětí je proto aritmetickým průměrem termoelektrických napětí těchto mikročlánků. Nutnou podmínkou je vzájemné odizolování nástroje a obrobku. Při běžných měřeních většinou postačuje odizolování nástroje od obráběcího stroje, ale pro zvýšení spolehlivosti a přesnosti měření je účelné odizolovat od stroje i obrobek. Nevýhodou přirozených termočlánků je nutnost obtížného a zdlouhavého cejchování systému pro každou dvojici materiálu nástroje a obrobku. [1]



Obr. 3.2 Schéma zapojení přirozeného termočlánku [6]

### 3.1.2. Termočlánek poloumělý

Při poloumělém termočlánku je jeden vodič termočlánku materiál nástroje nebo obrobku a druhý cizí vodič vodič spojený v místě řezu. Na rozdíl od umělých termočlánků jsou více použitelné vzhledem k malým rozměrům cizího vodiče, který lze snáze umístit do místa měření. Jeho využití závisí na možnostech umístění izolovaného vodiče do místa řezu a jeho vodičové spojení s materiálem obrobku nebo nástroje. Schéma zapojení viz. obr.3.3.

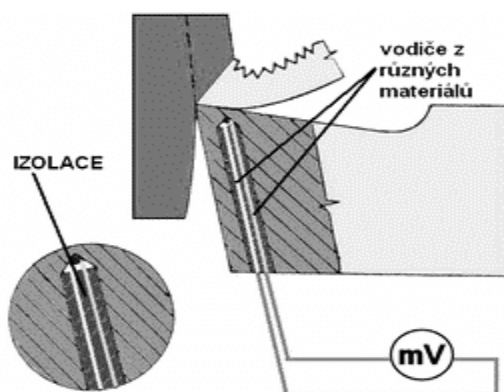


Obr. 3.3 Schéma zapojení poloumělého termočláčku [1]

### 3.1.3. Termočlánek umělý

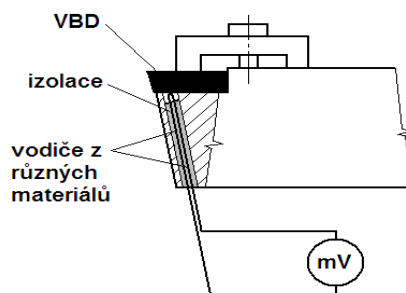
Podstatou umělého termočláčku je přímé umístění termočláčku do místa řezu (měření teploty). S pomocí těchto dvou cizích vodičů lze měřit teplotu v různých místech nástroje i obrobku, kromě stykových ploch břitu s třískou a plochou řezu. Nejčastěji se používá k měření teploty na břitu nástroje. [1]

Upravený a izolovaný termočlánek se vloží na dno otvoru v nástroji (obr.3.4). Vlastní zabudování termočláčku do nástroje je poměrně složité a lze jen obtížně určit přesnou polohu umístění měřicího spoje termočláčku. Tato poloha zároveň mění i podmínky vedení tepla a často znehodnocuje obráběcí nástroj. [1]



Obr. 3.4 Schéma zapojení umělého termočláčku[1]

Proto se častěji používá nástrojů s vyměnitelnou břitovou destičkou (slnutý karbid). Termočlánek je stabilně zabudovaný v nástroji a snímá teplotu na dolní ploše břitové destičky (obr.3.5).



Obr. 3.5 Umělý termočlánek pro nástroj s vyměnitelnou břitovou destičkou[14]

### 3.2. Termistory

Pod pojmem termistory rozumíme nelineární elektrické součástky charakterizované vysokou závislostí jejich elektrického odporu ke změně teploty. Teplotní koeficient odporu je nejméně pětkrát, v některých případech však i padesátkrát větší než u kovových vodičů (mědi), což umožňuje jejich výhodné použití v různých obvodech měřicí, regulační, automatizační a sdělovací techniky. Použití termistorů je založeno jednak na změně odporu termistorového čidla se změnou teploty prostředí, které termistor obklopuje. [16]

Rozlišujeme dva druhy termistorů, jejichž elektrický odpor je značně závislý na teplotě :

- termistory se záporným teplotním součinitelem (NTC – *Negative Temperature Coefficient*), kde elektrický odpor s rostoucí teplotou klesá,
- termistory s kladným teplotním součinitelem (PTC – *Positive Temperature Coefficient*), kde elektrický odpor s rostoucí teplotou vzrůstá.

Rozmezí teplotního použití termistorů bývá od  $-200^{\circ}\text{C}$  do  $+300^{\circ}\text{C}$ . Termistory jsou vyráběny spékáním z práškových kysličnickových materiálů (např.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{BaO}$  apod.), které se po vytváření podrobují spékání za předepsaných podmínek, montáži vývodů a konečné úpravě, zahrnující též stabilizaci elektrických parametrů tepelným nebo proudovým vystárnutím.[16]

### 3.3. Pyrometry

Pyrometry patří mezi bezdotyková měřidla určená k měření teploty fungující na principu tepelného záření, které vysílají do okolního chladnějšího prostředí měřené objekty. Při experimentálním měření se tato metoda používá k měření povrchové soustavy stroj – nástroj – obrobek. Všechny radiační pyrometry pracují s malými chybami pouze v případech, kdy

emisivita  $\varepsilon \rightarrow 1$ . Tuto podmínku splňují dobře uzavřené prostory, objekty bez lesku apod. aby pyrometr měřil teplotu zářiče správně, musí být zaručeno, že na přijímači záření dopadají jen tepelné paprsky zářiče. Zdrojem častých chyb je rušivě působící denní světlo. Například těleso ozářené sluncem nelze měřit. [1]

### 3.4. Měření pomocí termovce

Z hlediska studia teplotních jevů při procesu obrábění představuje termovize velmi přesnou a progresivní metodu v experimentálním výzkumu teplot při řezání. Předností této metody je záznam i velmi rychlé změny teploty, což je důležité především pro posouzení dynamických jevů. Uspořádání je v podstatě stejné jako u termokamery, tzn. že je termovize umístěna na suportu a objektiv zaměřen přímo do oblasti řezu. Velkou výhodou tohoto profesionálního systému je možnost vybrat si ze snímku jeden či více bodů, kde můžeme zjistit okamžité teploty v místě řezu či zobrazit celé teplotní pole obráběcího nástroje. Důležitou podmínkou je správné nastavení emisivity měřeného materiálu obrobku. [1]



*Obr. 3.6 Termovizní kamera infraCAM [8]*

### 3.5. Změna struktury, teploměrné křídly a barvy

Teplotní indikátory jsou termochemické teploměry, kterými se dají určovat místa se stejnou teplotou, tzv. izotermy. Po nanesení těchto látek na povrch zkoumané součásti dochází po dosažení její určité teploty ke změně barvy, či skupenství. Teplotní pole lze tak získat poměrně rychle, bez náročných příprav na měření a bez poškození nástroje či obrobku. Nevýhodou tohoto měření je nemožnost získání přehledu o teplotě v místě styku obráběcího nástroje s třískou a výroba těchto látek je pouze pro malý rozsah teplot. Mezi nejpoužívanější indikátory patří [13]:



- teploměrné barvy (thermcolors),
- teploměrné tužky (thermocrayons),
- teploměrné křídly nebo vosky.

## 4. 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 nazývaných) keramických látek. [4]

Je to tedy polykrystalický materiál se zrnými malými rozměry, který obsahuje náhodné technologické defekty a mikrostrukturní nehomogenity a vyznačuje se zejména vysokou tvrdostí, nízkou houževnatostí a nízkou měrnou hmotností. Řeznou keramikou se rozumí řezný materiál, který se používá především na obrábění velmi tvrdých materiálů a tento řezný materiál umožňuje i vysokorychlostní obrábění, kde odolává vysokým teplotám. [3]

### 4.1. Výroba řezné keramiky

Proces výroby kompaktních keramických součástí (a tedy i vyměnitelných břitových destiček pro řezné nástroje) je velmi podobný procesu výroby součástí ze slinutých karbidů a cermetu (např. příprava práškové směsi, mletí, míchání, tvarování, sušení, předsunování, slinování 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 (jako je např. u slinutých karbidů, kde pojící fází je kobalt, nebo u cermetu, kde je pojivem převážně nikl). 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. [4]

### 4.2. Použití keramických nástrojů

Výrobní průmysl řezných nástrojů třídí slinuté karbidy do tříd podle normy ISO, Standard, R513 nebo podle Mezinárodní organizace pro standardizaci nebo podle norem Joint Industrial Council of the United States. Stupně směsné keramiky jsou obvykle vybírány pro obrábění železných kovů při vysokých řezných rychlostech, když je požadována vysoká přesnost rozměrů a hladký povrch. Přerušované řezy jsou doporučeny jen s velmi malým průřezem třísky a silným ostřím. V posledních letech začala různá průmyslová odvětví nahrazovat broušení součástí z kalené oceli soustružením řeznými nástroji ze směsné keramiky. Celkové náklady často porovnávají posun od broušení k soustružení. Například

automobilový průmysl žádá tento proces soustružení kalených ozubených věnců, planetových soukolí, hnacích poloos a podobných součástí. [2]

### **4.3. Rozdělení řezné keramiky**

Pro dělení a značení keramických řezných materiálu neexistuje konkrétní norma (jako je tomu např. u slinitých karbidů), všeobecně je používáno následující dělení[6]:

- Oxidová keramika

o Čistá –  $Al_2O_3$ ,

o Polosměsná  $Al_2O_3 + ZrO_2$  ,  $Al_2O_3 + ZrO_2 + CoO$ ,

o Směsná  $Al_2O_3 + TiC$ ,  $Al_2O_3 + TiN$ ,  $Al_2O_3 + ZrO_2 + TiC$ ,  $Al_2O_3 + ZrO_2 + TiN$ ,

- Nitridová keramika  $Si_3N_4$ ,  $Si_3N_4 + Y_2O_3$ ,  $Si_3N_4 + TiN$ ,

## 5. Vlastní experiment

Tato část bakalářské práce se zabývá všemi použitými stroji, přístroji, měřidly, použitým řezným nástrojem a materiálem. Dále popisem samotného experimentu a vyhodnocením naměřených dat a informací.

### 5.1. Stroj

Na tento experiment byl zvolen univerzální hrotový soustruh MAŠSTROJ TROJAN C11 MV, který byl dostupný v laboratoři VŠB – TU Ostrava. (obr. 5.1).



*Obr. 5.1 Soustruh MAŠSTROJ TROJAN C11 MV*

#### **Základní parametry soustruhu:**

Vzdálenost hrotů:	1100 mm.
Oběžný průměr nad ložem:	500 mm.
Oběžný průměr nad suportem:	290 mm.
Průměr sklíčidla:	ø250/315 mm.

Zdvih příčného suportu:	270 mm.
Zdvih podélného suportu:	950 mm.
Výkon hlavního motoru S1:	15 W

## 5.2. Pyrometr

V rámci této bakalářské práce byl pro měření teploty na inteligentním nástroji použit pyrometr AMIR 7838 – 21. (obr. 5.2). Tento pyrometr byl propojen se záznamovým zařízením ALMEMO 2590-4S, a toto záznamové zařízení ukládalo naměřené hodnoty přímo do počítače tak, abychom s nimi mohli dále pracovat.

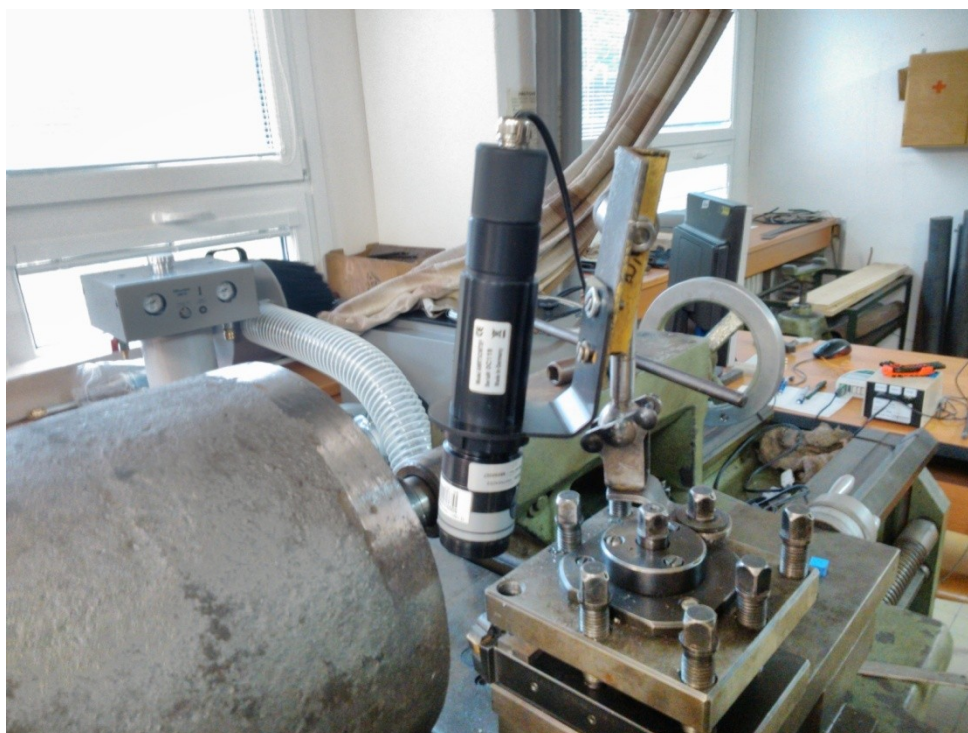


*Obr. 5.2 pyrometr AMIR 7838-21 [7]*

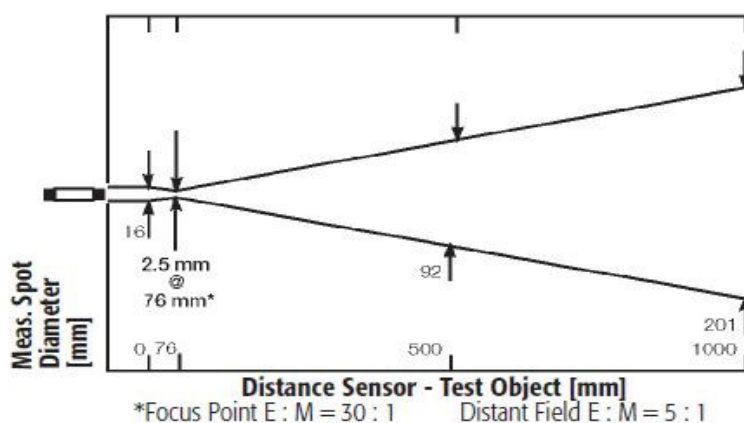
### Technické parametry pyrometru AMIR 7838 – 21[7] :

Měřicí rozsah:	200 – 1000 °C.
Přesnost:	+ - 1 % z měřené hodnoty (při správně nastavené emisivitě), nebo + - 1,4 °C (platí vyšší hodnota).
Reprodukovatelnost:	+ - 0,5 % z měřené hodnoty, nebo + - 0,7 °C (platí vyšší hodnota).
Spektriální citlivost:	3,9 nm.
Doba odezvy:	165 ms pro 95 % hodnoty.
Emisivita:	0,10 – 0,99 v krocích po 0,01.
Výstup:	4 – 20 mA lineární.
Napájecí napětí:	12 – 24 V DC + - 20 %.
Dovolená teplota okolí:	bez chlazení: 0 – 70 °C. se vzduch. chlazením: 0 – 120 °C. s vodním chlazením: 0 – 175 °C. s ochr. Al-pouzdrém: 0 – 315 °C. skladovací: -18 – 85 °C.
Rel. vlhkost:	10 – 95 % nekondenzující.
Rozměry:	délka: 187 mm. průměr bez chlazení: 42 mm. průměr s chlazením: 60 mm.
Hmotnost:	bez chlazení: 330 g. s chlazením: 595 g.
Pouzdro:	Al – slitina, NEMÁ 4 (IEC 529, IP65).
Odolnost proti nárazu:	50C, 11ms, ve všech osách (IEC 68-2-27).
Odolnost proti vibracím:	3G, 11 – 200 Hz ve všech osách (IEC 68-2-6).

Aby byl pyrometr přesně nastaven, je nutné použít optický zaměřovač a přes zrcátko, které je natočené o 90°, zaměřit přes nitkový kříž bod zaměřovače přímo na měřené těleso. V našem případě se jedná o špičku hrany řezného nástroje (obr. 5.3). Pro správné měření musí být dodržena ohnisková vzdálenost pro daný typ pyrometru (obr. 5.4). Nevýhodou tohoto měření je, že tato metoda je méně přesná oproti laserovým měřidlům. Příčinou nepřesností by mohly být odlétávající třísky z místa řezu, které zasahovaly do paprsku pyrometru, nebo také nechtěná manipulace s pyrometrem při odstraňování zaměřovače, a tím nepřesné nastavení paprsku na špičku nástroje.



Obr. 5.3 Nastavení pyrometru na špičku nástroje.



Obr. 5.4 Závislost rozměru cíle na vzdálenosti čočky od měřeného objektu[7]

### 5.3. Infrapyrometr MAUER – KTR 1085-1

Z důvodů nepřesného měření pomocí pyrometru AMIR 7838 – 21, které mohlo být způsobeno nepřesným nastavením paprsku na špičku nástroje, odlétávajícími třískami nebo při vznikajících rázech, mohlo dojít k odchýlení paprsku ze špičky nástroje, byl použit infrapyrometr MAUER – KTR 1085 – 1 (obr. 5.5).



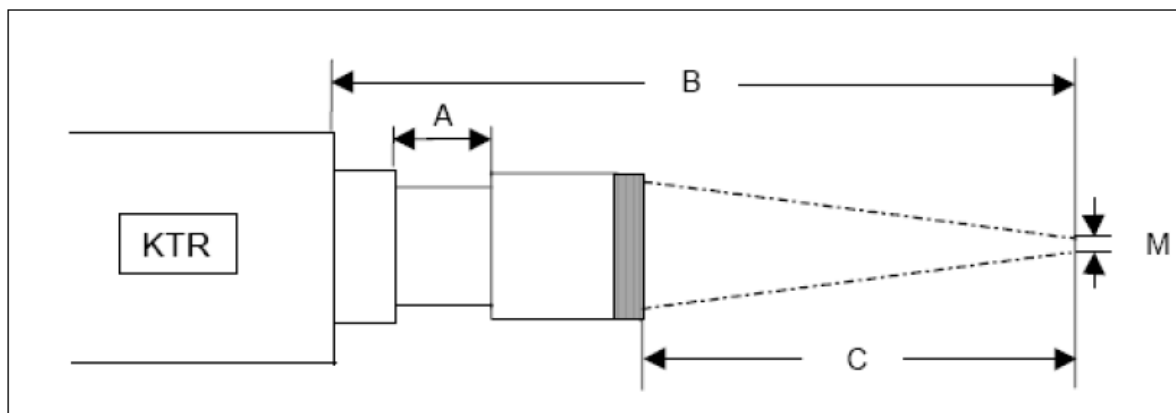
Obr. 5.5 Infrapyrometr MAUER - KTR 1085-1 [12]

#### Technická specifikace[12]:

Typ přístroje:	KTRD 1085-1.
Charakteristika zaměřovače:	zaměřující infračervený paprsek.
Rozsah měřených teplot:	MR1: 550 - 1800°C (1022 - 3272°F).
Spektrální rozsah:	0,85 - 1,1 $\mu\text{m}$ .
Čas odezvy:	<10 ms.
Nepřesnost měření:	0,5 % z měřené hodnoty v °C $\pm$ 1°C ( $\epsilon=1$ , $T_u=23^\circ\text{C}$ , $T_{95} = 1\text{s}$ ).
Reprodukovatelnost:	0,1 % z měřené hodnoty v °C $\pm$ 1°C ( $\epsilon=1$ , $T_u=23^\circ\text{C}$ , $T_{95} = 1\text{s}$ ).
Emisní faktor $\epsilon$ :	100 - 10 % nastavitelné u jednotky nebo přes rozhraní.
Analogový výstup:	0 - 20 mA nebo 4 - 20 mA, zátěž max. 500R.
Rozlišení:	<0,1% analogový výstup, <0,1°C na rozhraní.
Výstupní mez:	24 V DC / max. 100 mA.
Rozhraní:	RS 232 $\pm$ 50 V izolované.
Objektiv:	pro adaptaci k měřeným aplikacím je k dispozici rozšířená volba objektivů.
Pracovní teplota:	pyrometr 0 - 50°C (32 - 122°F), optický systém do 150°C (302°F).
Skladovací teplota:	-10°C - +70°C (14 - 158°F).
Teplotní citlivost:	0,05 % / °C.
Vlhkostní tolerance:	35 - 85 % relativní vlhkosti (bez kondenzace).
Pracovní napětí:	24 V DC $\pm$ 10 % or 18 V AC $\pm$ 10 % < 160 mA.
Propojení jednotky:	12-pin konektor.

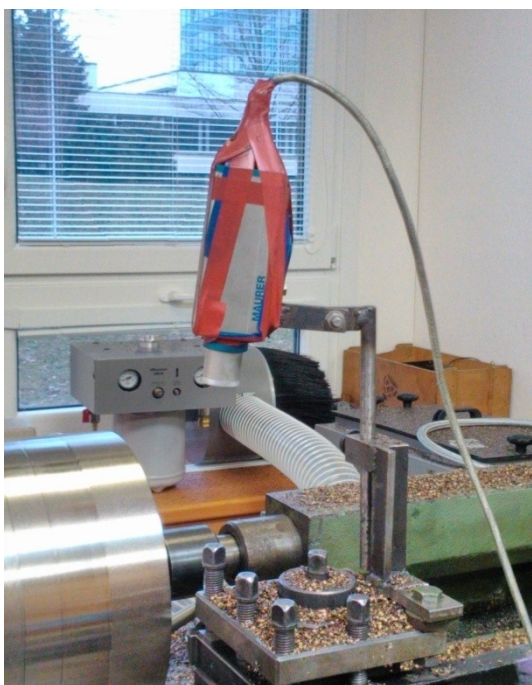


Rozměry V / Š / D: 54 x 54 x 147 mm (2,13 x 2,13 x 5,79 inch) / ALU-obal.  
Hmotnost: 0,6 kg (1,32 lbs).



Obr. 5.6 Zaostřovací parametry optiky [12]

Ohnisková vzdálenost:  $C = 229$  mm.  
Optické prodloužení:  $A = 13$  mm.  
Rozměr cíle:  $M = 1,5$  mm.  
Měřicí vzdálenost mezi krytem a cílem:  $B = 285$  mm.  
Měřicí optika: bezbarvá f 60  $\varnothing 22,4$ .



Obr. 5.7 Ukázka měření s infrapyrometrem MAURER - KTR 1085-1

#### 5.4. Zařízení pro záznam naměřených hodnot

Záznamové zařízení ALMEMO (Obr. 5.8) slouží ke zpracování naměřených hodnot, které nám vysílá pyrometr AMIR 7838-21 v rozmezí 4 – 20 mA. Tyto hodnoty se v procentech mA ukládají přímo do počítače, kde s těmito hodnotami v procentech mA můžeme dále pracovat, zpracovávat je a následně vyhodnocovat.



*Obr. 5.8 Dataloger ALMEMO 2590-4S*

#### 5.5. Kalibrace pyrometru AMIR 7838 – 21

Naměřené hodnoty z pyrometru AMIR 7838 -21 na dataloger ALMEMO 2590– 4S byly zaznamenávány pouze v % mA. To znamená, že nedošlo k převodu výstupního signálu (v % mA) na °C, proto musela být provedena kalibrace tohoto pyrometru, a tím následný převod výstupního signálu na již zmiňované °C. Poté je uskutečnitelné určit závislost teploty na mA.

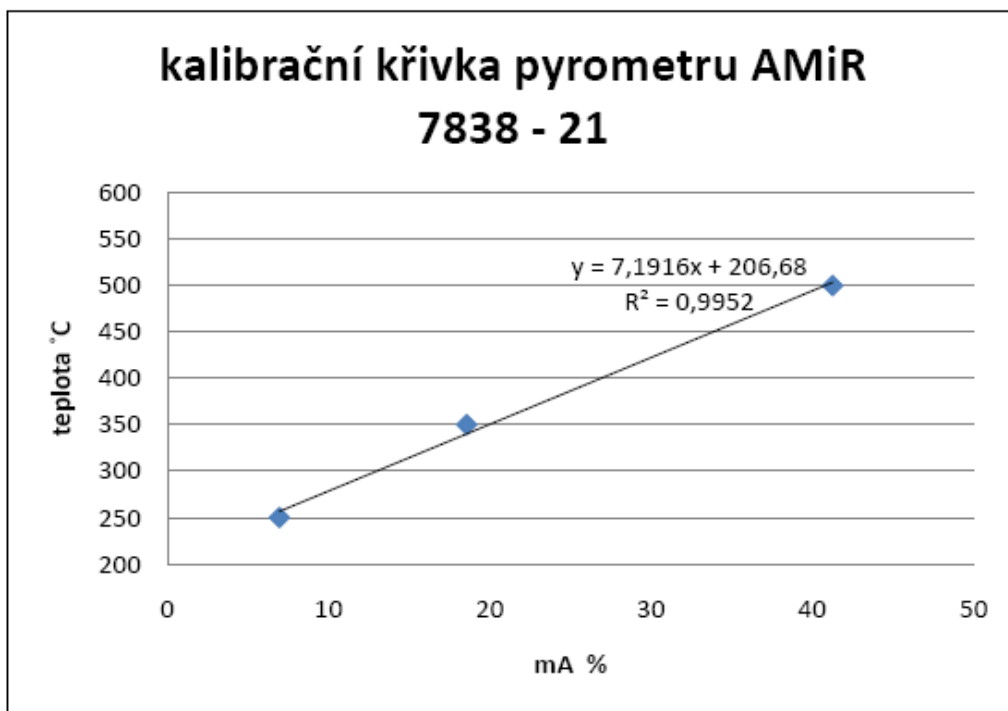
Kalibrace byla provedena v laboratoři VŠB-TUO, v laboratorní elektrické peci LAC (Obr. 5.9). V této peci byl obrobek postupně zahříván na 250°C, 350°C a 500°C (Tab. 5.1) Na každé z těchto zmíněných teplotách bylo provedeno 6 měření, kdy mezi jednotlivými měřeními byl interval 5 min. z toho důvodu, aby byla zajištěna dostatečná doba mezi přestupem tepla el. pece a obrobkem. Následně byla z těchto naměřených hodnot vytvořena kalibrační křivka (obr. 5.10), pomocí které bylo možno přepočítat výstupní hodnoty v %mA na námi požadované °C.

Tabulka 5.1 naměřených hodnot:

Číslo měření	Teplota pece 250°C	Teplota pece 350°C	Teplota pece 500°C
	Nam. Hodnota v % mA	Nam. Hodnota v % mA	Nam. Hodnota v % mA
1	<b>6,15</b>	<b>18,78</b>	<b>42,63</b>
2	<b>7,50</b>	<b>18,06</b>	<b>41,54</b>
3	<b>8,16</b>	<b>18,15</b>	<b>40,85</b>
4	<b>5,88</b>	<b>18,91</b>	<b>41,32</b>
5	<b>6,47</b>	<b>18,74</b>	<b>40,63</b>
6	<b>7,43</b>	<b>18,70</b>	<b>40,53</b>
Aritmetický průměr	<b>6,93</b>	<b>18,56</b>	<b>41,25</b>
Výsledek	<b>6,93±0,81</b>	<b>18,56±0,33</b>	<b>41,25±0,71</b>



Obr. 5.9 Elektrická laboratorní pec LAC s pyrometrem AMIR



*Obr. 5.10 Kalibrační křivka pyrometru AMIR 7838-21*

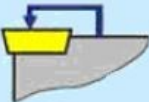

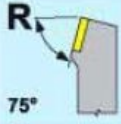



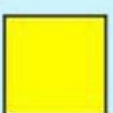


### 5.6. Nožový držák CERAMDEX

Při provádění našeho experimentu byl použit speciální nožový držák pro VBD od firmy CERAMDEX – XCSRNR2525M-1207SEN, (Obr 5.11). Jedná se o speciální nožový držák, který je upraven pro vedení elektrického signálu tělem držáku a slouží k zaznamenávání elektrického odporu VBD.



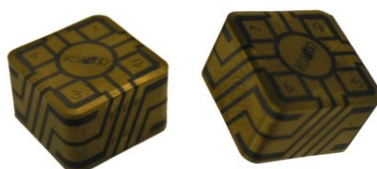
*Obr. 5.11 Držák CERADEx XCSRNR2525M-1207SEN*

Tab. 5.2 Identifikace držáku XCSRNR2525M-1207SEN [16]

Druh držáku	Způsob upínání	Tvar destičky	Tvar nože	Úhel hřbetu
X speciální	C 	S 	R  75°	N $\alpha_n=0^\circ$ 
Směr řezu	Výška držáku	Šířka držáku	Delka držáku	-
R 	25	25	M 150 	-
Velikost hrany	Tloušťka destičky	Tvar destičky	Úhel hřbetu	provedení
12	7	S 	20° E 	N 

### 5.7. Řezný nástroj

Při provádění našeho experimentu nám byla k dispozici vyměnitelná břitová destička od firmy Kyocera (obr. 5.12). Tato VBD byla vyrobena z řezné keramiky KS – 6000, na kterou je nanášena odporová vrstva. Z čeho přesně se skládá a jakým způsobem byla tato odporová vrstva nanášena, nám není známo, jedná se o tzv. know – how firmy Kyocera. Ale podle vzhledu nanášeného povlaku lze usoudit, že se jedná o povlak TiN.



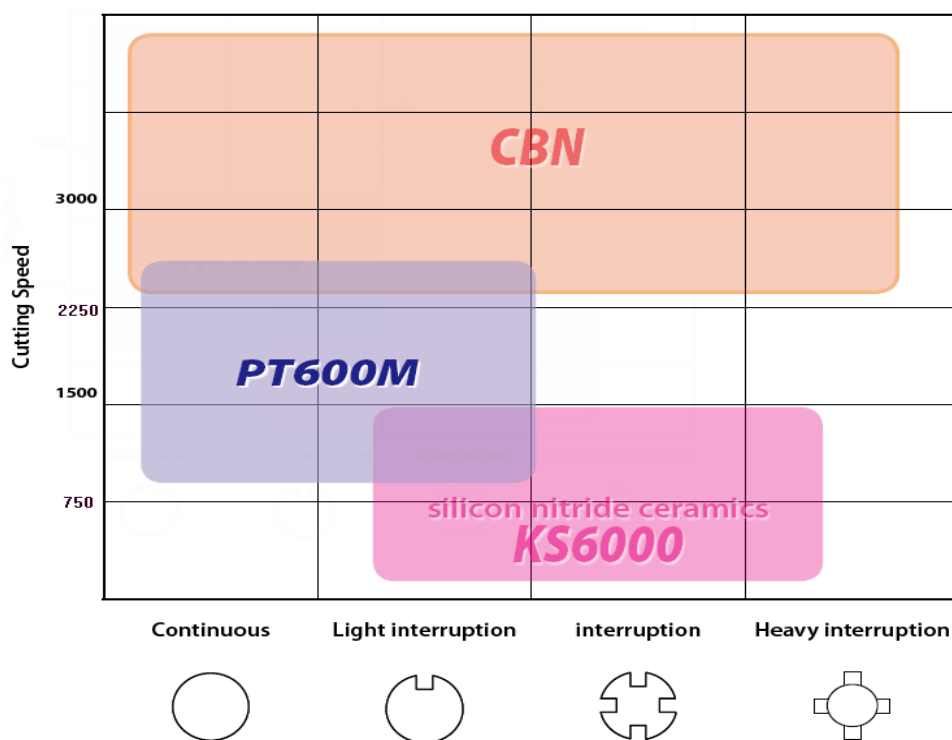
Obr. 5.12 VBD Kyocera – KS 6000

**KS – 6000** – Nitridová keramika (na bázi Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>) - vyniká velmi vysokou houževnatostí při zachování vysoké tvrdosti a umožňuje obrábění běžným přerušovaným řezem i použití

procesní kapaliny. Tento druh keramiky je zvláště vhodný pro obrábění všech druhů litin, včetně litiny s kůrou. Je také nejvhodnější pro frézování (hrubování) k dosažení maximálních řezných výkonů.

Tab. 5.3 Aplikace dle výrobce [11]

Workpiece Material	Cast Iron (Gray Cast Iron/Ductile Cast Iron)			
Cutting Range	←—————→			
Classification	K01	K10	K20	K30
Ceramic	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 2px 10px; background-color: #e0e0e0;">A65</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 2px 10px; background-color: #d9534f; color: white;">A66N</div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 2px 10px; background-color: #d9534f; color: white; margin-top: 10px;">KS6000</div> </div>			



Obr. 5.13 Doporučený pracovní rozsah nástrojového materiálu [11]

## 5.8. Materiál

V rámci bakalářské práce byl na tento experiment použit materiál litina GGG 70 s kůrou, kruhového průřezu. V následující tabulce můžeme vidět mechanické vlastnosti, které jsou definovány v příslušných materiálových normách. Nejvíce rozšířená evropská norma je DIN 1693, později byla nahrazena evropskou normou EN 1563. V praxi se však stále používá označení GGG.

*Tab. 5.4 Mechanické vlastnosti materiálu[15]*

DIN 1693	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Smluvní mez kluzu Rp02 [MPa]	Tažnost A [%]
<b>GGG-70</b>	<b>700</b>	<b>420</b>	<b>2</b>



*Obr. 5.14 Obráběná litina GGG-70*

## 6. Zpracování a vyhodnocení experimentu

Tato část bakalářské práce byla zaměřena na zpracování a vyhodnocení experimentu. V první části se budeme zabývat samotným postupem toho experimentu, poté následně vynesení grafů závislosti teploty na stanovených řezných podmínkách a opotřebení.

### 6.1. Postup experimentu

Před samotným začátkem tohoto experimentu je důležité zkontrolovat a připravit si všechny potřebné věci (VBD Kyocera KS – 6000, pyrometr AMIR 7838 – 21, nožový držák CERAMDEX – XCSRNR2525M – 1207SEN, atd.), snímací a měřicí zařízení. Následně byla zkontrolována funkčnost a bezpečný chod obráběcího stroje (soustruh Mašstroj Trojan C11 MV). Když byla ověřena spolehlivost stroje, byl upnut materiál. V rámci této bakalářské práce byl použit materiál ocelolitina o počátečním průměru 302 mm a délce 285 mm. Tento polotovar byl upnut do tříčelistového sklíčidla a podepřen hrotem. Poté byl do nožové hlavy umístěn již zmíněný nožový držák CERAMDEX s vyměnitelnou břitovou destičkou od firmy Kyocera KS – 6000. Jakmile byl nožový držák s destičkou bezpečně umístěn a upevněn, mohl být upevněn také pyrometr AMIR 7838 – 21 do předem připraveného držáku (Obr. 5.3), který byl umístěn tak, aby čočka pyrometru byla od měřeného objektu 76 mm (Obr. 5.4), aby byl měřicí bod pyrometru co nejmenší, v případě této bakalářské práce 2,5 mm. Pro vyhodnocení tohoto experimentu bylo upnutí a upevnění pyrometru důležité. Avšak nevýhodou tohoto pyrometru je optický zaměřovač, který se musí našroubovat na tělo sondy a následně zaměřit požadované místo měření. Po správném zaměření byl odšroubován zaměřovač a pyrometr byl propojen s datalogem ALMEMO 2590 – 4S a dále s počítačem. Do tohoto počítače pak byly zaznamenávány naměřené hodnoty. Frekvence, s jakou byly tyto hodnoty do počítače zaznamenávány, byla 0,3 sekundy. Následně byly tyto hodnoty ukládány jako textový soubor s příponou .txt, aby bylo možno s těmito hodnotami poté pracovat a vyhodnotit. Po opotřebení břítu č.07 bylo zjištěno, že hodnoty naměřené tímto pyrometrem nejsou přesvědčivé. Tyto nepřesnosti mohly být způsobeny nepřesným nastavením paprsku na špičku nástroje, odlétávajícími třískami, nebo při vznikajících rázech mohlo dojít k odchýlení paprsku ze špičky nástroje. Proto byl zaveden infrapyrometr MAUER KTR 1085 – 1.

Zaměření tohoto infrapyrometru bylo mnohem jednodušší než pyrometru AMIR 7838 – 21. A to z toho důvodu, že zaměřovací laserový paprsek byl přesně vidět, kde míří, proto bylo



možné zaměření paprsku na špičku nástroje snadnější. Pomocí tohoto infrapyrometru již byly výsledky v pořádku a naměřené hodnoty bylo možné dále zpracovávat.



Obr. 6.1 Ukázka použití laseru infrapyrometru MAURER - KTR 1085-1

## 6.2. Vyhodnocení závislosti teploty na čase

Řezné podmínky se během tohoto experimentu průběžně měnily, jen hloubka řezu  $a_p$  zůstala během celého experimentu konstantní. Řezné podmínky ve všech jednotlivých měřeních jsou uvedeny v tabulkách (6.1 – 6.6).

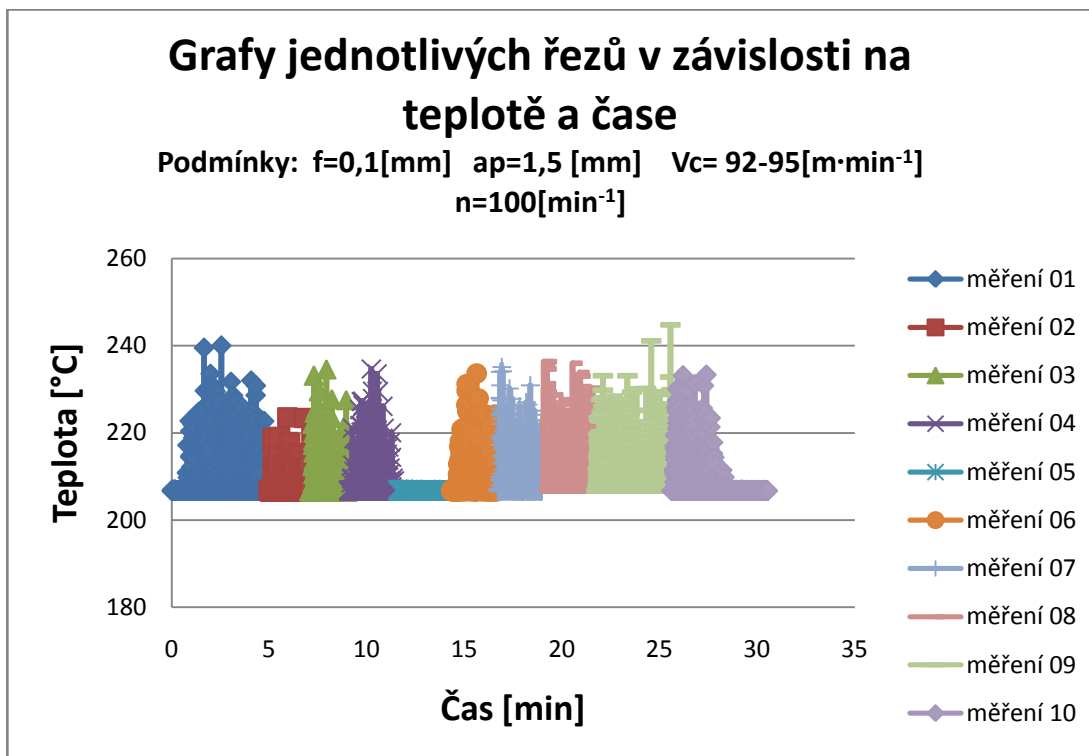
### 6.2.1. Řezná hrana číslo 7

Tab. 6.1 Řezné podmínky pro břit č. 7

Břit č. 7	f [mm]	n [min <sup>-1</sup> ]	D [mm]	l [mm]	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$a_p$ [mm]
měření č.1	0,1	100	302	39,3	94,2	1,5
měření č.2			302	30,7	94,2	
měření č.3			302	35	94,2	
měření č.4			302	38	94,2	
měření č.5			302	44,6	94,2	
měření č.6			299	37	93,9	
měření č.7			299	40	93,9	
měření č.8			299	53,3	93,9	
měření č.9			299	60,5	93,9	
měření č.10			299	94	93,9	

Na obrázku 6.2 lze vidět celkový záznam teploty v závislosti na čase řezné hrany č. 7. Touto hranou č. 7 bylo provedeno deset měření. Při takových řezných podmínkách, kdy hloubka řezu byla  $a_p = 1,5$  mm, řezná rychlost byla nastavena na  $v_c = 94$  m·min<sup>-1</sup>, ale měnícím se průměrem obrobku se měnila také tato řezná rychlost, avšak tato změna rychlosti je zanedbatelná. Kdežto posuv  $f = 0,1$  mm a otáčky  $n = 100$  min<sup>-1</sup> se po celou dobu řezání touto

hranou nezměnily. Při porovnání všech naměřených hodnot lze vidět, že největší naměřená teplota je 244°C, což znamená že to je asi jen o 36°C více než počáteční hodnota pyrometru AMIR 7838 – 21 vzniklá kalibrací. Z tohoto měření bylo usouzeno, že naměřené hodnoty tímto pyrometrem nejsou přesvědčivé pro tento experiment a z tohoto důvodu byl nahrazen infrapyrometrem MAURER - KTR 1085-1. Pro následné vyhodnocení se s těmito naměřenými hodnotami hrany č. 7 dále nepracuje.



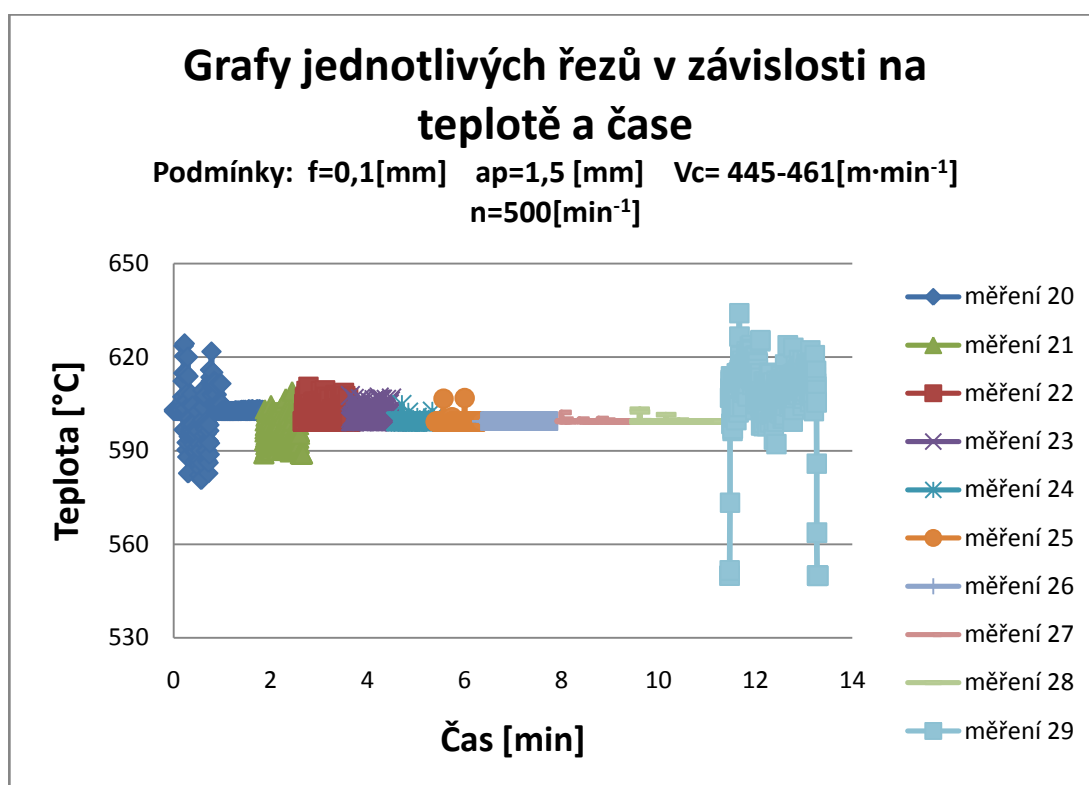
Obr. 6.2 Závislost teploty na čase u hrany č. 7

### 6.2.2. Řezná hrana číslo 1

Tab. 6.2 Řezné podmínky pro břit č. 1

Břit č. 1	$f$ [mm]	$n$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$D$ [mm]	$l$ [mm]	$v_c$ [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	$a_p$ [mm]
měření č.20	0,1	500	293	67,5	460,2	1,5
měření č.21			293	64,5	460,2	
měření č.22			293	80	460,2	
měření č.23			293	73	460,2	
měření č.24			290	68	455,5	
měření č.25			290	77	455,5	
měření č.26			290	140	455,5	
měření č.27			287	140	450,8	
měření č.28			287	140	450,8	
měření č.29			284	135	446,1	

Na obrázku 6.3 si můžeme všimnout naměřených hodnot řezné hrany č. 1, na kterou již byl použit infrapyrometr MAURER - KTR 1085-1, jehož počáteční hodnota je 550°C. Jak můžeme vidět, tak hodnoty teploty se pohybují okolo 600°C. Oproti řezné hrany č. 7 má řezná hrana č. 1 otáčky  $n = 500 \text{ min}^{-1}$  a řeznou rychlost  $v_c = 446 - 460 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ , což je způsobeno měnícím se průměrem obrobku.



Obr. 6.3 Grafické znázornění naměřených hodnot u hrany č.1

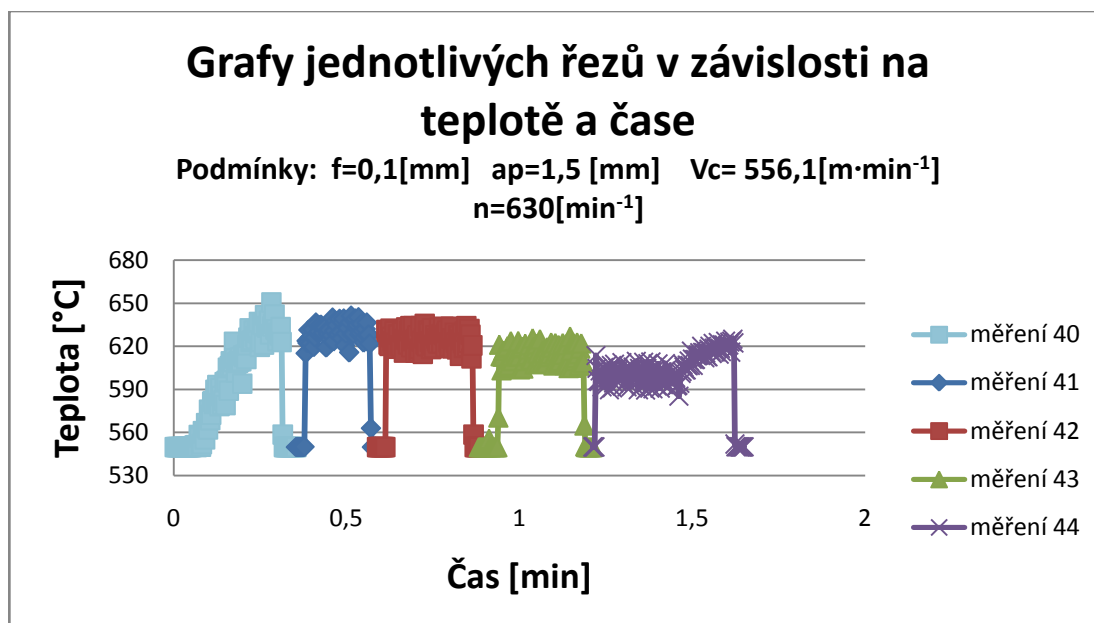
### 6.2.3. Řezná hrana číslo 3

Tab. 6.3 Řezné podmínky pro břit č. 3

Břit č. 3	$f$ [mm]	$n$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$D$ [mm]	$l$ [mm]	$v_c$ [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	$a_p$ [mm]
měření č.40	0,1	630	281	30	556,1	1,5
měření č.41				20		
měření č.42				30		
měření č.43				25		
měření č.44				45		

Na obrázku 6.4 si můžeme všimnout průběhu teploty řezné hrany č. 3, kde byly opět změněny otáčky  $n = 630 \text{ min}^{-1}$  a také řezná rychlost  $v_c = 556,1 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Z tohoto grafického

znázornění si lze zcela zřetelně všimnout poklesu teploty, jak při začátku jednotlivých řezů tak také na konci těchto řezů. To je způsobeno čekáním najetí rezné hrany do materiálu, potažmo ukončením řezu.



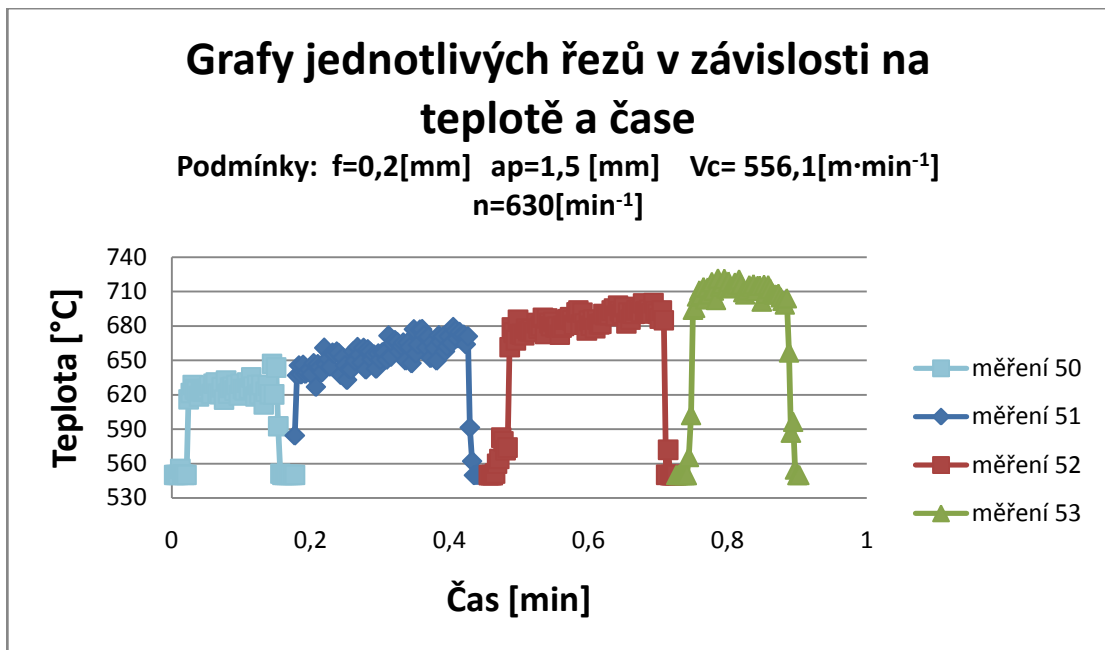
Obr. 6.4 Grafické znázornění naměřených hodnot u hrany č.3

#### 6.2.4. Řezná hrana číslo 4

Tab. 6.4 Řezné podmínky pro břit č. 4

Břit č. 4	$f$ [mm]	$n$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	$D$ [mm]	$l$ [mm]	$v_c$ [ $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ]	$a_p$ [mm]
měření č.50	0,2	630	281	30	556,1	1,5
měření č.51			281	50	556,1	
měření č.52			281	50	556,1	
měření č.53			278	30	550,2	

Na obrázku 6.5 je vidět celkový záznam teplot v závislosti na čase řezné hrany č. 4, kde je ponechána hodnota hloubky řezu i hodnota otáček, ale je zde změněná hodnota posuvu  $f = 0,2$  mm a také řezné rychlosti  $v_c = 556,1 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Při porovnání teplot u jednotlivých řezů můžeme vidět, že teplota má mírně vzrůstající tendenci. Rozdíl mezi teplotou prvního a posledního měření je přibližně  $100^\circ\text{C}$ . To je způsobeno postupným zvětšováním opotřebení VBD a vynaložením větší práce při řezání, která je následně přeměněna v teplo.



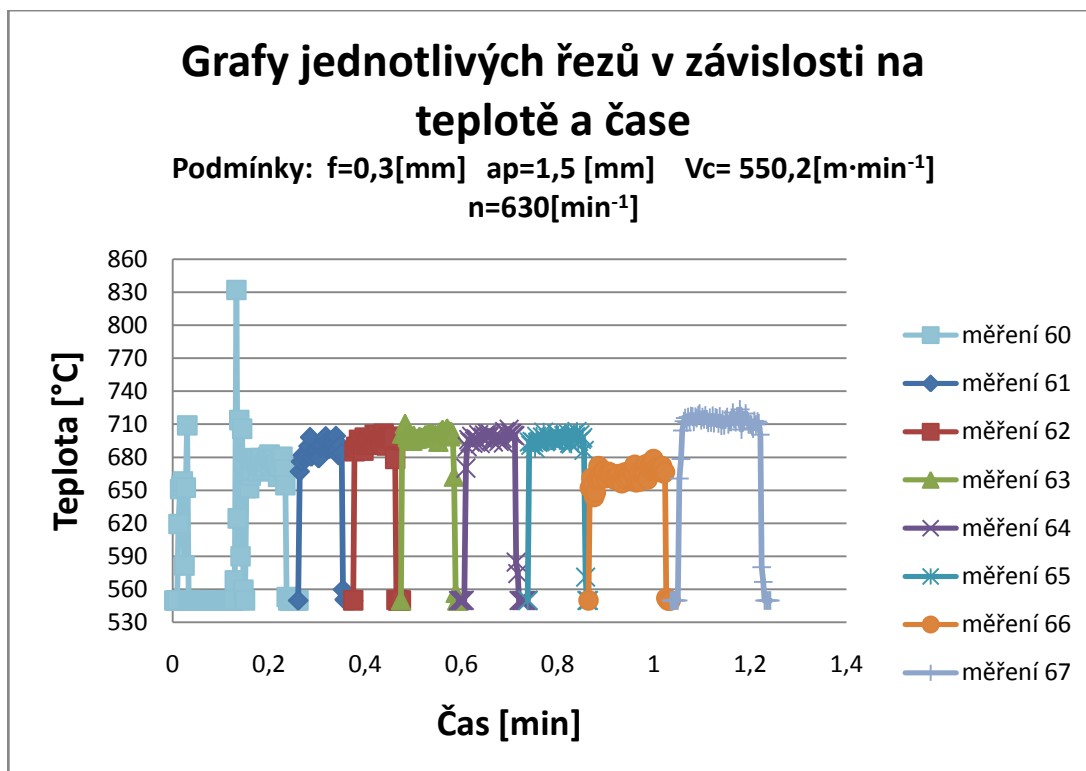
Obr. 6.5 Grafické znázornění naměřených hodnot u hrany č.4

#### 6.2.5. Řezná hrana číslo 5

Tab. 6.5 Řezné podmínky pro břit č. 5

Břit č. 5	f [mm]	n [min <sup>-1</sup> ]	D [mm]	l [mm]	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$a_p$ [mm]
měření č.60	0,3	630	278	30	550,2	1,5
měření č.61			278	25	550,2	
měření č.62			278	30	550,2	
měření č.63			278	35	550,2	
měření č.64			278	35	550,2	
měření č.65			278	40	550,2	
měření č.66			278	55	550,2	
měření č.67			272	55	544,2	

Na obrázku 6.6 můžeme vidět celkový záznam teplot při obrábění hranou č. 5 vyměnitelné břitové destičky. Při řezání tímto břitem byly řezné podmínky nastaveny tak, že posuv  $f = 0,3$  mm, otáčky zůstaly stejné jako u předešlé řezné hrany tj.  $n = 630$  min<sup>-1</sup> a řezná rychlost byla  $v_c = 550,2$  m·min<sup>-1</sup>. Z obrázku 6.6 je patrné, že průměrná teplota všech měření se pohybovala okolo 700°C. Jen u měření č. 66 se teplota pohybovala okolo 675°C. To je způsobeno přerušením experimentu na delší dobu, během které došlo k úplnému vychladnutí břitové destičky.



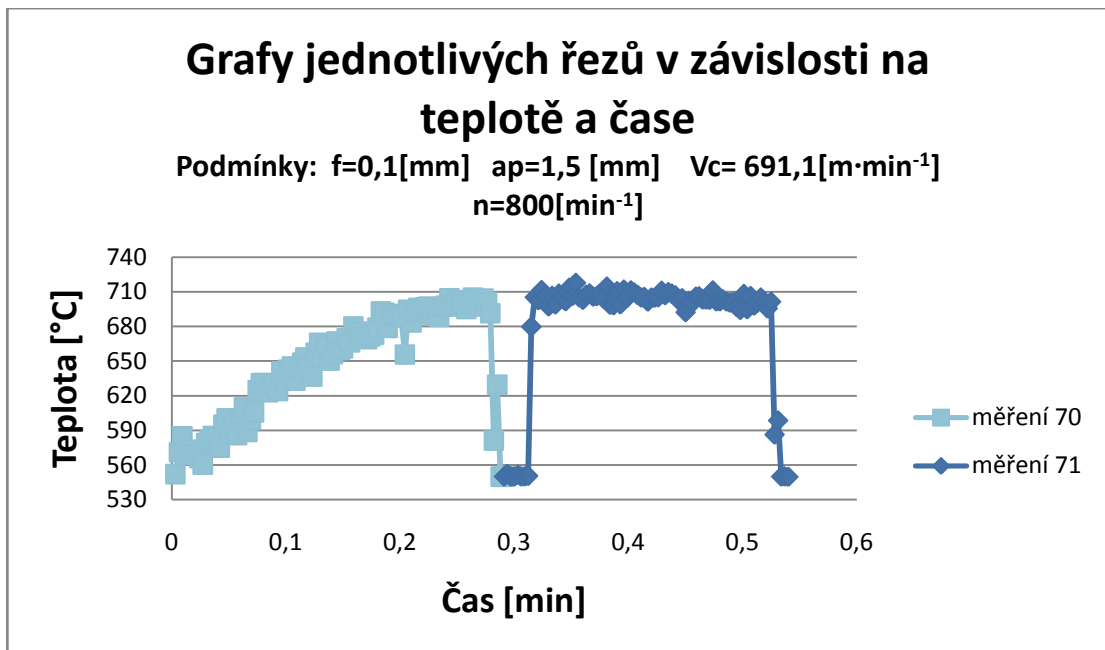
Obr. 6.6 Grafické znázornění naměřených hodnot u hrany č.5

#### 6.2.6. Řezná hrana číslo 6

Tab. 6.6 Řezné podmínky pro břit č. 6

Břit č. 6	$f$ [mm]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$D$ [mm]	$l$ [mm]	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	$a_p$ [mm]
měření č.70	0,1	800	275	35	691,1	1,5
měření č.71				45		

U obrázku 6.7 si můžeme všimnout postupného nárůstu teploty až na hodnotu přibližně 710°C. Při měření č. 71 byla tato teplota po celou dobu řezání. Řezné podmínky při řezání břitkem č. 6 jsou posuv  $f = 0,1$  mm, otáčky  $n = 800$  min<sup>-1</sup> a řezná rychlost  $v_c = 676$  m·min<sup>-1</sup>.



Obr. 6.7 Grafické znázornění naměřených hodnot u hrany č.6

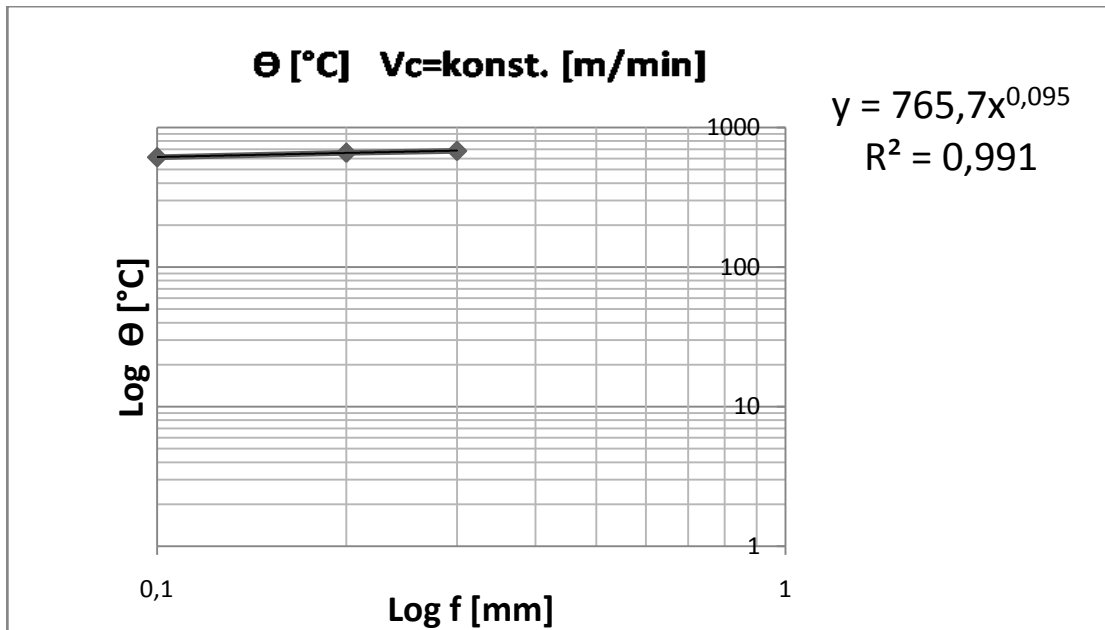
### 6.3. Stanovení statické rovnice teploty řezání

Během experimentu byly vytvořeny grafy závislosti teploty na řezné rychlosti a posuvu, které jsme určili z tabulky č 6.7. Jedná se o průměrné hodnoty teploty prvních padesáti měření, aby byly zajištěny relativně stejné podmínky opotřebení pro každou řeznou hranu břitové destičky.

Tab. 6.7 Naměřených hodnot

Hrana	$\varnothing \Theta$ [°C]	$V_c$ [m/min]	$f$ [mm]
1	600	455	0,1
3	613	550	0,1
6	682	691	0,1
3	613	550	0,1
4	660	550	0,2
5	680	550	0,3

Z tabulky 6.7 můžeme vidět, že za konstantního posuvu a zvětšující se řeznou rychlostí se zvětšuje i teplota řezání. A také, že při konstantní řezné rychlosti a zvětšujícím se posuvu nám roste teplota řezání.

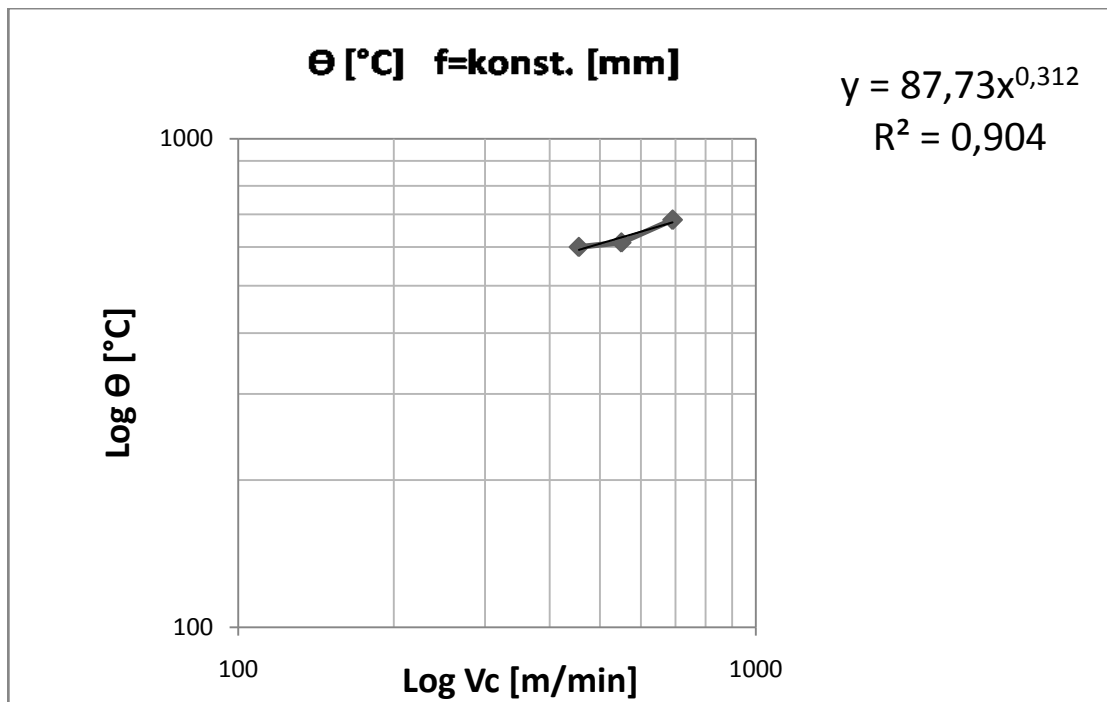


Obr. 6.8 Vliv posuvu na teplotu řezání při konstantní řezné rychlosti  $550 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Obrázek 6.8 zobrazuje závislost teploty řezání na posuvu. Tento graf byl zase proložen mocninnou funkcí. Pro přesnější určení regresních rovnic by bylo potřeba provádět měření na větším rozsahu hodnot posuvů a řezných rychlostí. A bylo by také vhodné použít více naměřených hodnot.

Obrázek 6.9 znázorňuje vliv řezné rychlosti na teplotu řezání. Do grafu byla zavedena rovnice regrese, pomocí které je vykreslena křivka zobrazující vliv  $V_c$  na  $\Theta$ . Závislost  $V_c$  na  $\Theta$  je vyjádřena mocninnou funkcí.





Obr 6.9 Vliv řezné rychlosti na teplotu řezání při konstantním posuvu 0,1 mm.

Nyní může být určena statická rovnice, která nám určuje vliv posuvu a řezné rychlosti.

Vycházíme z rovnice, která má tvar :

$$\theta = C_{\theta} \cdot f^{y_{\theta}} \cdot Vc^{z_{\theta}} \quad (6.1)$$

$$\theta = C_1 \cdot f^{y_{\theta}} \quad (6.2)$$

(při proměnném posuvu  $f$  a konstantních ostatních podmínkách)

$$\theta = C_2 \cdot Vc^{z_{\theta}} \quad (6.3)$$

(při proměnné řezné rychlosti  $v_c$  a konstantních ostatních podmínkách)

Vyřešením této soustavy dostaneme danou konstantu  $C_{\theta}$ .

Proto, aby mohla být určena konstanta  $C_{\theta}$ , musí být nejprve určeny konstanty  $C_{\theta 1}$  a  $C_{\theta 2}$ . Proto, aby mohly být tyto konstanty určeny, je nutné zjistit exponenty  $Y_{\theta}$  a  $Z_{\theta}$  a konstanty  $C_1$  a  $C_2$ . Tyto konstanty a exponenty lze snadno určit z předchozích grafů. To znamená, že konstanta  $C_1 = 765,7$ , konstanta  $C_2 = 87,73$  a hodnoty exponentů jsou:  $Y_{\theta} = 0,095$  a  $Z_{\theta} = 0,312$ .

Následuje výpočet konstanty  $C_{\theta}$ :

$$C_1 \cdot f^{y_{\theta}} = C_{\theta c1} \cdot Vc^{z_{\theta}} \cdot f^{y_{\theta}}$$

$$C_{\theta 1} = \frac{C_1}{v_c^z} = \frac{765,7}{550^{0,312}} = 106,92$$

(kde  $v_c$  = konstantní řezná rychlost, za měnicího se posuvu  $f$ )

$$C_2 \cdot V c^{z\theta} = C_{\theta c 2} \cdot V c^{z\theta} \cdot f^{y\theta}$$

$$C_{\theta 2} = \frac{C_2}{f^{y\theta}} = \frac{87,73}{0,1^{0,095}} = 109,18$$

(kde posuvu  $f$  = konstantní, za měnicí se řeznou rychlostí  $v_c$ )

Protože je celé měření zatíženo určitou chybou, musíme hodnoty  $C_{\theta 1}$  a  $C_{\theta 2}$  vypočítat jako průměr. Následně dosáhneme výsledné hodnoty  $C_{\theta}$ .

$$C_{\theta} = \frac{C_{\theta 1} + C_{\theta 2}}{2} = \frac{106,92 + 109,18}{2} = 108,05 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

Statická rovnice teploty řezání u soustružení inteligentním břitovým nástrojem z řezné keramiky KS - 6000 na materiálu GGG-70 a hloubky záběru 1,5 mm bude vypadat:

$$\theta = 108,05 \cdot f^{0,095} \cdot v_c^{0,312} \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

Tuto rovnici je možno použít pro zjišťování teploty řezání pro různé druhy posuvů a řezných rychlostí za daných konstantních podmínek. Ostatní hodnoty musí být zachovány.

## 7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo sledování teplot při obrábění inteligentním břitovým obráběcím nástrojem, jímž byla vyměnitelná křemiko-nitridová břitová destička KS – 6000 zakoupena u firmy Kyocera. Na této destičce je nanесena odporová vrstva. Díky této odporové vrstvě je možno sledovat opotřebenі destičky přímo v záběru a za chodu stroje. Z důvodu velké rozsáhlosti tohoto experimentu byla práce rozložena na čtyři okruhy, a to na měření teploty, opotřebenі, vibraci a elektrického odporu. Tato bakalářská práce se zabývá jen měřením teploty při obrábění.

Celý tento experiment byl proveden v laboratorních prostorách VŠB-TUO na univerzálním hrotovém soustruhu MAŠTROI TROJAN C11 MV. Během experimentu byl použit speciální nožový držák pro VBD od firmy CERAMDEX – XCSRNR2525M-1207SEN. Držák je speciálně upraven pro vedení elektrického signálu a zaznamenávání elektrického odporu VBD. Pro měření teploty a následným zápisem těchto hodnot do počítače byl použit pyrometr AMIR 7838-21 a záznamové zařízení ALMEMO. Z důvodu špatných naměřených hodnot byl tento pyrometr, pro další zpracování experimentu vyměněn za infrapyrometr MAUER – KTR 1085 – 1. V rámci bakalářské práce byl na tento experiment použit materiál ocelolitina GGG-70 s kúrou kruhového průřezu, na kterém byly měněny různé řezné podmínky. U třech měření byl nastaven konstantní posuv a měnila se řezná rychlost. Pro zbylé měření byla nastavena konstantní řezná rychlost a měnicí se posuv. Nevýhodou tohoto bezdotykového měření může být tvořící se tříska v místě řezu, která odchází po čele nástroje a překrývá námi zaměřenou špičku nástroje. Proto naměřené hodnoty jsou ve skutečnosti hodnoty teploty odcházející třísky, a nikoli teploty řezné hrany. Z tohoto důvodu jsou naměřené hodnoty pouze orientační. Následně byly tyto teploty zpracovávány a zakreslovány do grafů v závislosti teploty řezání na čase. Poté byly vytvořeny grafy vlivu posuvu na teplotu řezání při konstantní řezné rychlosti a vlivu řezné rychlosti na teplotu řezání při konstantním posuvu v logaritmických souřadnicích. Z těchto grafů bylo možné určit konstanty  $C_1$  a  $C_2$  a exponenty  $Y_{\Theta}$  a  $Z_{\Theta}$ . Tyto exponenty a konstanty byly dosazeny do statické rovnice teploty řezání pro dané podmínky soustružení. Z výsledné statické rovnice lze vyčíst, že větší vliv na teplotu řezání a tedy i na trvanlivost nástroje má řezná rychlost.

Z dosažených výsledků se dá usuzovat, že toto měření je použitelné pro diagnostiku teploty řezání při soustružení.

## Použitá literatura :

- [1] BRYCHTA, Josef, et al. *Technologie II. : 1. díl*. 1. vydání. Ostrava : VŠB-TUO, 2007. 126 s. ISBN 978-80-248-641-8.
- [2] BUDA, Ján, BÉKÉS, Ján. *Teoretické základy obrábění kovov*. Bratislava: ALFA, 1977. 696 s. ISBN 302-05-59.
- [3] Řezná keramika a kubický nitrid boru. MM Průmyslové spektrum. 9/2003. s.42.[online]. [cit. 4. května 2013]. Dostupný z WWW: (<http://www.mmspektrum.com/clanek/reznakeramikaakubickynitridboru>)
- [4] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha, MM publishing, 2008. 235 s. ISBN 9788025422502.
- [5] PŘIKRYL, Z.; MUSÍLKOVÁ, R. *Teorie obrábění*. 3. opravené vydání. Praha : SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1982. 235 s.
- [6] KOČMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno: Cerm, 2005. 270 s. ISBN 80-241-3068-0.
- [7] *Www.ahlborn.com* [online]. 2008 [cit. 2014-05-04]. AMIR INFRARED MEASURING TECHNOLOGY. Dostupné z WWW: <<http://www.ahlborn.com/getfile.php?1120.pdf>>.
- [8] *Www.odbornecasopisy.cz* [online]. 2006 [cit. 2014-05-04]. Nová termovizní kamera InfraCAM . Dostupné z WWW: <[http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=26698](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26698)>.
- [9] HLUCHÝ, M. a kol. *Strojírenská technologie*. První vydání., SNTL Praha 1979. 176s.
- [10] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentální metody v trieskovomobrábění*, Vydavatelstvo TU EDIS Žilina: Žilina 2007. 343s. ISBN 978-80-8070-7011-8
- [11] *Www.americas.kyocera.com* [online]. 2009 [cit. 2014-05-04]. Ceramics. Dostupné z WWW: <[http://americas.kyocera.com/kicc/pdf/ceramics\\_brochure.pdf](http://americas.kyocera.com/kicc/pdf/ceramics_brochure.pdf)>.
- [12] *Serie KTR 1085*. [online] URL: <<http://www.maurer-ir.de/>> [citováno 4.května 2014].
- [13] Brichta, Čep, Petřskovská, Nováková, *Technologie II*. Ostrava2007 ISBN 978-80-248-1641 120s
- [14] MÁDL, J. - SCHUBERT, V.: *Experimentální metody a optimalizace v teorii obrábění*. Praha : ČVUT Praha, 1985

- [15] Wwww.castingquality.com. *Casting Quality* [online]. 2009 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z:<http://www.castingquality.com/casting-technology/casting-standard/ductile-iron-in-din1693.html>
- [16] KRATOCHVÍL, Jiří. *Metodika sledování opotřebení keramických nástrojů pomocí odporových vrstev během řezu*. Ostrava, 2010. 118 s. Dizertační práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava.

## **Seznam příloh :**

Příloha č.1 – je v elektronické verzi na přiloženém CD.